

На правах рукописи

Биндер Игорь Олегович



Разработка технологических решений
для инженерно-геодезических изысканий
на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера

25.00.32 – Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2018

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:

Столбов Юрий Викторович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», профессор кафедры «Проектирование дорог»;

Щербаков Владимир Васильевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой инженерной геодезии.

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

Защита состоится 29 ноября 2018 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д 212.251.02 в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

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

Автореферат разослан 5 октября 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 25.09.2018. Формат 60×84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 132.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Развитие нефтегазового комплекса в Российской Федерации базируется на активном освоении территорий Крайнего Севера, подверженных техногенным рискам. В связи с постоянным наращиванием объема добычи нефти и газа особенно актуальны вопросы повышения качества инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях. Специфической особенностью северных территорий является высокая техногенная нагрузка, наличие многолетних мерзлотных пород и бугров пучения, которые являются опасными природными факторами при эксплуатации нефтегазопроводов, так как аварии на них могут представлять серьезную экологическую угрозу. Эти факторы необходимо учитывать при выполнении инженерно-геодезических изысканий и последующем проектировании коридоров линейных коммуникаций с целью обустройства нефтегазовых месторождений. Однако, в применяемых на практике строительных нормах и правилах и других нормативных документах по организации и проведению инженерных изысканий коридоров линейных коммуникаций на территориях с буграми пучения отсутствуют рекомендации по выбору оптимального варианта трассы с учетом комплекса показателей, характеризующих природные факторы и техногенное состояние территории, по пространственному расположению трубопроводов относительно бугров пучения.

В современных нормативных документах, регулирующих инженерно-геодезические изыскания, должны учитываться особенности новых геодезических приборов и возможность интеграции имеющихся средств измерений для обеспечения высокой эффективности производства работ. Поэтому тема диссертационного исследования – разработка технологических решений по совершенствованию инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера – является актуальной. Полученные результаты позволят повысить производительность труда, сократить финансовые затраты, повысить точность и надежность геодезического обеспечения инже-

нерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера с учетом особенностей рельефа местности.

Степень разработанности темы. Теоретические и практические основы организации и производства геодезических работ при трассировании линейных сооружений были заложены в трудах Большакова В. Д., Быкова В. И., Климова В. И., Ключина Е. Б., Субботина И. Е., Струченкова В. С., Райфельда В. Ф., Пискунова М. Е., Ямбаева Х. К. и др. В XXI в. свой вклад в систему получения геопространственных данных о состоянии территории и инженерных сооружениях внесли Антонович К. М., Брынь М. Я., Лисицкий Д. В., Карпик А. П., Мазурова Е. М., Мазуров Б. Т., Савиных В. В., Уставич Г. А. В нормирование точности геодезических измерений заметный вклад внесли ученые: Гуляев Ю. П., Столбов Ю. В., Хорошилов В. С.

Изучению геодинамики бугров пучения посвящены труды отечественных и зарубежных ученых. В первую очередь следует отметить Васильчук Ю. К., Попова А. И., Львова Ю. А., Пономареву О. Е., Сакс В. Е., Москаленко Н. Г., Seppala M., Lewkowicz A. G., Coultish T. L. и др.

Научные исследования в области инженерно-геодезических изысканий при трассировании линейных сооружений выполняются специализированными проектными и научными институтами различных министерств и ведомств на протяжении десятков лет. Особые успехи были достигнуты в разработке математических моделей и алгоритмов для оптимизации выбора трасс с применением систем автоматизированного проектирования. Однако эти усилия были направлены на оптимизацию трассирования конкретного линейного сооружения, а не на коридоры коммуникаций, разработанные методики производства изысканий не учитывали специфические условия районов Крайнего Севера, влияющие на качество, оперативность обустройства нефтегазовых месторождений и безопасность их эксплуатации, поэтому не могли быть в полной мере эффективно применены на практике.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в разработке технологических решений для повышения качества инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие основные задачи:

– выполнить анализ существующих методик инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений;

– разработать систему классификации нефтегазовых месторождений с учетом их площади и наличия бугров пучения;

– усовершенствовать методику выбора оптимального варианта трасс линейных коммуникаций на северных территориях, подверженных техногенным рискам в зонах наличия бугров пучения;

– разработать технологические решения, регламентирующие точность геодезических измерений при выполнении инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера и геометрические показатели по расположению коридора коммуникаций относительно бугров пучения с многолетнемерзлыми породами;

– сформулировать рекомендации по актуализации строительных норм и правил по проектированию коридоров линейных коммуникаций, учитывающие особенности северных территорий;

– создать и внедрить в производство приборный изыскательский комплекс для одновременного проведения по трассе трубопроводов различных видов инженерных изысканий.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований являются технологии инженерно-геодезических изысканий при обустройстве нефтегазовых месторождений.

Предметом исследований являются технологические решения по совершенствованию инженерно-геодезических изысканий коридоров линейных коммуникаций на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера.

Научная новизна заключается в следующем:

– разработанные технологические решения позволяют учитывать техногенное состояние территорий и осуществлять выбор оптимального варианта трасс коридора линейных коммуникаций относительно бугров пучения с повышением безопасности и надежности эксплуатации трубопроводов;

– разработана методика инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях Крайнего Севера с применением приборного комплекса, отличающаяся от применяемых ранее тем, что инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания объединены в технологический процесс для сокращения времени и ресурсов на производство работ.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании требуемой точности геодезических измерений при выполнении инженерно-геодезических изысканий коридоров линейных коммуникаций на северных месторождениях с наличием бугров пучения, а также в разработке критерия, позволяющего оптимизировать выбор вариантов трассирования коридоров коммуникаций в зависимости от специфических природных и техногенных факторов.

Практическая значимость научных исследований заключается в разработке и внедрении приборного комплекса, позволяющего одновременно выполнять инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера с сокращением времени и стоимости их производства, а также в разработке конкретных рекомендаций для актуализации сводов норм и правил по проектированию трубопроводов на территориях с буграми пучения.

Методология и методы исследований. В работе использованы методы математической обработки результатов измерений, метод системного подхода и анализа. Эмпирическая база исследований включала многолетние результаты инженерных изысканий на нефтегазовых месторождениях Крайнего Севера.

Для обработки данных использовались программные мультикомплексы CREDO, AutoCAD, Mapinfo.

Положения, выносимые на защиту:

– методические решения по выбору оптимального варианта трасс линейных коммуникаций на территориях, подверженных техногенным рискам, обоснованию требуемой точности геодезических работ при выполнении инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера и геометрических показателей по расположению коридора коммуникаций относительно бугров пучения, обеспечивающие повышение безопасности и срока эксплуатации инженерных сооружений;

– технологические решения для производства инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий линейных и площадных объектов с существенным повышением производительности труда и достоверности результатов измерений.

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 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 докладывались и обсуждались на международных научных конгрессах «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (г. Новосибирск) в период 2011–2017 гг.

Разработанный приборный комплекс внедрен в производственную деятельность департамента инженерных изысканий Сибирского научно-исследова-

тельского института нефтяной промышленности (СибНИИ НП, г. Тюмень) и ЗАО «ГИДРОМАШСЕРВИС». Результаты научных исследований использовались при проведении изысканий на Сергинском, Сугмутском, Муравленковском, Северо-Уренгойском, Северо-Саренбойском, Ямбургском нефтегазовых месторождениях, а также при трассировании линейного участка магистрального газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток».

Публикации по теме диссертации. Результаты выполненных исследований представлены в 12 публикациях, из которых семь – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, получен патент Российской Федерации на полезную модель.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 142 страниц печатного текста. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы, включающего 117 наименований, содержит 8 таблиц, 43 рисунка, 8 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показаны актуальность темы диссертационного исследования и степень ее разработанности в РФ и за рубежом, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, представлены научная новизна и практическая значимость, сформулированы научные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и реализации результатов работы, ее структура.

В первом разделе выполнен анализ существующих методик инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений. Показано, что несмотря на наличие значительного количества разработанных методик и технологических решений для геодезических изысканий линейных сооружений, их главным недостатком является то, что они предполагают выбор оптимального варианта

трассы, как правило, по одному критерию – по минимальной стоимости или минимальной длине без учета специфических условий северных месторождений: наличия бугров пучения, «соседних» трасс в коридоре коммуникаций, техногенной нагрузки, пожароопасных участков. Поэтому важной научно-технической задачей является разработка технологических решений, позволяющих обосновать выбор оптимального варианта трасс коридора линейных коммуникаций относительно бугров пучения и эффективно использовать современные геодезические технологии для инженерно-геодезических изысканий на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера.

Во втором разделе приведены результаты разработки методических решений по выбору оптимальных вариантов трасс коридоров коммуникаций на нефтегазовых месторождениях в районах Крайнего Севера.

Анализ инженерно-геодезических изысканий для разработки проектной документации на магистральный газопровод «Восточная Сибирь – Тихий океан» показал, что минимальная протяженность проектируемой трассы не всегда является основанием для выбора ее в качестве наиболее оптимальной.

Для комплексного оценивания природных и техногенных условий инженерно-геодезических изысканий при выборе оптимального варианта трассы по каждому конкурирующему варианту предложено использовать следующие показатели: длина коридора коммуникаций; удлинение трассы относительно кратчайшей прямой, суммарная протяженность отводов от основной магистрали; количество пересекаемых водотоков; количество пересекаемых железных, шоссейных и грунтовых дорог; качество и протяженность дорог, вдоль которых прокладывается трасса; длина участков трассы, вдоль которых требуется строительство новых подъездных дорог; средняя дальность доставки труб от пунктов выгрузки и складирования; протяженность заболоченных участков; протяженность пожароопасных, скальных или других неблагоприятных участков. Для обоснования выбора оптимального варианта трасс трубопроводов в районах Крайнего Севера предложено учитывать дополнительный показатель, характе-

ризующий количество бугров пучения на нефтегазовом месторождении. В этом случае оптимальным вариантом прохождения коридора коммуникаций предложено считать тот, при котором выполняется условие:

$$\begin{aligned} & \frac{L_{R_{\min}}}{L_R} p_1 + \frac{S_{sg_{\min}}}{S_{sg}} p_2 + \frac{S_{b_{\min}}}{S_b} p_3 + \frac{K_{v_{\min}}}{K_v} p_4 + \frac{K_{d_{\min}}}{K_d} p_5 + \frac{K_{gd_{\min}}}{K_{gd}} p_6 + \frac{K_{nd_{\min}}}{K_{nd}} p_7 + \\ & + \frac{C_{drt_{\min}}}{C_{drt}} p_8 + \frac{P_{b_{\min}}}{P_b} p_9 + \frac{K_{bpm_{\min}}}{K_{bpm}} p_{10} + \frac{P_{o_{\min}}}{P_o} p_{11} + \frac{P_{rem_{\min}}}{P_{rem}} p_{12} \Rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1)$$

где L_R – длина коридора коммуникаций; S_{sg} – протяженность трассы по сухим грунтам; S_b – протяженность трассы по болотам; K_v – количество пересекаемых водотоков; K_d – количество пересекаемых шоссе и грунтовых дорог; K_{gd} – количество пересекаемых железных дорог; K_{nd} – длина участков трассы, вдоль которых требуется строительство новых или временных дорог; C_{drt} – средняя дальность доставки труб от пунктов выгрузки и складирования; P_b – протяженность заболоченных участков; K_{bpm} – количество бугров пучения; P_o – протяженность пожароопасных, скальных или других неблагоприятных участков; P_{rem} – протяженность дорог, требующих ремонта; p_1, p_2, \dots, p_{12} – весовые коэффициенты, характеризующие влияние каждого показателя на выполнение условия (1), \min означает минимальное значение соответствующего показателя для рассматриваемых вариантов трассы.

Количество показателей в формуле (1) может изменяться в зависимости от типа инженерного сооружения, природных и техногенных факторов. Поиск оптимального варианта прохождения трассы в каждом случае осуществляется по определенной группе показателей. Так, для линейного участка магистрального газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток» сравнение трех вариантов предполагаемого прохождения трассы проведено по 10 показателям. Результаты расчетов, выполненных по формуле (1), представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа трех вариантов трассы магистрального газопровода

Показатель конкурирующего варианта трассы	Влияние показателей трассы на условие (1)		
	1-й вариант – трасса минимальной длины	2-й вариант – трасса максимально приближена к железной дороге	3-й вариант – положение трассы вдоль железной дороги
Общая протяженность трассы, км	1,00	0,97	0,91
Протяженность по сухим грунтам, км	1,00	0,94	0,89
Протяженность по болотам, км	0,12	1,00	1,00
Количество пересекаемых мелких рек	1,00	0,80	0,80
Количество пересекаемых средних рек	1,00	1,00	1,00
Количество пересекаемых железных дорог	1,00	1,00	1,00
Количество пересекаемых шоссе и грунтовых дорог	0,90	1,00	0,94
Средняя дальность доставки труб и материалов, км	0,36	0,59	1,00
Длина участков, вдоль которых требуется строительство новых и временных дорог, км	1,00	0,97	0,91
Протяженность дорог, требующих ремонта, км	0,03	0,04	1,00
Суммарное влияние всех показателей	7,41	8,31	9,45

Результаты сравнительного анализа трех вариантов трассы показали, что суммарное влияние всех показателей максимально для варианта № 3, когда магистральный газопровод проектируется вдоль железной дороги, следовательно, данный вариант является наиболее оптимальным по отношению к другим конкурирующим.

При выборе оптимального варианта трассы магистрального газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток», кроме показателей, указанных в таблице 1, учитывалась протяженность пожароопасных лесных участков. Фрагмент расположения трассы газопровода на пожароопасных лесных угодьях представлен на рисунке 1.

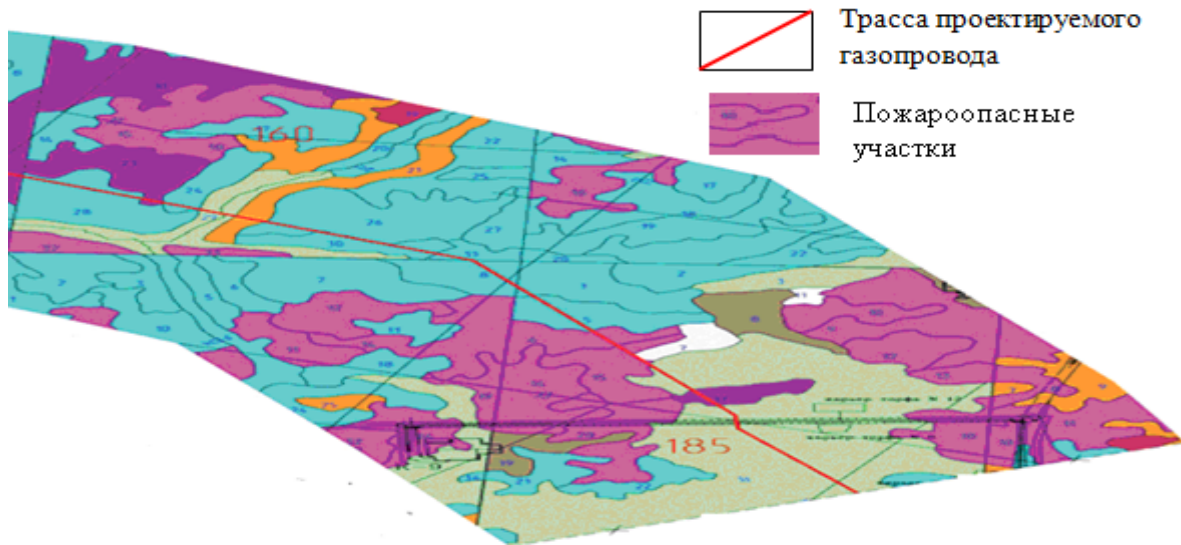


Рисунок 1– Вариант прохождения трассы через пожароопасные участки

В некоторых случаях влияние особо значимых показателей при сравнении вариантов трасс необходимо усиливать весовыми коэффициентами.

В настоящее время выполняются активные инженерно-геодезические изыскания на целом ряде месторождений, расположенных в районах Крайнего Севера с наличием бугров пучения. В качестве примера можно отметить Муравленковское, Суторминское, Сугмутское, Ямбургское месторождения. Одиночный бугор пучения показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Бугор пучения

В действующих строительных нормах и правилах (СНиП 11–02–96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.) установлены единые требования к точности геодезических измерений при выполнении инженерных изысканий независимо от особенностей территории северных месторождений. При проектировании трасс линейных сооружений в районах Крайнего Севера, подверженных техногенным рискам, для обоснования точности определения пространственного положения трассы в качестве приоритетных показателей необходимо учитывать количество бугров пучения и характер их распределения в пределах всей площади месторождения.

Для повышения уровня безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в районах Крайнего Севера предлагается в соответствии с разработанной системой классификации месторождений, представленной на рисунке 3, актуализировать требования СНиП в отношении назначения точности геодезических измерений при выполнении изысканий.

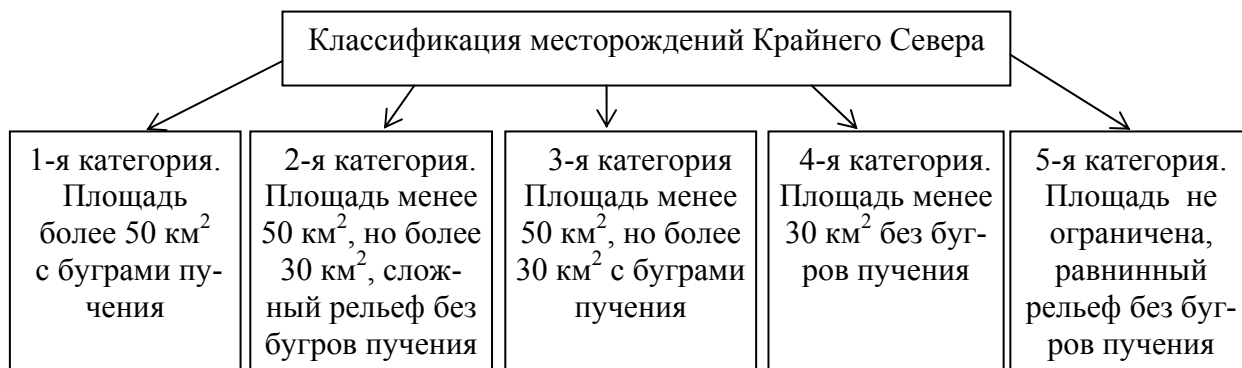


Рисунок 3 – Классификация нефтегазовых месторождений в районах Крайнего Севера

Для территорий нефтегазовых месторождений с буграми пучения рекомендуется при назначении точности геодезических измерений использовать коэффициент проектирования, вычисляемый по формуле:

$$k = \frac{S_{bpm}}{S}, \quad (2)$$

где S – общая площадь нефтегазового месторождения; S_{bpm} – площадь месторождения, занятая буграми пучения.

В случае, если на нефтегазовом месторождении бугры пучения отсутствуют, то согласно формуле (2) $k = 0$, и точность геодезических измерений на этапе изысканий может соответствовать стандартной, указанной в СНиП ($f_{\beta} = 1' \sqrt{n}$; $f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{L}$ (км), где n – количество углов хода по трассе; L – длина хода). Однако на некоторых месторождениях соотношение площади, занятой буграми пучения в районе работ, к общей площади месторождения достигает 50 % и более. В таких случаях целесообразно повысить точность создания планово-высотного обоснования. В таблице 2 показана рекомендуемая точность геодезических измерений при выполнении инженерных изысканий на трех месторождениях в зависимости от наличия бугров пучения.

Таблица 2 – Рекомендуемая точность геодезических измерений при выполнении изысканий на северных месторождениях

Месторождение	Общая площадь, км ²	Характер распределения бугров пучения по месторождению	Площадь бугров пучения от общей площади месторождения, %	Диаметр трубопровода, мм			Рекомендуемая точность планово-высотного обоснования
				водо-вод	газо-провод	нефте-провод	
Муравленковское	26	Неравномерное распределение	58	114	273	57	$f_{\beta} = 30'' \sqrt{n}$ $f_h = 20 \text{ мм} \sqrt{L}$ (км)
				168	426	159	
Сугорминское	68	Неравномерное распределение	46	219	530	219	$f_{\beta} = 30'' \sqrt{n}$ $f_h = 20 \text{ мм} \sqrt{L}$ (км)
				273	720	273	
Сугмутское	31	Равномерное распределение	38	300	1 000 1 200	325 400	$f_{\beta} = 1' \sqrt{n}$ $f_h = 50 \text{ мм} \sqrt{L}$ (км)

Важными характеристиками трубопроводов, влияющими на их пространственное положение, являются диаметр и назначение. Например, недопустимо прокладывать трубопровод диаметром 426 мм в непосредственной близости от подошвы бугра пучения «вечной мерзлоты», так как это способствует возникно-

вению аварийных ситуаций. Пример вынужденного обхода бугра пучения из-за неправильного расположения общего коридора коммуникаций при изысканиях магистрального газопровода на Сугмутском месторождении показан на рисунке 4.

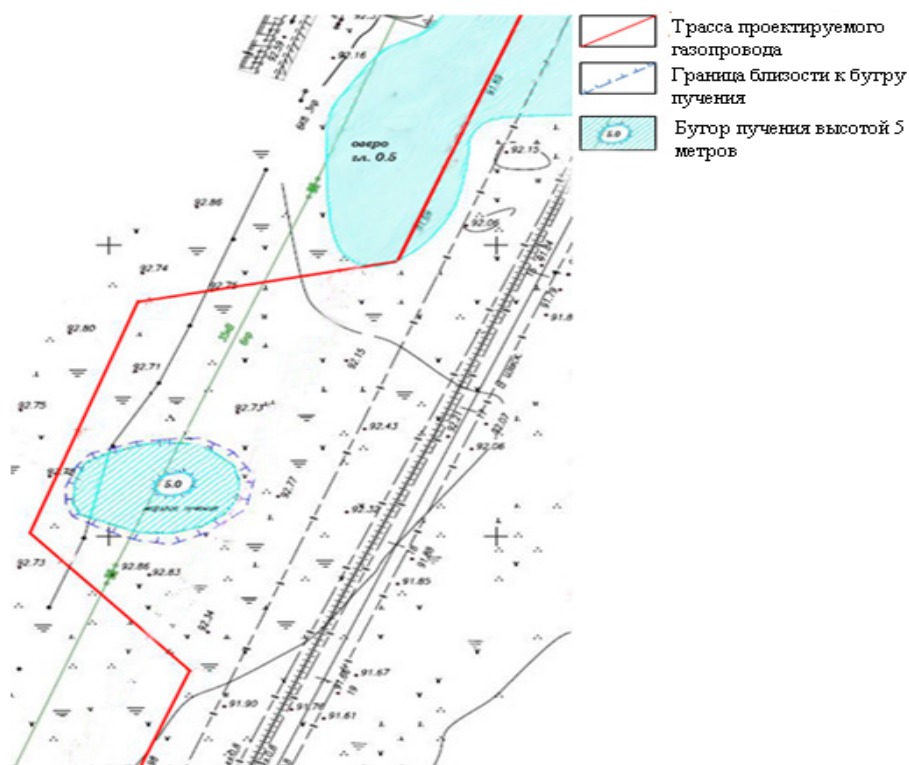


Рисунок 4 – Пример выбора трассы газопровода вблизи бугра пучения

В пункте 7.11 свода правил (СП 36.13330.2012) приведены следующие общие требования к проектированию магистральных трубопроводов: «При выборе трассы для подземных трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах следует по возможности избегать участки с подземными льдами, наледями и буграми пучения, проявлениями термокарста, косогоров с льдонасыщенными, глинистыми и переувлажненными пылеватыми грунтами. Бугры пучения следует обходить с низовой стороны».

В результате исследований сформулированы рекомендации по расположению коридора линейных коммуникаций относительно бугра пучения с ядром из многолетнемерзлых пород:

- при проложении линейных коммуникаций расстояние от оси первой трубы коридора до линии пересечения бугра пучения с земной поверхностью

следует задавать не менее 100 м, а расстояние до нижней (подземной) границы распространения мерзлоты – не менее 50 м;

– в качестве ближайшей трубы к бугру пучения следует прокладывать водовод или газопровод, но не нефтяную трубу, так как температура ее эксплуатации значительно выше, что может привести к подтаиванию бугра пучения.

Схема расположения коридора коммуникаций относительно бугра пучения показана на рисунке 5.

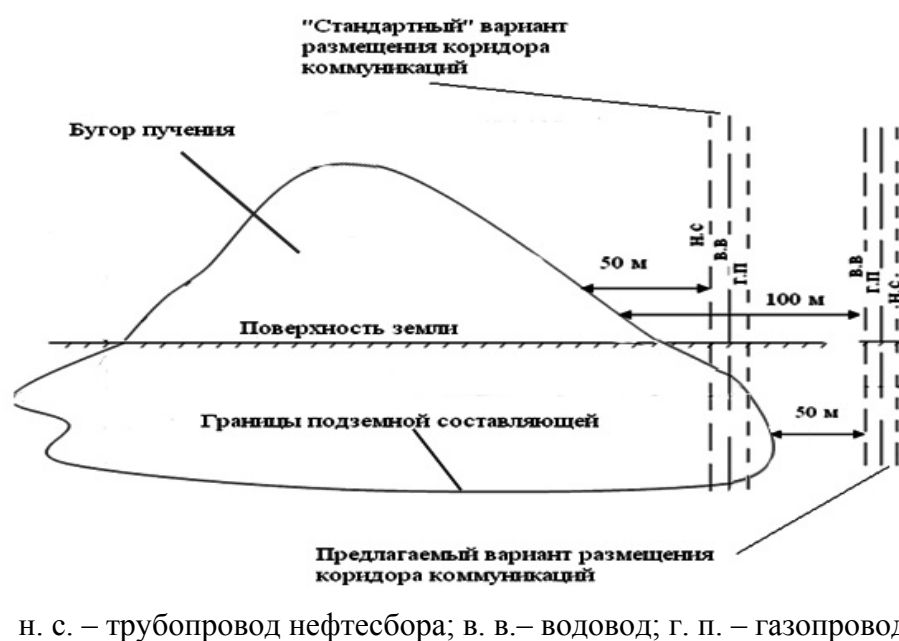


Рисунок 5 – Предлагаемый вариант размещения коридора коммуникаций относительно бугра пучения с ядром из многолетнемерзлых пород

В третьем разделе представлены результаты реализации предложенных технологических решений для инженерных изысканий на нефтегазовых месторождениях Крайнего Севера.

На основе анализа комплекса инженерных изысканий на полуострове Таймыр установлено, что исполнителям требовалось до 5 раз выполнять разные виды полевых работ по одной и той же трассе. Практический многолетний опыт работы на месторождениях Крайнего Севера показал, что использование

методики последовательного проведения инженерных изысканий значительно увеличивает сроки их исполнения.

С целью повышения производительности труда, сокращения временных затрат, автоматизации координатной привязки геологических скважин, надежного установления границ подземной составляющей бугров пучения был разработан и внедрен в производство приборный изыскательский комплекс (Пат. 164037). Структурная схема расположения приборов и устройств представлена на рисунке 6.

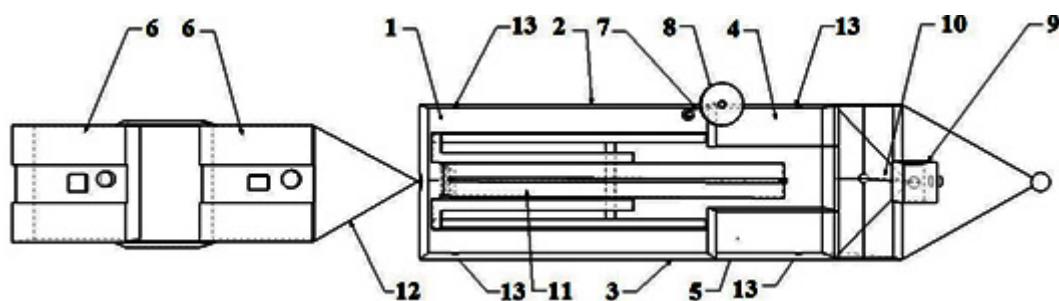


Рисунок 6 – Структурная схема приборного изыскательского комплекса

На рисунке 6: 1 – металлические сани; 2, 3 – боковые борта для размещения коробов 4 и 5 для перевозки георадара 6 и его антенных блоков; 7 – штатив для крепления спутникового геодезического приемника 8; 9 – электронный тахеометр; 10 – специальное крепление для электронного тахеометра; 11 – малогабаритная буровая установка, шарнирно закрепленная у заднего борта со специальными раздвижными лапами, обеспечивающими устойчивость; 12 – буксир для георадара; 13 – узлы для крепления съемных колес на период отсутствия снежного или ледяного покрова. Данный приборный комплекс (рисунок 7) предназначен не только для одновременной транспортировки геодезического, георадарного и геологического оборудования, но и для обеспечения единого технологического процесса выполнения геодезических, георадарных и геологических работ, необходимых для изысканий при обустройстве нефтегазовых месторождений в районах Крайнего Севера.



Рисунок 7 – Приборный изыскательский комплекс

Выполненные исследования и производственная эксплуатация приборного комплекса позволили установить основные достоинства разработанного изыскательского комплекса: многофункциональность, мобильность, зимой он может транспортироваться с помощью снегохода, летом – с помощью автомобиля, позволяет с высокой точностью и надежностью определять границы распространения подземной составляющей бугров пучения. Комплекс хорошо зарекомендовал себя при съемке подземных коммуникаций, определении глубины заложения труб, координатной привязке геологических скважин.

Для нефтегазовых месторождений, на территории которых, кроме бугров пучения, имеется «вечная мерзлота» со сплошным или прерывистым распространением, в состав инженерных изысканий рекомендуется включать георадарные обследования и электроразведку. Георадарные технологии достаточно эффективны при определении слоев грунтов и обнаружении объектов в теле

Земли. Электроразведка рекомендуется для выявления участков вечномёрзлых грунтов, установления и обнаружения тектонических нарушений, зон трещиноватости, определения границ закарстованных участков. На рисунке 8 приведен пример результатов геофизических изысканий на Северо-Уренгойском месторождении. Полученные геопрограммные данные об участках распространения многолетних мерзлотных грунтов позволили уже на этапе изысканий локализовать отдельные линзы вечной мерзлоты и запроектировать трассу на необходимом удалении от них.

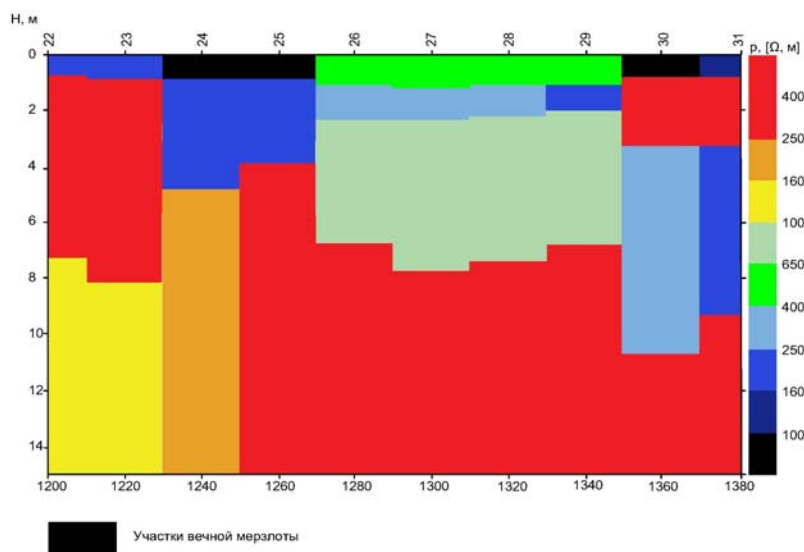


Рисунок 8 – Выявление участков «вечной мерзлоты» по данным электроразведки

В районах распространения «вечной мерзлоты» для обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводов предложено выполнять прогнозные расчеты их возможных деформаций на этапе подготовки проектной документации.

Влияние погрешности глубины заложения трубопровода на возможное появление его деформаций, с учетом того, что сезонная глубина промерзания и толщина подушки грунта под трубой постоянны, определяется формулой

$$\delta H_{fi} = -\frac{h_f}{g_f} \delta_g, \quad (3)$$

где h_f – предполагаемая величина деформации под трубой; g_f – глубина промерзания грунта; δ_g – погрешность глубины заложения трубопровода.

Расчеты показывают, что погрешности при предвычислении возможных деформаций трубопровода в зависимости от влажности в слое сезонного промерзания грунта могут достигать 20 см. Учитывая, что современные георадары позволяют определять границы объектов с точностью порядка 10 см, влияние «вечной мерзлоты», погрешности глубины заложения трубопровода и других геометрических параметров необходимо учитывать при строительстве трубопроводов в районах Крайнего Севера для обеспечения их безопасной эксплуатации.

Для повышения надежности расчетов по определению возможных деформаций трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых пород с наличием таликов на нефтегазовых месторождениях рекомендуется определять разность деформаций пучения на коротких интервалах трубопровода. С этой целью на холмистой местности предложено выполнять тригонометрическое нивелирование короткими лучами с длиной плеча до 200 м, а на наиболее опасных участках в непосредственной близости бугров пучения или талика – до 100 м и меньше. Для обеспечения точности и надежности геодезических измерений должно выполняться оптимальное проектирование и создание планово-высотного геодезического обоснования с использованием ГНСС-технологий и электронной тахеометрии. Предпочтение следует отдавать сетям замкнутых полигонов повышенной точности по сравнению со стандартными требованиями.

Разработанные в результате диссертационного исследования технологические решения были использованы при проведении комплексных инженерных изысканий на Ямбургском нефтегазовом месторождении. На Ямбургском месторождении были получены точные и надежные геопространственные данные о двух буграх с ядром из многолетнемерзлых пород в непосредственной близости от кустовой площадки. С учетом этого проработано два варианта трасс автомобильной дороги и произведена важная корректировка земельных отводов (рисунок 9).

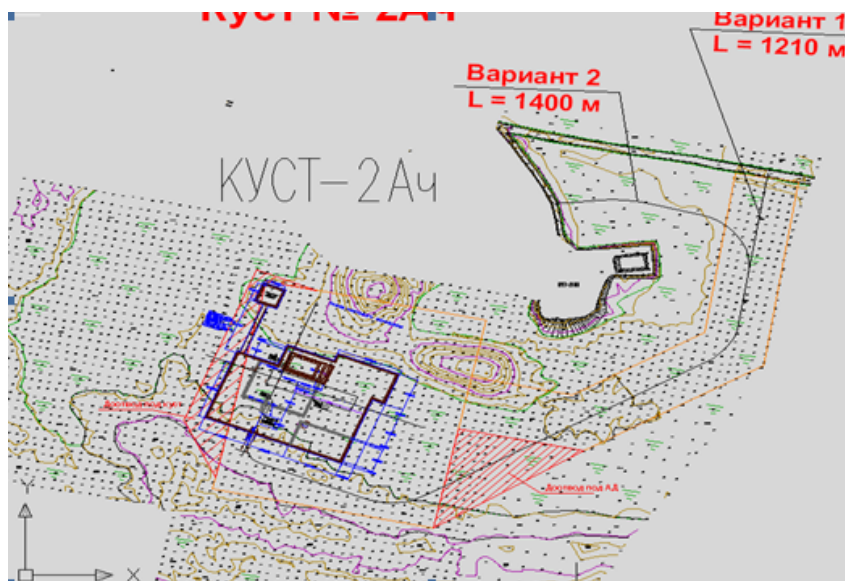


Рисунок 9 – Пример внедрения технологических решений на Ямбургском месторождении

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных научных исследований поставленная цель достигнута, сформулированные задачи решены.

Итоги выполненных исследований заключаются в следующем:

- выполнен анализ существующих отечественных и зарубежных методик инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений, который показал необходимость разработки новых технологических решений по совершенствованию инженерно-геодезических изысканий коридоров линейных коммуникаций с учетом особенностей нефтегазовых месторождений Крайнего Севера;

- разработана система классификации нефтегазовых месторождений в зависимости от их площади и наличия бугров пучения, включающая в себя 5 категорий и позволяющая систематизировать обоснование выбора геодезических средств измерений в зависимости от предложенных категорий нефтегазовых месторождений;

- усовершенствована методика по выбору оптимального пространственного расположения трасс линейных коммуникаций, входящих в коридор ком-

муникаций нефтегазовых месторождений Крайнего Севера, за счет включения новых показателей, максимально учитывающих природный и техногенный характер территории, что позволяет выбрать наиболее экономичный, экологически безопасный вариант трассирования;

– разработаны технологические решения, регламентирующие точность геодезических измерений при выполнении инженерно-геодезических изысканий для месторождений с буграми пучения, позволяющие получить достоверное отображение инфраструктуры коридоров коммуникаций на топографических планах;

– сформулированы рекомендации по актуализации строительных норм и правил по проектированию коридоров линейных коммуникаций, которые позволяют учитывать особенности северных территорий, что способствует повышению сроков безопасной и безаварийной эксплуатации трубопроводов;

– разработан и внедрен в производство приборный комплекс для инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий на нефтегазовых месторождениях, позволяющий сократить время производства полевых работ в 2 раза, обеспечивающий единый технологический процесс с эффективным использованием ГНСС-технологий, электронного тахеометра, бурового станка и георадарного обследования (получен патент РФ на полезную модель № 164037);

– результаты диссертационного исследования внедрены в ОАО СибНИИНП, в ЗАО «ГИДРОМАШСЕРВИС» и успешно использовались при проведении изысканий на Сергинском, Сугмутском, Муравленковском, Северо-Уренгойском, Северо-Саренбойском, Ямбургском нефтегазовых месторождениях, а также при трассировании линейного участка магистрального газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток».

Экономия денежных средств при внедрении разработанных технологических решений составила более 30 % от первоначальной сметной стоимости инженерных изысканий, что подтверждается актами о внедрении результатов научно-исследовательской работы.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в рамках выполнения Государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года». 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 Биндер, И. О. Особенности инженерно-геодезических изысканий линейного участка магистрального газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток» [Текст] / И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев // Геодезия и картография. – 2011. – № 1. – С. 9–12.

2 Геодезический мониторинг подземных коммуникаций с применением 3D-моделирования [Текст] / И. О. Биндер, Д. Б. Буренков, Г. А. Гринь, П. П. Мурзинцев // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 5–9.

3 Биндер, И. О. Инженерно-геодезические изыскания для комплексной оценки природных и техногенных условий территории строительства [Текст] / И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев // Геодезия и картография. – 2011. – № 11. – С. 6–9.

4 Биндер, И. О. О назначении точности инженерно-геодезических изысканий коридоров коммуникаций нефтегазовых месторождений Западной Сибири с учетом техногенных рисков [Текст] / И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев // Геодезия и картография. – 2012. – № 7. – С. 29–32.

5 Биндер, И. О. Инженерно-геодезические изыскания линейного участка магистрального газопровода «Сахалин – Хабаровск – Владивосток» [Текст] / И. О. Биндер // Инженерные изыскания. – 2014. – № 5-6. – С. 64–67.

6 Биндер, И. О. Об учете погрешностей геодезического обеспечения при строительстве, мониторинге и предрасчетах деформаций трубопроводов [Текст] / И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев // Геодезия и картография. – 2015. – № 6. – С. 13–16.

7 Мурзинцев, П. П. О необходимости актуализации строительных норм и правил по инженерно-геодезическим изысканиям для районов Крайнего Севера [Текст] / П. П. Мурзинцев, И. О. Биндер // Геодезия и картография. – 2017. – № 11. – С. 16–21.

8 Пат. 164037 Российская Федерация. RU U1 МПК В62D 63/06, В62В 15/00, G01V 1/00. Устройство для транспортировки геодезического, георадарного и геологического оборудования и выполнения геодезических, георадарных и геологических работ [Текст] / И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев; заявители и правообладатели И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев. – 2015115652; заявл. 24.04.2015; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23.

9 Биндер, И. О. Применение спутниковых технологий в инженерно-геодезических изысканиях магистрального газопровода [Текст] / И. О. Биндер, П. П. Мурзинцев // ГЕО-Сибирь-2011 : сб. материалов VII Междунар. науч. конгр. 19–29 апр. 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2011. – Т. 1, ч. 1. – С. 57–61.

10 Биндер, И. О. О методиках инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений [Текст] / И. О. Биндер // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10 – 20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – Т. 1. – С. 161–165.

11 Биндер, И. О. Инновации в инженерно-геодезических изысканиях при обустройстве нефтегазовых месторождений в районах Крайнего Севера [Текст] / И. О. Биндер // «Традиции и инновации в начале XXI столетия» : сб. материалов межрегионал. междисциплинар. науч. конф., посвящ. 60-летию д-ра истор. наук, проф., зав. каф. гуманитар. наук СГГА М. Н. Колоткина (Новосибирск, 19 октября 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 147–150.

12 Биндер, И. О. Об одном «основном» алгоритме выбора оптимального варианта трассы магистрального газопровода [Текст] / И. О. Биндер // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15 – 26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. – Т. 1. – С. 67–70.