

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Новоселов Денис Борисович

Совершенствование методики геодезического обеспечения строительства и
эксплуатации промышленных предприятий в горнодобывающей отрасли

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук, доцент
Неволин Анатолий Геннадьевич

Новосибирск – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	11
1.1 Анализ современного состояния геодезического производства на промышленных предприятиях.....	11
1.2 Информационное обеспечение работ при строительстве, реконструкции и перепланировки промышленных площадок.....	14
1.3 Ведение цифровых дежурных планов для проектирования объектов и планирования развития предприятий	16
1.4 Методы и технические средства для сбора и обработки результатов геодезических измерений.....	20
1.5 Основные недостатки геодезического сопровождения строительства зданий и сооружений на горнодобывающих промышленных предприятиях и выводы.	29
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	31
2.1 Развитие планово-высотной основы для создания цифровых дежурных планов.....	31
2.2 Управление точностью полигонометрических построений.....	38
2.3 Создание виртуальных моделей местности горной территории для проектирования геодезических сетей	51
2.4 Создание и актуализация дежурных планов с применением наземных лазерных сканеров и БЛА	56
2.5 Выводы по второму разделу	67

3	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	69
3.1	Автоматизированные методы определения наиболее устойчивых реперов высотной основы для наблюдения за деформациями зданий и сооружений	69
3.2	Способ анализа устойчивости реперов высотной основы при наблюдениях за осадками сооружений	72
3.3	Математическая обработка результатов цифрового нивелирования с применением специализированного программного обеспечения	78
3.4	Исследование работы цифрового нивелира при недостаточной освещённости штрихкодowej рейки.....	80
3.5	Выводы по третьему разделу	85
4	ПРИМЕНЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	87
4.1	Проектирование и создание линейно-угловой сети в горных районах Кемеровской области.....	87
4.2	Комплекс наблюдений за деформациями фундаментов ОФ Распадская с 2004 г. по настоящее время	93
4.3	Применение методики геодезического контроля при наблюдениях за деформациями исторических сооружений.....	103
4.4	Создание пространственных поверхностей по данным освещённости внутри сооружений	110
4.5	Использование БЛА и наземного лазерного сканера при геодезическом контроле за возводимыми зданиями и сооружениями.....	113
4.6	Выводы по четвертому разделу	120

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ ОПОРНОГО ПОЛИГОНА ОФ «РАСПАДСКАЯ»	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) МОНИТОГИНГ СТРОИТЕЛЬСТВА КРУПНОГО ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛА.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из важных задач современного развития геодезической науки и практики является повышение эффективности производства инженерно-геодезических работ при наименьших затратах сил, средств, труда и времени. В настоящее время строительство инженерных сооружений требует качественных топографо-геодезических данных и, как следствие этого, применения новых методов и технических средств измерений для выполнения геодезического сопровождения и мониторинга. Развитие электронной, спутниковой, лазерной и беспилотной техники, а также компьютерных и цифровых технологий позволяет существенно усовершенствовать методики, используемые в геодезическом обеспечении строительства и эксплуатации объектов на горнодобывающих промышленных предприятиях.

С применением современных технологий для сбора и обработки пространственных данных повысился уровень требований к квалификации геодезистов и маркшейдеров. Появилась необходимость максимально автоматизировать процессы выполнения полевых и камеральных геодезических работ. При этом важным является разработка новых методов работы с применением автоматизированных технологий для выполнения геодезического контроля инженерных сооружений на горнодобывающих промышленных предприятиях.

Поэтому совершенствование методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов на предприятиях горнодобывающей промышленности с применением автоматизированных технологий для производства измерений и обработки пространственных данных является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в развитие прикладной геодезии применительно к задачам геодезического мониторинга и наблюдения за деформациями инженерных сооружений и автоматизации

обработки пространственных данных внесли ряд известных ученых: Аврунев Е. И., Асташенков А. Г., Васютинский И. Ю., Жуков Б. Н., Карпик А. П., Ключин Е. Б., Конусов В. Г., Коугия В. А., Комиссаров Д. В., Лебедев Н. Н., Левчук Г. П., Лунев А. А., Маркузе Ю. И., Неволин А. Г., Никитин А. В., Новак В. Е., Пигин А. П., Рязанцев Г. Е., Пискунов М. Е., Селиханович В. Г., Середович В. А., Столбов Ю. В., Тамутис З. П., Тюрин С. В., Уставич Г. А., Шоломицкий А. А., Ямбаев Х. К., Amiri-Simkoeei A. R., Asgari J., Zangeneh-Nejad F. и многие другие.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является совершенствование методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов на горнодобывающих промышленных предприятиях Кемеровской области.

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

- проанализировать современное состояние геодезического обеспечения промышленных территорий в горнодобывающей отрасли;
- разработать методику создания и актуализации дежурных планов промышленных предприятий с применением наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных аппаратов и современных компьютерных программ для обработки пространственных данных;
- провести исследование работы цифрового нивелира при недостаточной освещенности штрихкодовой рейки и создать трехмерные пространственные модели освещенности внутри действующих производственных предприятий;
- выполнить экспериментальное исследование усовершенствованной методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов на примерах производственных горнодобывающих промышленных предприятий Кемеровской области.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является геодезический мониторинг инженерных сооружений промышленных предприятий на территории Кузбасса.

Предметом исследования является методика геодезического обеспечения строительства и эксплуатации зданий и сооружений горнодобывающих промышленных предприятий Кемеровской области.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- усовершенствована методика геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов горнодобывающих предприятий, позволяющая повысить качество и надежность результатов геодезического контроля за счет комплексного применения современных измерительных систем и обработки пространственных данных;

- предложены способы нивелирования и математической обработки результатов наблюдения за осадками фундаментов промышленных предприятий, позволяющая автоматизировать процесс выполнения полевых и камеральных работ за счет применения цифровых нивелиров и специализированного программного обеспечения;

- разработаны способы создания и актуализации цифровых трехмерных дежурных планов промышленных предприятий с применением наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных аппаратов и современных программных продуктов, которая дает более полную и оперативную информацию для обеспечения устойчивого развития промышленных территорий и принятия управленческих решений.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы.

Теоретическая значимость состоит в развитии методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов на горнодобывающих промышленных предприятиях, а также в создании и ведении дежурного плана промышленной территории с совместным использованием беспилотных летательных аппаратов и наземных лазерных сканеров.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная методика геодезического обеспечения строительства и эксплуатации предприятий горнодобывающей промышленности Кузбасса может быть использована для повышения точности и надежности результатов геодезического контроля, а также

продления срока службы несущих конструкций и технологического оборудования для обеспечения их безаварийной эксплуатации.

Методология и методы исследования. В диссертационной работе использовались современные измерительные системы, программно-технические средства, автоматизированные методы математической обработки пространственных данных, методы априорной оценки точности, программирования и трехмерного компьютерного моделирования. Разработанные алгоритмы, основанные на теоретических и экспериментальных исследованиях, опробованы на примерах действующих объектов промышленного назначения.

Положения, выносимые на защиту:

- усовершенствованная методика геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов горнодобывающих предприятий, которая позволяет повысить качество результатов геодезического контроля за счет комплексного применения современных автоматизированных систем измерений и обработки пространственных данных;

- усовершенствованные способы геометрического нивелирования и математической обработки результатов наблюдения за осадками фундаментов промышленных зданий и сооружений, позволяющая автоматизировать процесс выполнения полевых и камеральных работ за счет применения цифровых нивелиров и специализированного программного обеспечения;

- способы создания и актуализации цифровых дежурных планов промышленных предприятий с учетом совместного применения наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных аппаратов и специализированных компьютерных программ для повышения оперативности и надежности геодезического контроля.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует областям 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 нефтегазодобывающих комплексов; 9 – Геодезическое информационное обеспечение устойчивого развития территорий на основе ГИС-технологий. Принципы формирования, состав и структура геоинформационного пространства, отображающего совокупность пространственных характеристик территорий паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Степень достоверности и апробация полученных результатов.

Результаты диссертационного исследования, практические рекомендации и выводы докладывались и обсуждались на следующих научных конгрессах:

- 9 Международных научных конгрессах «ГЕО-Сибирь» с 2008 г. по 2016 г., г. Новосибирск;
- Конференция «TERRA CREDO» (23–26 марта 2010г., Минск);
- VII Международная конференция «Современные технологии изысканий, проектирования, строительства и геоинформационного обеспечения» (18–20 октября 2011г., Москва);
- 3 Международных научно-практических конференций «Геопространственные технологии и сферы их применения» с 2012 г – 2014 г., г. Москва;
- FIG Workshop «Global trends and convergence in Surveying Education» (26-28 September 2012, Moscow);
- VIII Международная конференция «Современные технологии изысканий, проектирования, строительства и геоинформационного обеспечения» (13–15 ноября 2012г., Санкт-Петербург);
- Юбилейная конференция «Технологии CREDO – нам 25 лет!» (25–26 ноября 2014г., Минск);
- Международный форум «ГЕОСТРОЙ 2019 – Геопространственное обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений» (27–29 марта 2019г., Новосибирск);

- Юбилейная конференция «30 лет информационного моделирования в КРЕДО» (29 октября 2019г., Москва);
- XVII Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2021» (19–21 мая 2021 г., Новосибирск).

Разработанные методы геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов промышленных предприятий основываются на теоретических исследованиях и накопленном производственном опыте ведущих российских и зарубежных ученых. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается экспериментальными расчетами точности, применением трехмерных моделей осадок и материалов геодезического мониторинга действующих объектов промышленных предприятий. Практическое применение разработок апробировано на объектах промышленного и культурного назначения при строительстве и эксплуатации сооружений в ООО «ОК «Сибшахтострой», «Обогатительная фабрика «Распадская», «Спасо-Преображенский собор» и в п. г. т. Шерегеш, гора Зеленая Кемеровской области и т. д.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований представлены в пятнадцати научных работах, семь из которых 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.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 152 страницы машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 183 наименования, содержит 20 таблиц, 53 рисунков и 2 приложения.

1 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

1.1 Анализ современного состояния геодезического производства на промышленных предприятиях

Государственной программой развития угольной промышленности Кемеровской области предусмотрено дальнейшее устойчивое развитие горнодобывающей отрасли на 2019–2024 годы. Для Кемеровской области основным приоритетом является повышение экономической эффективности и конкурентоспособности региона на основе внедрения инновационных технологий [118].

В настоящее время в Кузбассе действуют 114 угледобывающих предприятий (60 шахт, 34 разреза) и 34 обогатительные фабрики. Например, комплексный план развития Таштагольского района содержит освоение Селезеньского месторождения, в том числе добычу и обогащение марганцевых руд, добычу меди, производство стройматериалов, а также дальнейшее развитие туристической деятельности в п.г.т Шерегеш (рисунок 1.1).

Одной из важных стратегий развития строительного комплекса Кемеровской области является повышение эффективности геодезического обеспечения промышленных объектов в процессе их строительства, реконструкции и эксплуатации, а также пространственного планирования сооружений и территорий с применением современных цифровых и информационных систем и технологий.

В условиях становления и развития цифровой экономики Российской Федерации данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности, что повышает конкурентоспособность отечественных технологий и продукции, обеспечивает экономический рост и национальный суверенитет [107].



Рисунок 1.1 - Кемеровская область

Растет интерес к трехмерному моделированию при проектировании и строительстве инженерных сооружений, тем более что в крупных городах Российской Федерации создаются трехмерные модели городской среды [19, 45]. Также трехмерные модели создаются и на крупных промышленных предприятиях. Для реализации трехмерного моделирования и мониторинга развития промышленных предприятий все чаще используется трехмерное лазерное сканирование [6, 48, 77, 126]. Среди специалистов, работающих в области геодезического сопровождения строительства и эксплуатации промышленных предприятий, все большим спросом пользуются наземные

сканирующие системы. Эти технологии используются там, где традиционными методами провести съемку невозможно или небезопасно.

В геодезическом обеспечении строительства инженерных сооружений продолжается внедрение не только сканирующих систем, но и систем беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

Совместно с геодезическим оборудованием развивается и программное обеспечение. При реализации геоинформационных систем и технологий организация хранения информации в файловых форматах стала замещаться полной интеграцией с традиционными хранилищами баз данных. Современному потребителю геодезических данных и документов нужны территориальные и корпоративные геоинформационные системы (ГИС). В связи с этим востребован инструментарий, способный напрямую работать с ранее созданными данными в различных форматах.

В последнее время средства массовой информации часто сообщают о возросшем числе катастроф, происходящих на промышленных предприятиях. Увеличение числа аварий в настоящее время связано с социально-экономическими условиями, а также с нарушением технологии работ, игнорированием техники безопасности, и особенно, снижением уровня контроля на всех стадиях строительства и эксплуатации, а также разрушением системы планово-предупредительных ремонтов.

При строительстве и эксплуатации промышленных предприятий горнодобывающей отрасли существенным недостатком является отсутствие методик использования современных геодезических инструментов в совокупности с автоматизированными системами обработки пространственных данных.

1.2 Информационное обеспечение работ при строительстве, реконструкции и перепланировки промышленных площадок

В настоящее время повсеместно внедряются современные технологии BIM в проектных организациях, выполняющих проектирование крупных промышленных предприятий [3, 28, 180]. Все чаще на строительной площадке применяются современные технологии управления строительством и применение проектных моделей в трёхмерном виде [20, 119]. Сегодня осуществляется подготовка перевода строительной области на электронный документооборот согласно Постановлению правительства РФ №1431 [106]. В случаях, если застройщик или технический заказчик обеспечивает формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства, результаты инженерных изысканий подготавливаются в форме, позволяющей осуществлять их использование при формировании и ведении такой информационной модели. Применение технологий информационного моделирования позволит отслеживать состояние объекта на протяжении всего жизненного цикла.

Результаты геодезических измерений необходимы как на этапе создания информационной модели, так и на этапе управления строительством с использованием цифровой модели и при мониторинге в процессе эксплуатации объекта [5]. В нормативном документе СП 333.1325800.2017 [134] рассматриваются задачи анализа местоположения будущего объекта, геодезические разбивочные работы и геодезический контроль в строительстве, в том числе с применением современных инженерно-изыскательских технологий, роботизированных геодезических инструментов и систем автоматизированного управления строительной техникой.

Поэтому необходимо использовать современные автоматизированные технологии для сбора и обработки геодезических данных при строительстве и эксплуатации промышленных объектов горнодобывающей отрасли. Это обеспечивается применением специализированных программно-технических

комплексов, которые позволяют автоматизировать процессы полевых и камеральных работ.

Рассмотрим отечественные программные продукты фирмы «Кредо-диалог», как пример их использования при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений [112]. Камеральная обработка геодезических измерений разных классов точности автором предлагается выполнять в отечественном программном продукте КРЕДО ДАТ [55]. В программу импортируются данные с любых электронных тахеометров, которые сейчас есть на рынке. В программе предусмотрена обработка данных тахеометрической съемки с формированием точечных, линейных и площадных топографических объектов и их атрибутов при использовании полевого кодирования. В программе можно выполнить поиск ошибок измерений, выполнить предрасчет точности плановых и высотных геодезических измерений различной точности.

Измерения, полученные по результатам геометрического нивелирования I–IV классов и технического нивелирования, выполняемые оптическими или цифровыми нивелирами, обрабатываются в программе НИВЕЛИР [56]. Программа позволяет импортировать данные в электронном формате цифровых нивелиров, а также в форматах текстовых файлов. В программе можно быстро сформировать полученные данные по ходам и секциям, выполнить предварительную обработку, выполнить поиск ошибок, учесть необходимые поправки, а также выполнить уравнивание.

Данные, полученные из систем мобильного и наземного лазерного сканирования, воздушной съёмки с помощью БЛА в виде облака точек, предлагается обрабатывать в программе 3D СКАН [54]. Параллельно можно загрузить и совместно использовать с облаком точек фотоизображения с пространственной привязкой, что облегчит распознавание сложных объектов ситуации и позволит создавать по ним точечные и линейные топографические объекты в трехмерном виде или на плоскости. Доступна фильтрация шума в облаке точек по заданным параметрам, а также адаптивное прореживание облака точек и построение цифровой модели рельефа.

При строительстве и эксплуатации промышленных объектов необходим постоянный мониторинг деформаций. Контроль изменения деформаций в конструкциях сооружений позволяет в значительной степени минимизировать риски их повреждения и разрушения [156]. Программа РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ осуществляет анализ и интерпретацию результатов повторяющихся геодезических измерений при наблюдениях за деформационно-осадочными процессами [57].

Базовым программным продуктом для создания цифровой модели местности инженерного назначения является платформа CREDO-III. Ее функциональные возможности позволяют быстро и качественно создать цифровую модель ситуации и цифровую модель рельефа. При этом используются готовые библиотеки линий и штриховок, стилей отображения поверхностей, а также объекты тематического классификатора, шаблоны чертежей, ведомостей и т. д. В системе доступно моделирование и просмотр профилей линейных тематических объектов, в том числе подземных и наземных коммуникаций. Система обеспечивает высокую скорость и точность расчетов объемов земляных работ.

1.3 Ведение цифровых дежурных планов для проектирования объектов и планирования развития предприятий

Решение задач управления территорией промышленных предприятий связано с анализом пространственной информации и наиболее эффективно с применением инструментальных средств геоинформационных систем и данных о территориально-распределенных объектах. Реализация задач проектирования, строительства и эксплуатации сооружений связана с локальными данными и наиболее эффективна с использованием инструментальных средств САПР.

Для решения задач топографического мониторинга застроенной территории используется двухуровневая система, в которой каждый уровень ориентирован на определенную группу задач.

На первом (верхнем) уровне системы решаются задачи, связанные с управлением территориями, выполнением необходимых выборок и формированием соответствующих документов. Такие задачи требуют наличия цифровой карты местности (ЦКМ), соответствующей масштабам 1:2 000–1:10 000 с относительно невысокой детализацией объектов, причем, объем данных об этих объектах может быть ограничен. На рассматриваемом уровне реализуются аналитические функции и система запросов, что требует хранения соответствующей атрибутивной информации, привязанной к территориально-распределенным объектам. Содержание этой информации, как и формы выходных документов, определяется перечнем решаемых системой задач, требованиями действующих нормативных документов и спецификой конкретной территории [44, 80].

Для решения задач первого уровня требует использования инструментальных средств геоинформационных систем (таких, как ArcGIS, MapInfo, ArcInfo, ArcView и др.), выбор которых зависит от требуемых функций или условий эксплуатации, например, через Интернет, геопорталы с распределенным доступом.

На втором (нижнем) уровне системы концентрируются данные, представляющие собой постоянно обновляемый по результатам геодезических исполнительных съемок и инженерно-геодезических изысканий дежурный план промышленной территории. В состав дежурного плана территории должны входить не только инженерный топографический план, но и планы красных линий, детальной планировки проектируемых объектов. Цифровое представление может быть в растровой или векторной форме. Для ведения дежурного плана промышленных территорий необходимо использовать именно векторные форматы представления, так как растровые форматы давно потеряли свою актуальность и при работе с ними возникает очень много проблем, таких как сложность внесения изменений, работа со слоями и хранение данных.

Векторизация топографических планов выполняется автоматически в ПО - распознавание отметок, распознавание точечных тематических объектов, полуавтоматически - распознавание горизонталей и линейных тематических

объектов, а также «вручную» - создание точек и тематических объектов, редактирование объектов. Функциональные возможности ПО для оцифровки позволяют инженеру значительно сэкономить свое время, в 2-3 раза быстрее векторизовать растровые изображения и получать желаемый результат. Актуально использовать программу-векторизатор на первом этапе создания дежурного плана, когда исходная информация о промышленной территории представлена в растровом формате и необходимо ее перевести в кратчайшие сроки в векторный формат.

Для ведения данных второго уровня наиболее подходящими являются инструментальные средства САПР. Причем использование для этой цели инструментальных средств ГИС представляется нецелесообразным в связи с неизбежными потерями точности при конвертации данных второго уровня в процессе многочисленных координатных преобразований, преобразования сложных структур метрической информации, описываемых нелинейными функциями.

Представим концептуальную схему рассмотренной двухуровневой системы топографического мониторинга застроенной территории (рисунок 1.2), где показаны уровни информации, ее потоки, виды и приведен перечень организаций, которые могут быть поставщиками данных или их пользователями.

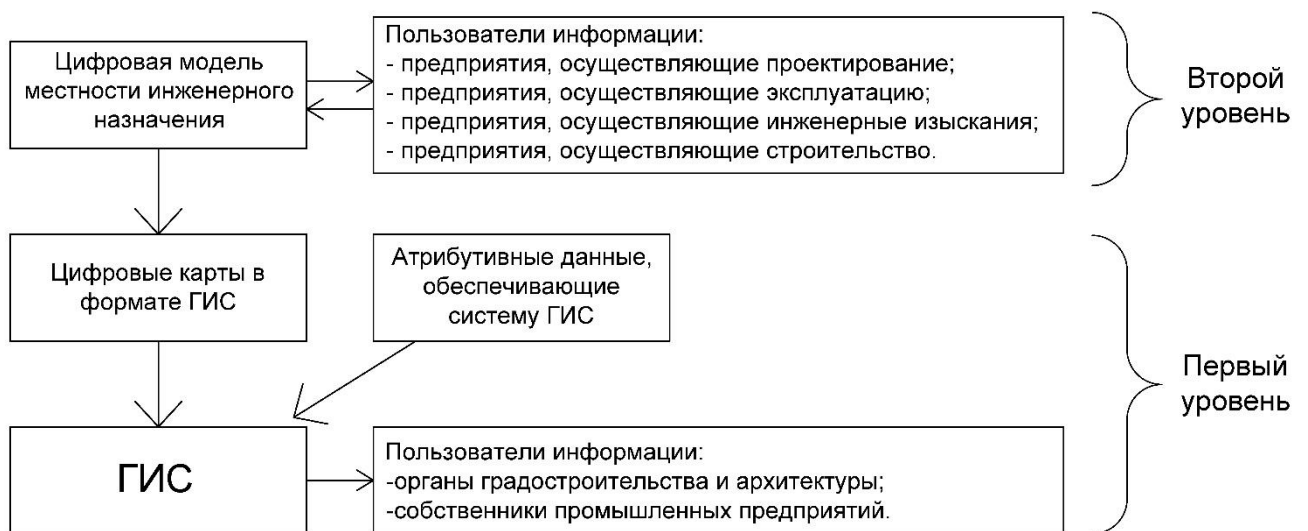


Рисунок 1.2 - Схема топографического мониторинга промышленной территории

В функции системы второго уровня должно входить ведение сведений об обновляемых тем или иным способом фрагментах территории, например, в наименованиях и адресах выполнивших их организаций, дате актуализации. Наличие таких данных обеспечивает возможность получения реальных сведений об актуальности топографической информации и территории.

В проектах на строительство производственно-хозяйственной деятельности на территории горнодобывающих предприятий предусматриваются топографические и маркшейдерские работы, необходимые для обеспечения рационального использования и охраны недр, безопасного ведения горных работ. При этом учитываются реконструкции маркшейдерской опорной сети или восстановления утраченных пунктов опорной и разбивочной сетей, обновления планов земной поверхности в процессе строительства или после его завершения, съемки горных выработок и составления горной графической документации перед сдачей объекта в эксплуатацию [120].

Все изменения, внесенные в проектную документацию в установленном порядке, а также допущенные отклонения от нее, при их наличии, в размещении зданий (сооружений) и сетей инженерно-технического обеспечения следует фиксировать на исполнительном генеральном плане [132].

Существуют примеры опыта ведения дежурных планов г. Хабаровск [45], г. Барнаул [19], г. Москва [41] и трехмерной карты г. Новосибирск [82]. Хабаровск был полностью переведен в векторный вид, и ведение дежурного плана происходит полностью в цифровом виде с определенной структурой слоёв. В г. Барнаул были отсканированы планшеты, и ведение дежурного плана пока выполняется в растровом формате. Такой метод ведения дежурного плана присущ многим городам Российской Федерации, например, такая же технология внедрена в г. Новокузнецк.

В работе [144] описаны методы решения задачи создания и ведения электронного генплана промышленного предприятия, структуры входных и выходных его данных. Рассмотрено взаимодействие конструкторского бюро генерального плана с другими подразделениями промышленного предприятия,

это актуально для эксплуатации и нового проектирования и развития промышленного предприятия.

В работах [35, 76, 144] описаны проблемы создания дежурных планов в муниципалитетах. В результате произошедших в период 1990–2010-х гг. изменений в правовой базе, регулирующей градостроительную сферу, вопросы ведения дежурных планов почти полностью исключены из правового и нормативно-технического регулирования. Задачи ведения таких планов оказались не прописаны в составе полномочий органов местного самоуправления, в результате чего правовой статус городских геослужб и накопленных материалов, а также деятельность по ведению дежурного плана, находятся вне единого правового и нормативного поля [35]. Развитие цифровой экономики в РФ требует пересмотра российского законодательства на предмет способности воздействовать на новые виды отношений, доработки с учетом существующих пробелов их юридического состава.

В работе [61] приведен пример использования дежурного плана при строительстве в горной местности. Благодаря дежурному плану время на внесение изменений в проектную документацию значительно сократилось, что позволяет снизить различные виды издержек и не выходить за графики производства работ. Так же при производстве земляных и строительных работ по данным, полученным из текущего дежурного плана, риск порыва сетей сводится к минимуму.

1.4 Методы и технические средства для сбора и обработки результатов геодезических измерений

Для выполнения геодезических измерений при обеспечении промышленных территорий в горнодобывающей отрасли применяются следующее современное геодезическое оборудование и инструменты [18, 166, 167]:

- электронные тахеометры;
- цифровые нивелиры;

- беспилотные летательные аппараты;
- наземные лазерные сканеры.

Электронный тахеометр. В настоящее время в геодезическом производстве существует широкий спектр электронных тахеометров, отличающихся друг от друга по точностным характеристикам и встроенным функциям. Все тахеометры можно разделить на три основные группы.

Технические электронные тахеометры. Это самые простые по выполняемым функциям электронные тахеометры. Угловая точность таких приборов находится в пределах от 2" до 6", линейная около 2-3 мм. Дальность измерения расстояния не превышает 5000 метров по одной призме.

Второй тип электронных тахеометров – инженерные тахеометры. Они имеют встроенное программное обеспечение для производства практически всего спектра геодезических работ. Угловая точность таких приборов может быть от 1" до 5" в зависимости от класса точности.

К третьему типу можно отнести электронные тахеометры, оснащенные сервоприводом, что позволяет выполнять автоматические измерения. Эти приборы могут самостоятельно наводиться на специальный активный отражатель и выполнять измерения. В дополнение к этому прибор с сервоприводом может оснащаться специальной системой радиоуправления, при этом съемку может производить один человек, находящийся непосредственно на измеряемой точке. Роботизированные системы могут быть использованы для наблюдения за деформациями объектов, съемки движущихся объектов, выполнять сканирование небольших промышленных объектов [165]. Основным преимуществом сканирующих тахеометров является то, что выполнять измерения можно круглосуточно, так как ограниченная видимость даже в ночное время не влияет на процесс сбора данных и процедуру сканирования [158].

Измерение деформаций сооружений роботизированным тахеометром может быть выполнено гораздо более экономично. Контролируемые точки могут быть оснащены недорогой закрепленной призмой, поэтому многие точки можно наблюдать с одного места в автоматическом режиме с заданным интервалом [10].

Для создания маркшейдерских опорных сетей при строительстве новых зданий и сооружений используются методы триангуляции, трилатерации, полигонометрии 4 классов, 1-го и 2-го разрядов, нивелирования III и IV класса в соответствии с установленными требованиями [120].

Характеристика сетей полигонометрии 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов, прокладываемых с использованием электронных тахеометров, приведена в таблице 1.1 [120].

Таблица 1.1 – Характеристики сетей полигонометрии 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов, прокладываемых с использованием электронных тахеометров

Показатели	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
Предельная длина отдельных полигонометрических ходов* в зависимости от числа n сторон в ходе, км	8 при $n=30$ 10 при $n=20$ 12 при $n=15$ 15 при $n=10$ 20 при $n=6$	10 при $n=50$ 12 при $n=40$ 15 при $n=25$ 20 при $n=15$ 25 при $n=10$	6 при $n=30$ 8 при $n=20$ 10 при $n=10$ 12 при $n=8$ 14 при $n=6$
Наименьшая длина сторон хода, км	0,25	0,12	0,08
Средняя квадратическая ошибка измерения длины стороны	До 500 м – 2 см От 500 до 1000 м – 3 см Свыше 1000 м – 1:40000	До 1000 м – 3 см Свыше 10000 м – 1:30000	До 1000 м – 5 см
* Предельная длина ходов: между исходным и узловым пунктами – $2/3$ длины отдельного хода, определенного в зависимости от числа сторон n ; между узловыми пунктами – $1/2$ длины отдельного хода, определенного в зависимости от числа сторон n (при уменьшении числа сторон n хода на $2/3$ и соответственно).			

Цифровые нивелиры. Это современные многофункциональные геодезические инструменты, совмещающие функции высокоточного оптического нивелира, электронного запоминающего устройства и встроенного программного

обеспечения для обработки полученных измерений [155]. Применение цифровых нивелиров позволяет исключить ошибки исполнителя и ускорить процесс измерения. Для этого достаточно навести прибор на рейку, сфокусировать изображение и нажать на кнопку измерений. Прибор выполнит измерения, отобразит на экране и запишет в память полученные отчеты и расстояния до штрихкодowych реек.

Методы выполнения геодезических измерений при наблюдениях за деформациями строительства и эксплуатации промышленных предприятий неоднократно рассматривались в научных публикациях авторов [7, 16, 22, 36, 37, 50, 58, 70, 87, 127-129, 138, 146-150, 172, 181]. В тоже время имеется необходимость усовершенствования геодезических методов мониторинга исследуемых объектов.

Принцип работы цифрового нивелира заключается в следующем - световые волны от штрихкодowego рисунка в узком пучке воздействуют на декодирующие датчики нивелира, когда ось пучка компенсатором прибора уже введена в плоскость горизонта. Код рейки состоит из 2 сантиметровых интервалов, полностью или наполовину закрашенных желтым и черными цветами. Для высотных измерений и определения расстояний используются только границы этих интервалов.

Точный штрих-код, состоящий из полосок шириной 1 м, используется при измерениях расстояний длиной менее 6 м для целей раскодирования. Декодирующее устройство расшифровывает превышение нивелира относительно рейки по соотношению поступивших в объектив световых воздействий от темных и светлых реечных полос. Процессор нивелира осуществляет счет измеренных превышений и их сумм с точностью порядка 0,01 мм, а также расстояния до реек и их неравенств на станции и по всему ходу. Электроникой прибора фиксируются с точностью порядка 10^{-3} расстояние до реек, процессор вводит поправки в высотные показания, устраняя кривизну уровенной поверхности, рефракцию, а главное – ошибки отклонения визирного луча от горизонта. При этом не нужен поиск равных плеч до реек [39]. С помощью встроенного в цифровой нивелир

программного обеспечения можно проложить ход нивелирования заданного класса и по окончании получить оценку точности на экране устройства в конце измерений.

На сегодняшний день не представляется возможным полностью заменить геодезические оптико-механические приборы электронными. Это связано как с ограниченностью использования электронных приборов при значительном влиянии внешней среды, так и с отсутствием в нормативных документах методик и рекомендаций по применению тахеометров и цифровых нивелиров [86].

Основным методом контроля осадок объектов промышленных предприятий является метод геометрического нивелирования короткими лучами. Этот метод позволяет охватить очень широкий диапазон точностей измерений превышений (от 0,05 до 5 мм на одну станцию), позволяет вести измерения в широком диапазоне внешних и внутренних воздействий природной и производственной среды, имеет более высокую производительность по сравнению с другими методами и более низкую стоимость работ [34].

Основные технические характеристики разрядного нивелирования приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Технические характеристики разрядного геометрического нивелирования для измерения деформаций оснований зданий и сооружений [27]

№ п\п	Наименования характеристик	Классы нивелирования			
		I	II	III	IV
1	Предельная длина визирного луча, м	25	40	50	100
2	Неравенство длин визирных лучей на станции, м (не более)	0,2	0,4	1,0	3,0
3	Накопление неравенств длин в ходе, м (не более)	1,0	2,0	5	10
4	Число горизонтов	1,0	0,8	0,5	0,3
5	Число линий	2	1	1	1

6	Число ходов	2	1	1	1
7	Допустимая невязка (мм на 1 км хода)	0,15	0,5	1,5	5
<i>Примечания:</i> 1) нивелирование I и II классов выполняют нивелиром типа Н-05 и равноточными ему, III и IV классов – нивелирами типа Н-3 и равноточными ему; 2) нивелирование I и II классов выполняют штриховыми рейками, III и IV классов – шашечными рейками.					

Для контроля осадок и деформаций промышленных предприятий схемы нивелирования проектируют в виде нескольких ступеней [33]. По точности и схеме построения каждую ступень следует ориентировать на требуемую точность контроля того параметра объекта или группы объектов, для которого расчетная средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения превышения на одну станцию нивелирования будет наименьшей. В этом случае все другие контролируемые параметры объекта будут определены путем вычислений [34].

Беспилотные летательные аппараты. В последнее время популярность приобретает использование беспилотных летательных аппаратов – квадрокоптеров (рисунок 1.3) для выполнения мониторинга за промышленными предприятиями [29]. Превосходством БЛА перед пилотируемыми воздушными судами является, прежде всего, низкая стоимость производства работ, а также значительное уменьшение количества регламентных операций. Само отсутствие человека на борту самолета значительно упрощает подготовительные мероприятия для проведения аэрофотосъемочных работ.

Во-первых, не нужен аэродром, даже самый примитивный. Беспилотные летательные аппараты запускаются или с руки, или с помощью специального взлетного устройства — катапульты. Для взлета квадрокоптера достаточно ровной площадки площадью около 1-2 м².

Во-вторых, в квадрокоптерах используются экологически чистые электрические двигатели, отсутствует необходимость в квалифицированной технической помощи для обслуживания летательного аппарата, не так сложны мероприятия по обеспечению безопасности на объекте работ.



Рисунок 1.3 - Беспилотный летательный аппарат - квадрокоптер

В-третьих, отсутствует или намного увеличен межрегламентный период эксплуатации БЛА по сравнению с пилотируемым воздушным судном.

Данное обстоятельство имеет большое значение при эксплуатации аэрофотосъемочного комплекса в удаленных районах нашей страны. Как правило, полевой сезон аэрофотосъемочных работ короток, каждый погожий день необходимо использовать для производства съемки [161].

Беспилотные летательные аппараты применяются в геодезических изысканиях при строительстве, для составления кадастровых планов промышленных объектов, транспортной инфраструктуры, поселков, дачных массивов, в маркшейдерском деле для определения объемов горных выработок и отвалов, при учете движения сыпучих грузов в карьерах, портах, горно-обогатительных комбинатах, для создания карт, планов и 3D-моделей городов и промышленных предприятий.

Для мониторинга строительства и эксплуатации промышленных предприятий целесообразно использовать сверхлегкие БЛА массой до 5 кг, они обладают высокой мобильностью и относительно низкой ценой [51]. Областью

рационального применения БЛА является съемка объектов площадью до 10 кв. км. Это очень актуально для средних и крупных промышленных предприятий, которые активно развиваются.

В работе [161] представлен опыт применения беспилотных летательных аппаратов для получения материалов дистанционного зондирования земли с целью создания цифровых топографических планов масштаба 1:2 000 населенных пунктов в Калининградской области. Отмечено что БЛА можно оперативно применять в моменты улучшения погоды, когда минимальная высота в 50-150 метров позволяет выполнять съёмку под облаками, т. е. практически всегда, когда нет осадков.

Наземное лазерное сканирование (НЛС) — это новейшая система измерения для получения облаков точек различных объектов (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 - Наземный лазерный сканер фирмы Leica

С помощью лазерной сканирующей системы можно не только осуществлять мониторинг сложных зданий и сооружений, но и фиксировать состояния мест

аварий и катастроф с получением реальной картины произошедшего, а также возможность ее привязки к опорной системе координат [46, 47, 77, 125].

Результатом сканирования является массив точек с известными трехмерными координатами, принадлежащими объекту. Каждая точка имеет свой реальный цвет, коэффициент отражения и время съёмки. В основу работы НЛС положен принцип измерения расстояний при помощи лазерного излучения. Технология НЛС позволяет получать в режиме реального времени трехмерные модели объектов бесконтактным методом, производить оперативный мониторинг их состояния [78, 174, 183].

В большинстве случаев решение поставленных задач заказчик видит в виде электронной пространственной модели объекта в виде облака точек. Работы по вычислению объёмов земли, щебня, песка, угля и руды проводятся на различных строительных и промышленных площадках. Зачастую такие объекты труднодоступны или имеют сложную форму, что далеко не всегда учитывается и приводит к погрешностям определения объёмов [164, 177, 179].

При помощи наземных лазерных сканеров можно выполнять съёмки средних и крупных промышленных предприятий, эта технология позволяет оперативно решать несколько задач:

- создание плоских чертежей со всеми размерами;
- проложение дополнительных коммуникаций или установка нового оборудования взамен старого;
- определение основных параметров несущих строительных конструкций (крен, осадка) при эксплуатации;
- создание полного трехмерного визуального объекта.

В статье [59] представлен опыт применения НЛС при реализации сопровождения строительства технологической установки на одном из нефтеперерабатывающих заводов. Предложенная технология может быть использована как инструмент геодезического контроля для выявления отклонений смонтированных конструкций от проектных значений при строительстве технологически сложных промышленных объектов. Наземное лазерное

сканирование наилучшим образом подходит для решения задач информационного моделирования при строительстве объекта, в частности, для его геодезического контроля [4].

1.5 Основные недостатки геодезического сопровождения строительства зданий и сооружений на горнодобывающих промышленных предприятиях и выводы

Основные недостатки геодезического сопровождения строительства на горнодобывающих промышленных предприятиях заключаются в следующем:

- отставание в области внедрения современных геодезических инструментов при сопровождении строительства и эксплуатации, зачастую сегодня при строительстве используются только оптические приборы и технические электронные тахеометры;

- проблема генерального плана построенных сооружений при сдаче строительных объектов, обычно такой план никто не ведет, и с учетом множества изменений при строительстве даже сами производители работ не знают, что и где построено. Это особенно актуально для инженерных подземных и надземных сетей;

- отсутствие методик геодезического контроля при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений с применением новых геодезических инструментов и автоматизированных технологий для обработки пространственных данных.

Как было рассмотрено ранее в предыдущих подразделах, на практике используются современные геодезические инструменты, но в существующей нормативной базе отсутствуют методики геодезического сопровождения строительства и эксплуатации промышленных предприятий с помощью современных технологий сбора и обработки данных.

Исходя из вышеперечисленного, установлены следующие нерешенные научно-технические задачи:

- автоматизация сбора и обработки пространственных данных при выполнении геодезических полевых и камеральных работ в процессе строительства и эксплуатации промышленных объектов в горнодобывающей отрасли;

- определение необходимой точности построения геодезической основы в процессе промышленного строительства и эксплуатации для рационального выбора геодезических инструментов и методов измерений;

- разработка методики создания и обновления генеральных планов завершённого строительства промышленных объектов, с учетом создания и актуализации цифровых дежурных планов с использованием современных технологий – наземных лазерных сканеров, беспилотных летальных аппаратов и программного обеспечения;

- повышение эффективности нивелирных работ при наблюдении за осадками фундаментов при строительстве и эксплуатации промышленных предприятий горнодобывающей отрасли с применением цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности.

В диссертационной работе требуется определить более рациональные способы производства геодезических измерений при сопровождении строительства и эксплуатации горнодобывающих промышленных предприятий с применением современных технологий для сбора и обработки пространственных данных.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

2.1 Развитие планово-высотной основы для создания цифровых дежурных планов

Для создания и ведения цифровых дежурных планов необходимо создать и надежно закрепить на местности пункты планово-высотной основы. Методами закрепления планово-высотной основы могут быть: классическое закрепление в земле, закрепление на существующих конструкциях в виде светоотражающей плёнки [163, 170], закрепление в виде опорного знака для беспилотных летательных аппаратов и в виде марки для наземных лазерных сканеров.

Одним из факторов, оказывающих влияние на качество промышленного строительства, является надежность геодезической основы. В связи с этим возникает необходимость уточнения методов проектирования, уравнивания и оценки точности геодезического разбивочного обоснования для строительства инженерных сооружений. Некорректный расчет точности измерений на стадии проектирования геодезических сетей может не обеспечить заданную точность определяемых элементов и привести к браку при создании геодезического обоснования на промплощадке.

Рекомендуется производить качественное маркирование опознаков для БЛА. При необходимости опознаки наносятся краской на ровную площадку, это может быть асфальт либо другие конструкции (рисунок 2.1). Форма опознака должна обеспечивать безошибочное определение его центра, поэтому рекомендуется использовать опознаки типа "мишень", полукрест или крест. Для НЛС применяются марки, которые закрепляются на строительных конструкциях (рисунок 2.1). Марка – специализированная цель для автоматического распознавания в облаках точек при обработке в поставочном ПО для наземного лазерного сканера. Она обычно печатается на обычной бумаге формата А4 или А3 в зависимости от расстояния НЛС до марки.

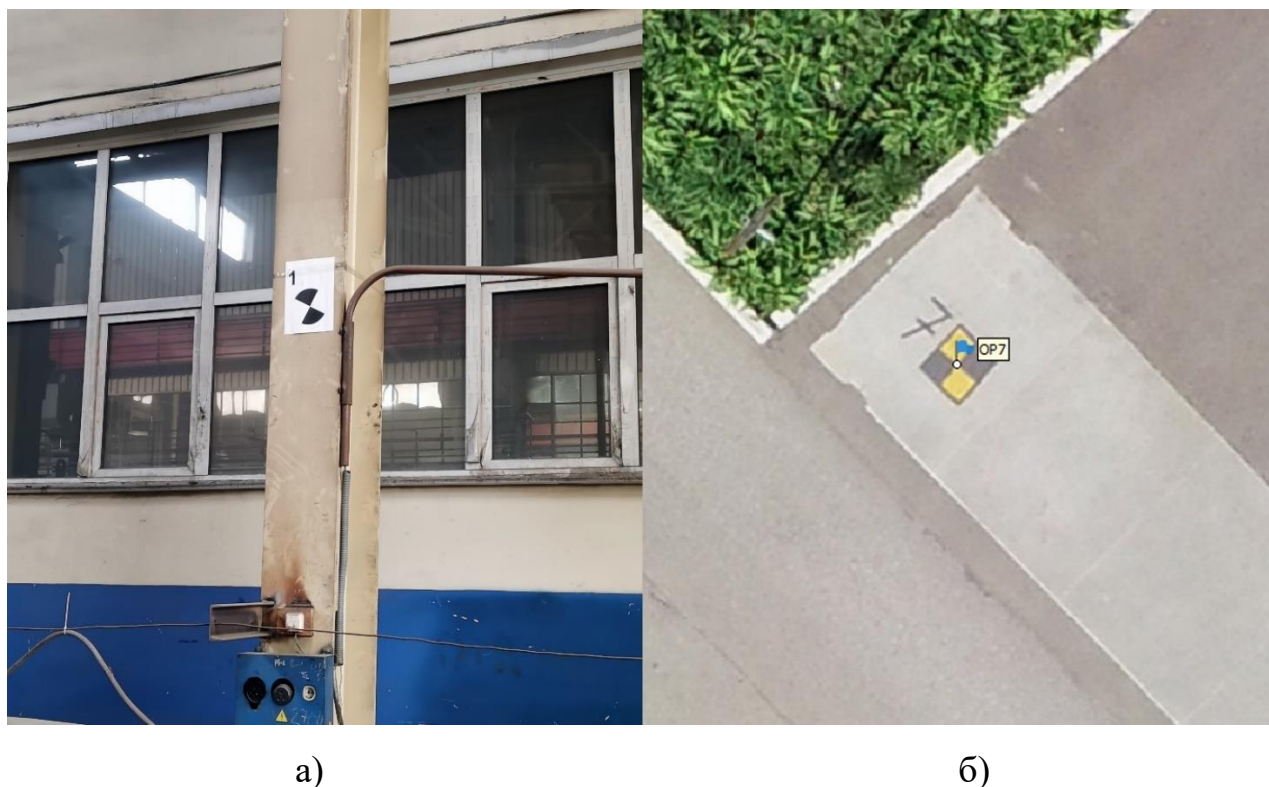


Рисунок 2.1 - Закрепление на местности: а) – марка для НЛС б) - опорный знак для БЛА

Создавать «опознаки» целесообразно перед полетом БЛА с наименьшим разрывом по времени, чтобы опознаки сохранились во время съёмки. Основные рекомендации для определения количества и размещения опознаков на объекте:

- на участках площадью 1 кв. км и менее опознаки располагаются по схеме «конверт», предусматривающей установку не менее 5-ти знаков; при этом 4 опознака устанавливаются в угловых зонах. Рекомендуемое количество опознаков – 10 с равномерным распределением внутри площади съёмки (рисунок 2.2);

- при съёмке линейного объекта: 2 опознака в начале и конце участка съёмки и не реже, чем через каждые 500 м вдоль оси трассы;

- при проектировании нескольких полетных заданий с планируемыми зонами перекрытия, необходимо установить не менее 2-х опознаков в зоне перекрытия. При ширине перекрытия полетных заданий более 1 км рекомендуется устанавливать опознаки не реже, чем через 250 м;



Рисунок 2.2 - Схема расположения опознаков на площадном объекте до 1 кв. км

- на участках с разницей высот более 20 м рекомендуется устанавливать дополнительные опознаки в характерных точках рельефа (рисунок 2.3);

- количество опознаков может увеличиваться в зависимости от сложности территории и рельефа [108].

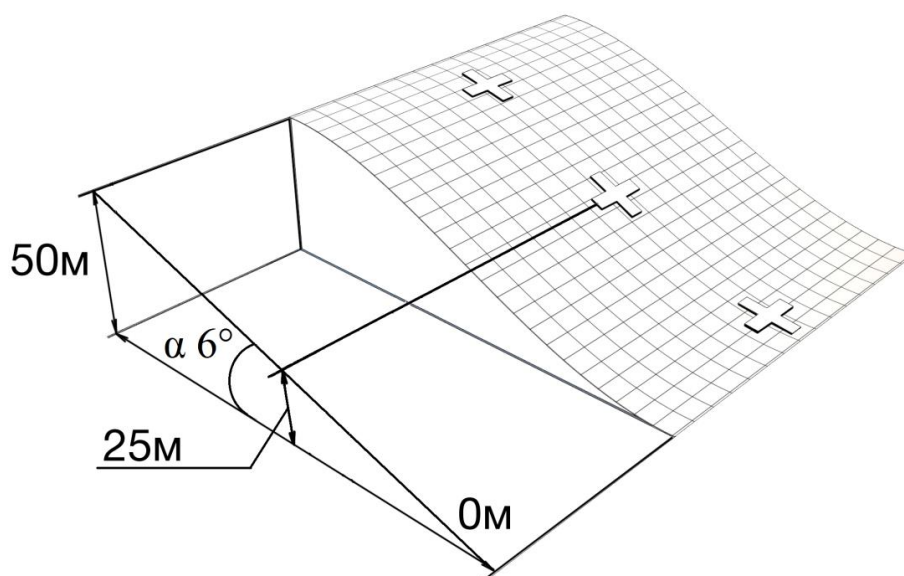


Рисунок 2.3 - Схема расположения опознаков в местах резкого перепада высот

Необходимо следить за сохранностью пунктов планово-высотной основы и регулярно обследовать состояние сети [43, 73, 109, 116].

В зимний период при наличии больших масс снежного покрова для обеспечения строительно-монтажных работ предлагается сгущать планово-высотную основу с помощью светоотражающих пленок и центрировочных столиков, которые устанавливаются на строительных конструкциях. В качестве мест установки центрировочных столиков удобно применять металлические колонные каркасы или эстакады технологических трубопроводов, которые установлены на свайные фундаменты [124].

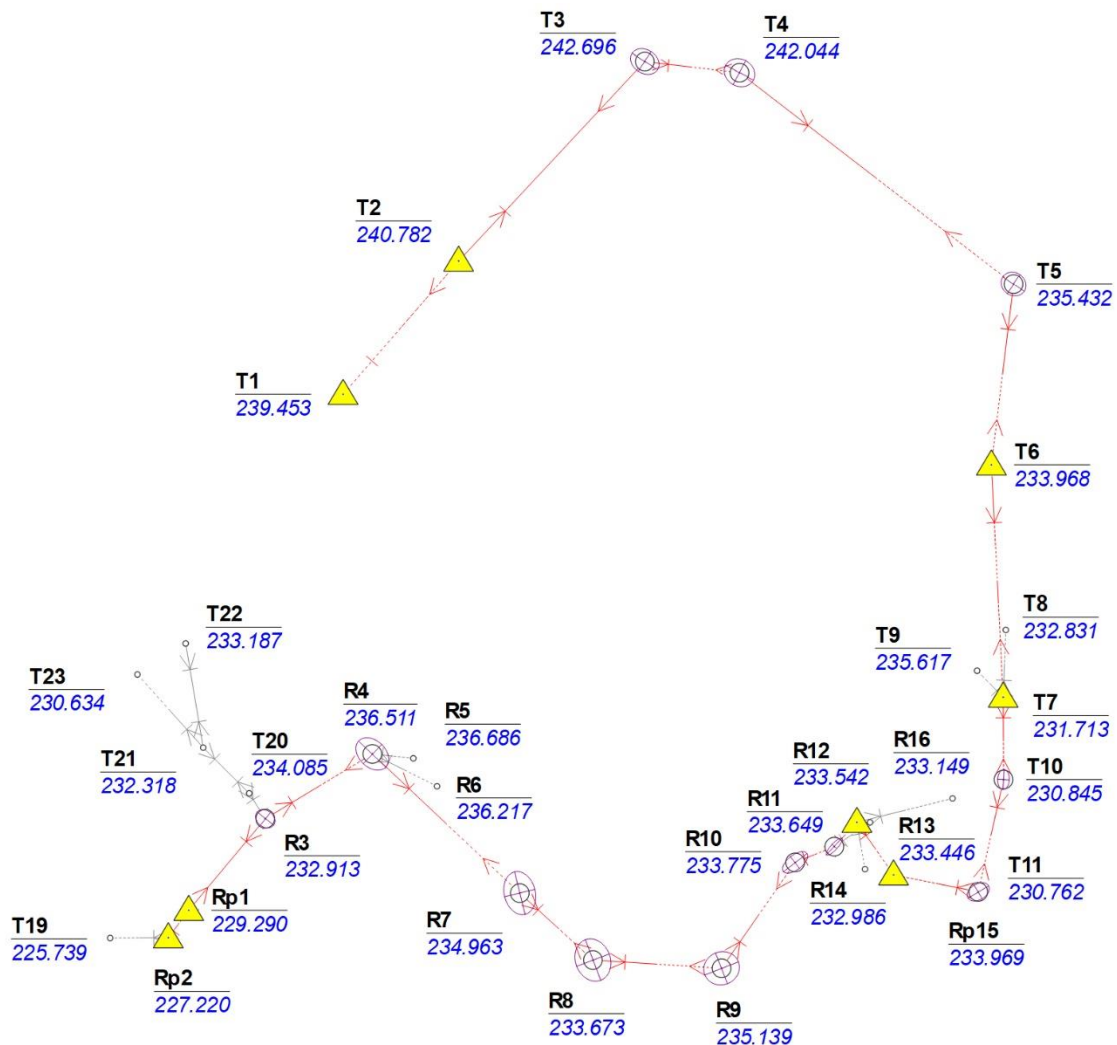


Рисунок 2.4 - Схема пунктов планово-высотного обоснования для промышленной территории

Для математической обработки и интерпретации получаемых результатов общей планово-высотной основы автор предлагает использовать программу КРЕДО ДАТ. Эта программа позволяет хранить все исходные пункты и измерения, которые проводились на местности. В качестве примера рассмотрим планово-высотную сеть полигонометрии 2 разряда, которая создавалась для ведения цифрового дежурного плана для промышленной территории ООО «ОК «Сибшхтострой» (рисунок 2.4).

В процессе работы собраны все наземные измерения, которые выполнялись с целью обновления цифрового дежурного плана и были связаны в единую сеть для совместного уравнивания. В качестве исходных данных служат пункты, координаты которых определены с помощью глобальных спутниковых систем навигации [169].

В поле «Вложения» таблицы «Пункты ПВО» к каждому пункту прикреплены фотография центра и абрисы пункта. В поле «Комментарии» для каждого пункта написан статус сохранности и время последнего обследования (рисунок 2.5).

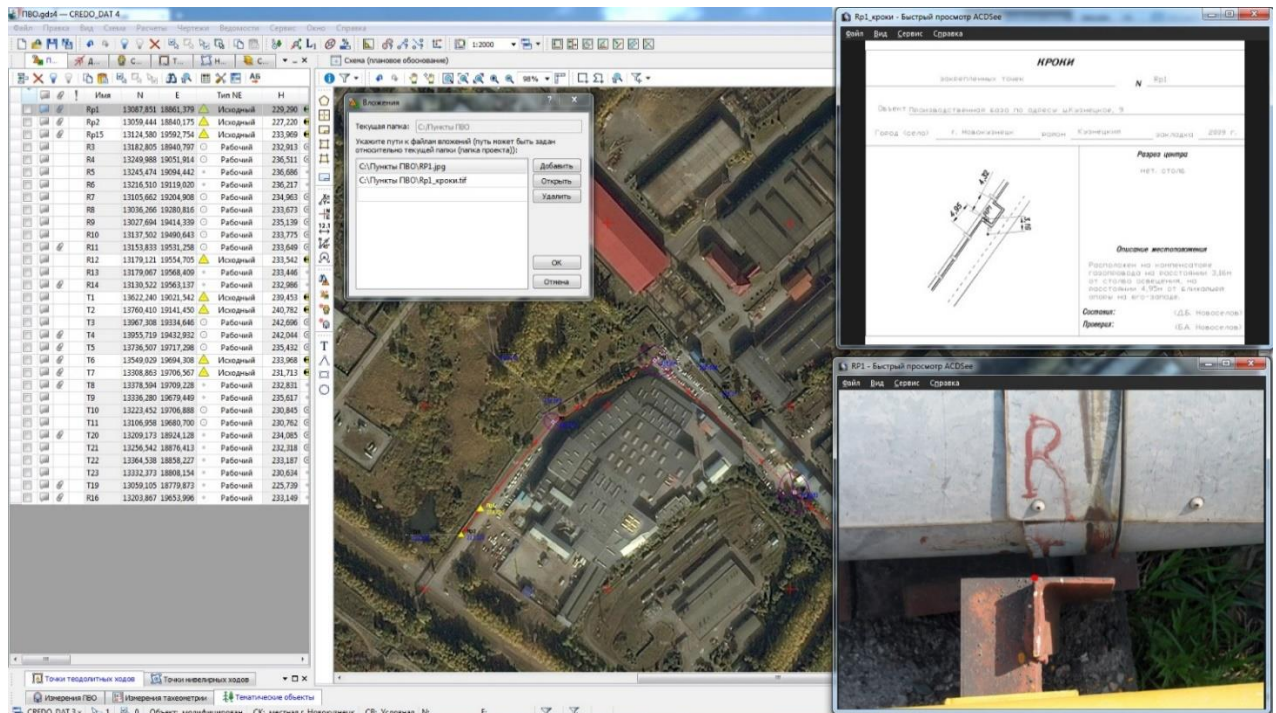


Рисунок 2.5 - Каталог пунктов планово-высотного обоснования, фотографии центров и абрисов

Файл измерений, растровый файл и все прикрепленные фотографии хранятся в виде архива GDSX. Этот архив содержит всю необходимую информацию для воссоздания рабочей среды, в которой выполнялась работа над проектом на момент создания архива. Архив предоставляется геодезистам строительных организаций, которые выполняют разбивочные работы для строительства и оформление исполнительной документации [100, 101].

Для привязки облаков точек в местную систему координат и высот, полученных с наземных лазерных сканеров внутри действующих промышленных предприятиях, необходимо использовать специализированные марки. Определение координат и высот марок выполняется с использованием классического геодезического инструмента – электронный тахеометр. В действующих цехах прокладывается ход полигонометрии 1 или 2 разряда, в качестве исходных пунктов служат опорные знаки для БЛА, которые находятся на улице. На рисунке 2.6 представлен проект линейно-угловой сети, проложенной внутри действующего промышленного предприятия для определения координат и высот марок для НЛС. Точность положения пунктов в слабом месте не превышает 2 мм. Внутри промышленных цехов нет возможности выдержать рекомендованные расстояния для ходов полигонометрии (таблица 1.1) из-за очень стесненных условий и небольших размеров промышленных объектов. Каждая марка координируется минимум с двух станций. При сканировании промышленных предприятия сканер перемещается по станциям таким образом чтобы было перекрытие между соседними сканами было больше 50%. Привязка сканов осуществляется по общим точкам сканирования. Затем все связи фиксируются и совместное облако точек привязывается в необходимую систему координат по маркам. Марки необходимо размещать таким образом чтобы они были на первых станциях сканирования, последних и средних. Сегодня нет необходимости привязывать все станции сканирования по маркам. Также можно использовать комбинированный способ привязки станции по общим точкам и по маркам.

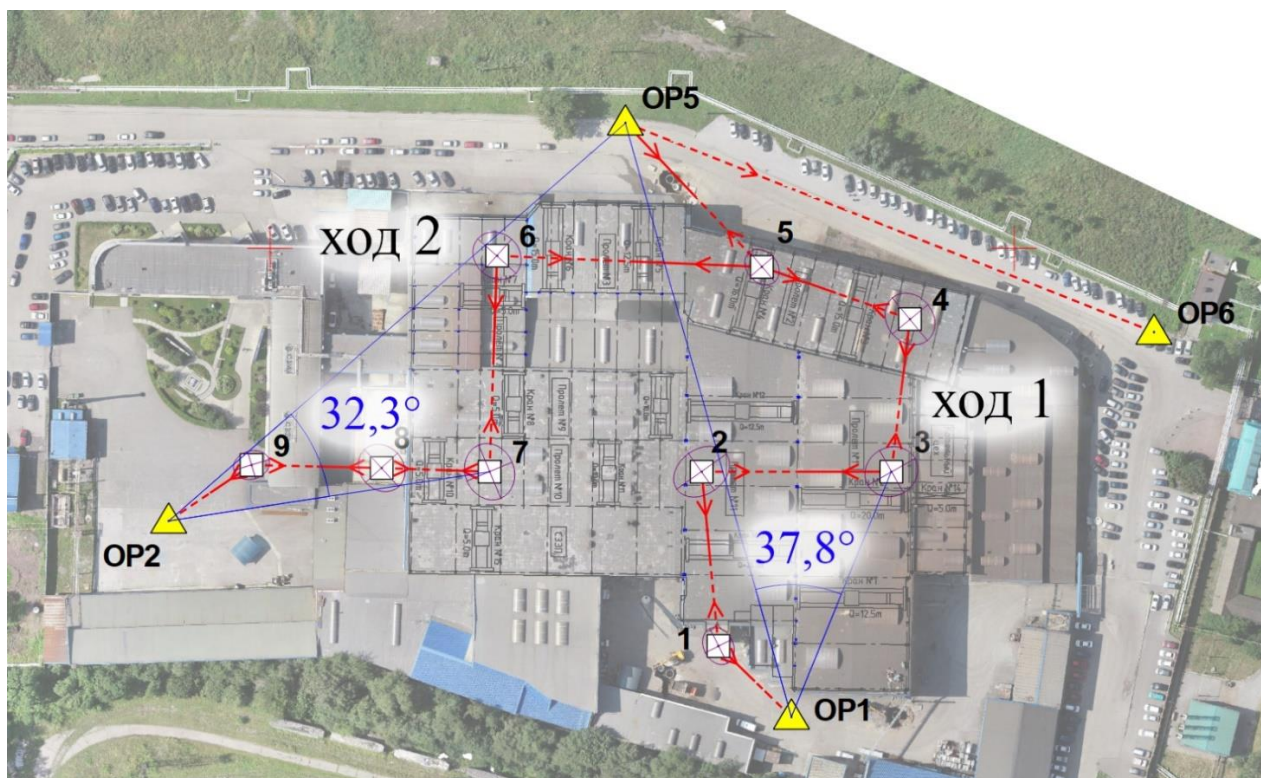


Рисунок 2.6 – Проект линейно-угловой сети внутри действующих промышленных цехов

Круг ошибок в положении пунктов 3 и 7 полигонометрических ходов 1 и 2 и требуемую точность 2,5 мм можно обеспечить при точности измерений углов $m_\beta = 5,0''$ и длин сторон $m_s = 1,5$ мм (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Результаты оценки точности изогнутых ходов 1 и 2

Ход	Пункт	M	R	A	B	m_β	m_s	S
1	3	2,5 мм	1,7 мм	1,7 мм	1,7 мм	5,0''	1,5 мм	262,2 м
2	7	2,5 мм	1,8 мм	1,8 мм	1,8 мм	5,0''	1,5 мм	273,5 м

Точность определения координат и высот опознаков и марок принимается в соответствии с [135] и [23]. Плано-высотное обоснование для создания цифровых дежурных планов необходимо совмещать с опознаками для выполнения измерений различными геодезическими инструментами как классическими, так и с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземных лазерных сканеров [9, 63, 141, 142, 160]. Необходимо, чтобы все

геодезические работы, связанные с обновлением дежурного плана, выполнялись в единой местной системе координат и с единой точностью измерений.

2.2 Управление точностью полигонометрических построений

Одна из главных задач проектирования геодезических сетей заключается в обеспечении необходимой и достаточной точности определяемых элементов при наименьших затратах средств, труда и времени на выполнение полевых и камеральных работ. Эта задача тесно связана с проблемой «управления» точностью геодезических сетей на любом из этапов их построения.

В настоящее время широкое использование ПК в геодезической практике позволяет успешно решать задачу по управлению точностью полигонометрических ходов и сетей с применением специализированного программного обеспечения.

С помощью программы КРЕДО можно управлять точностью, добиваться оптимального соотношения между ошибками угловых и линейных измерений и обеспечить необходимую точность определяемых элементов геодезических построений на этапе их проектирования [113].

Недостатком данного метода проектирования и априорной оценки точности является многократный подбор соотношения весов угловых и линейных измерений в процентах путем последовательного приближения без явного определения конкретных значений ошибок (m_β и m_s) измеряемых величин.

Управление точностью полигонометрических ходов может осуществляться за счет изменения их формы и конструкции, программы наблюдений, соотношения между точностью угловых и линейных измерений и количество избыточных измерений [1, 25, 66-69, 143]. Большое значение в решении этой задачи имеет критерий точности в виде эллипса средних квадратических ошибок, выражающий возможные смещения пункта по всем направлениям на плоскости.

В общем случае параметры эллипсов ошибок зависят от целого ряда факторов, и задача управления точностью ходов не решается на основе линейного

программирования. Тогда оптимальное решение по управлению точностью геодезических сетей может быть выполнено с помощью ПК путем многовариантного проектирования и последовательного анализа для выбора необходимых параметров эллипсов ошибок.

Например, в вытянутых ходах форма, размеры и ориентировка эллипсов ошибок содержат информацию о соотношении между точностью угловых и линейных измерений. Это позволяет установить количественные связи между разными факторами и рациональнее управлять точностью положения пунктов путем варьирования точностью измерений, изменения формы и конструкции ходов.

В процессе управления точностью полигонометрических ходов на основе такого критерия целесообразно воздействовать на большую полуось эллипса ошибок, поскольку это соответствует минимизации ошибки положения пункта. В ряде публикаций отечественных и зарубежных авторов отмечалось, что стремление к кругу ошибок соответствует получению наименьшей средней квадратической ошибки положения пункта. Так, например, при исследовании вопроса об оптимальной засечке [71], [162] установлено, что средняя квадратическая ошибка положения пункта достигает минимума, как только форма эллипса ошибок приближается к окружности.

При создании съемочного обоснования наибольшее предпочтение имеет критерий в виде круга ошибок, поскольку точность цифрового дежурного плана должна быть одинаковой по всем направлениям.

С этой целью воспользуемся свойством изогнутых ходов, ветви которых симметричны относительно среднего пункта. В средних пунктах таких ходов полуоси эллипсов ошибок по величине и направлению совпадают с продольными и поперечными ошибками независимо от соотношения угловых и линейных измерений (рисунок 2.7).

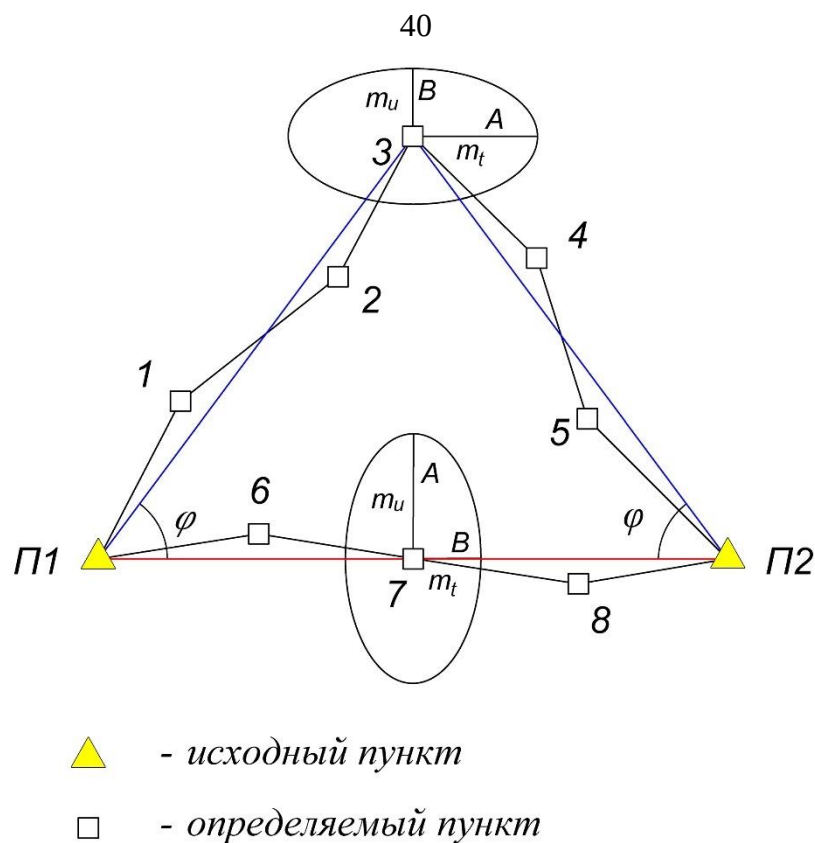


Рисунок 2.7 – Изогнутый и прямолинейный полигонометрические ходы.

Поставим условие для получения круга ошибок в середине таких ходов.

$$\frac{A}{B} = \frac{m_u}{m_t} = 1, \quad (2.1)$$

где A и B - большая и малая полуоси эллипса ошибок;

m_t и m_u - продольная и поперечная ошибки.

Для изогнутого полигонометрического хода имеем [49]

$$m_t^2 = \frac{a c}{a \sin^2 \varphi + c \cos^2 \varphi}; \quad (2.2)$$

$$m_u^2 = \frac{a b}{a \cos^2 \varphi + b \sin^2 \varphi}; \quad (2.3)$$

$$a = \frac{\sum_1^n m_s^2}{4}; \quad (2.4)$$

$$b = \frac{(\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+2)(n^2+2n+4)}{\rho^2 192 n(n+1)}; \quad (2.5)$$

$$c = \frac{41 (\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+1)(n+2)}{\rho^2 48 n}, \quad (2.6)$$

где m_s - средняя квадратическая ошибка измерения длин сторон;

m_β - средняя квадратическая ошибка измерения горизонтальных углов;

$\sum_1^n S$ – сумма длин сторон (длина хода);

φ – угол между направлением на средний пункт и замыкающей хода, характеризующий его степень изогнутости;

n – количество сторон в ходе.

При использовании современных электронных тахеометров можно считать, что $m_s = \text{const}$, тогда

$$a = \frac{n m_s^2}{4}. \quad (2.7)$$

После подстановки m_t и m_u в формулу (2.1) получим

$$\frac{b}{c} t g^2 \varphi + \frac{b}{a} (1 - t g^2 \varphi) = 1. \quad (2.8)$$

Если обозначить

$$Q^2 = \frac{b}{a}, \quad q = \frac{c}{b},$$

тогда

$$Q^2 = \frac{1 - \frac{1}{q} t g^2 \varphi}{1 - t g^2 \varphi}. \quad (2.9)$$

Формула (2.9) имеет место при различных значения угла φ . Данный коэффициент Q определяет целый ряд характеристик хода, таких как периметр, количество сторон, точность измерения углов и длин сторон. Для изогнутого

хода, ветви которого образуют с замыкающей углы $\varphi = 45^0$, получится $Q = \infty$. Это означает, что ошибка положения среднего пункта стремится к минимуму за счет высокой точности измерения длин сторон, когда ход после уравнивания по методу наименьших квадратов (МНК) по геометрическим параметрам приобретает свойства, присущие «линейной засечке» [65, 84].

При $\varphi = 0^0$ (для прямолинейного хода) $Q = 1$ независимо от способа уравнивания. При раздельном способе уравнивания хода

$$Q^2 = \frac{1 - tg^2 \varphi}{1 - q tg^2 \varphi}. \quad (2.10)$$

Отсюда можно получить также основные показатели хода, обеспечивающие круг ошибок в среднем пункте и при $\varphi = 45^0$. В таком случае $Q = 0$, что соответствует высокой точности угловых измерений и превращению изогнутого хода в «безошибочную угловую засечку».

На основании формулы (2.9) выразим соотношение ошибок измерений углов и длин сторон для обеспечения круга ошибок в середине изогнутого хода:

$$m_S^2 = \frac{(\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+2) (n^2 + 2n+4)(1-tg^2 \varphi)}{\rho^2 48 n^2 (n+1) (1 - \frac{n^2 + 2n+4}{4(n+1)^2} tg^2 \varphi)}; \quad (2.11)$$

$$m_\beta^2 = \frac{\rho^2 m_S^2 48 n^2 (n+1) (1 - \frac{n^2 + 2n+4}{4(n+1)^2} tg^2 \varphi)}{(\sum_1^n S)^2 (n+2)(n^2 + 2n+4)(1-tg^2 \varphi)}. \quad (2.12)$$

Для прямолинейного (при $\varphi = 0^0$) или вытянутого хода имеем соотношение $Q^2 = 1$. Отсюда можно выразить ошибки измерения углов поворота и длин сторон, учитывая вышеприведенные формулы (2.8-2.12).

$$m_\beta^2 = \frac{\rho^2 m_S^2 48 n^2 (n+1)}{(\sum_1^n S)^2 (n+2)(n^2 + 2n+4)}, \quad (2.13)$$

$$m_s^2 = \frac{43 (\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+2) (n^2 + 2n + 4)}{\rho^2 48 n^2 (n+1)}. \quad (2.14)$$

Таким образом, при заданном значении ошибки m_s для измерения длин сторон хода можно определить ошибку m_β для измерения углов и наоборот.

Рассчитаем средние квадратические ошибки m_s измерения длин сторон по формулам (2.11) и (2.12), которые приводят к кругу ошибок в середине полигонометрических ходов 4 класса при $m_\beta = 3''$ и разных значениях углов излома φ (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Априорные оценки для полигонометрии 4 класса при: $\sum_1^n S = 10$ км, $n = 15$, $m_\beta = 3''$

φ °	0	10	20	30	40	44,9
m_s мм	23,2	22,9	22,0	19,8	13,9	2,2
R мм	44,9	44,9	44,7	43,0	34,1	6,0
M мм	63,6	63,5	63,2	60,8	48,2	8,5

В таблице 2.2 получены значения ошибок m_s измерения длин сторон при разных углах φ и одной и той же ошибке m_β измерения углов, что приводит к кругу ошибок с радиусом $R = A = B$ в средних пунктах изогнутых полигонометрических ходов и вытянутого хода (при $\varphi = 0^\circ$). При этом общие ошибки M положения средних пунктов в каждом случае определяются по формуле:

$$M^2 = A^2 + B^2 = 2R^2. \quad (2.15)$$

Общие ошибки M положения средних пунктов уменьшаются с уменьшением количества сторон при одной и той же длине полигонометрических ходов независимо от углов φ . То есть полигонометрические ходы с более длинными сторонами при прочих равных условиях имеют выигрыш в точности определения

координат среднего пункта. Например, в полигонометрическом ходе 4 класса при $n = 4$, а также $m_\beta = 3''$, $m_s = 2,2$ мм и $\sum_1^n S = 10$ км, $\varphi = 45^\circ$ общая ошибка положения среднего пункта составит $M = 3,1$ мм, то есть почти в три раза точнее, чем при $n = 15$ (таблица 2.2).

Рассчитаем средние квадратические ошибки m_β измерения углов поворота по формулам (2.11) и (2.12), которые приводят к кругу ошибок в середине полигонометрических ходов 4 класса при $m_s = 5$ мм и разных значениях углов φ излома (таблица 2.3).

Таблица 2.3 - Априорные оценки для полигонометрии 4 класса при: $\sum_1^n S = 10$ км, $n = 15$, $m_s = 5$ мм.

φ°	0	10	20	30	40	44,9
m_β''	0,6	0,6	0,7	0,8	1,1	6,7
R мм	9,6	9,7	10,1	10,8	12,3	13,6
M мм	13,6	13,8	14,3	15,3	17,4	19,3

В таблице 2.3 приведены значения ошибок (M) положения средних пунктов при разной изогнутости ходов (углах φ) и одной и той же ошибке $m_s = 5$ мм измерения длин сторон, что также приводит к кругу ошибок с радиусом R при соответствующих ошибках m_β измерения углов поворота.

При $\varphi = 0^\circ$ получаем общую ошибку M положения среднего пункта вытянутого (прямолинейного) хода, которую можно подсчитать по формуле

$$M^2 = \frac{n m_s^2}{4} + \frac{(\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+2) (n^2 + 2n+4)}{\rho^2 192 n (n+1)}, \quad (2.16)$$

или круг ошибок радиуса R по формуле

$$R^2 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{n m_s^2}{4} + \frac{(\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+2) (n^2 + 2n+4)}{\rho^2 192 n (n+1)} \right\}. \quad (2.17)$$

Отсюда можно выразить необходимые ошибки измерения углов и длин сторон для обеспечения требуемой точности (M) положения среднего пункта вытянутого по форме полигонометрического хода.

$$m_s^2 = \frac{4}{n} \left(M^2 - \frac{(\sum_1^n S)^2 m_\beta^2 (n+2) (n^2 + 2n+4)}{\rho^2 192 n (n+1)} \right), \quad (2.18)$$

$$m_\beta^2 = \left(M^2 - \frac{n m_s^2}{4} \right) \left(\frac{\rho^2 192 n (n+1)}{(\sum_1^n S)^2 (n+2) (n^2 + 2n+4)} \right). \quad (2.19)$$

На основе формулы (2.16) нетрудно выразить длину полигонометрического хода, необходимую для достижения требуемой точности положения среднего пункта при заданных параметрах измерений.

$$(\sum_1^n S)^2 = \frac{\rho^2 192 n (n+1) \left(M^2 - \frac{n m_s^2}{4} \right)}{(n+2) (n^2 + 2n+4)}. \quad (2.20)$$

Например, для обеспечения общей ошибки $M = 14$ мм положения среднего пункта при следующих параметрах $m_\beta = 0,6''$, $m_s = 5$ мм и $n = 15$ получим общую длину хода, равную $\sum_1^n S = 11,2$ км.

Построим график распределения ошибок для полигонометрического хода 4 класса (таблица 2.2), показывающий зависимость СКО среднего пункта от степени изогнутости (угла φ) и точности измерения (m_s) длин сторон (рисунок 2.8).

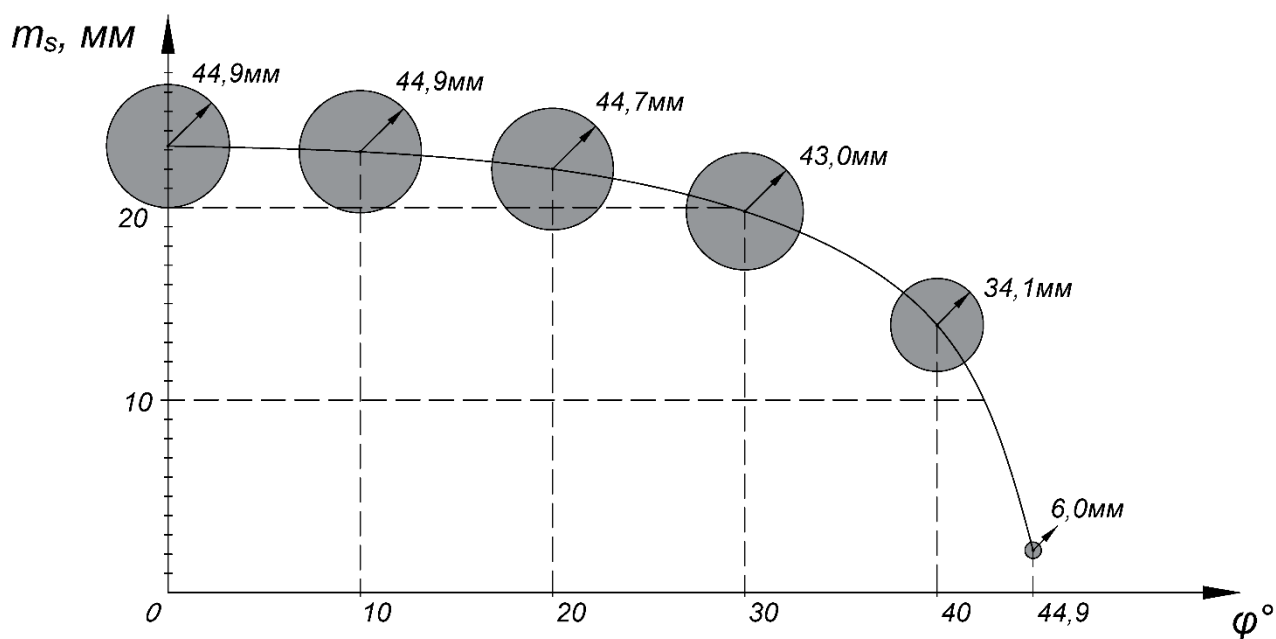


Рисунок 2.8 - Распределение СКО для средних пунктов полигонометрических ходов 4 класса при постоянных значениях:

$\sum_1^n S = 10$ км, $n = 15$, $m_\beta = 3''$ и различной степени изогнутости (углов φ)

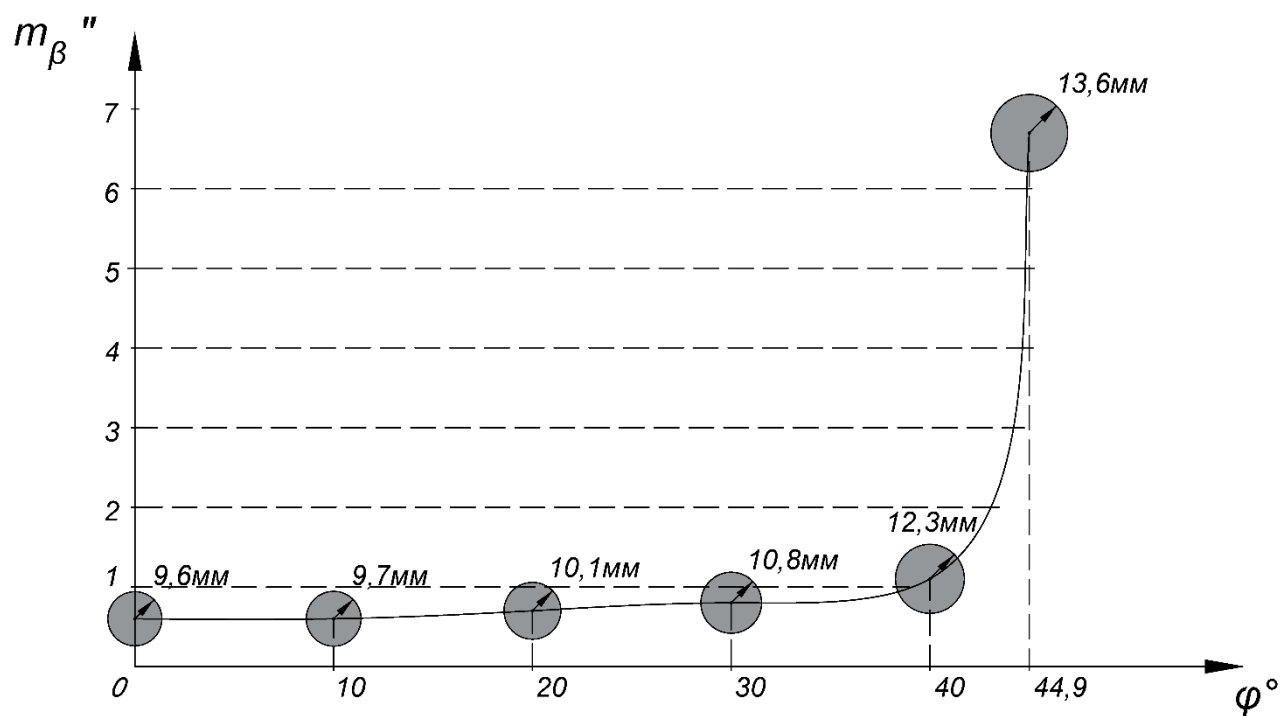


Рисунок 2.9 - График СКО положения средних пунктов полигонометрического хода 4 класса при $m_s = \text{const}$ и разных значениях m_β и φ

Из рисунка 2.8 видно, что СКО положения средних пунктов уменьшаются в зависимости от степени изогнутости полигонометрического хода при прочих равных условиях и достигают минимального значения при $\varphi = 45^\circ$ за счет повышения точности линейных измерений (эффекта «линейной засечки»).

Ниже приведен график (рисунок 2.9) распределения ошибок m_β угловых измерений для получения круга ошибок в средних пунктах полигонометрических ходов 4 класса на основании данных таблицы 2.3.

На рисунке 2.9 приведены параметры (m_β и φ), при которых средние пункты приобретают круг ошибок при одних и тех же характеристиках ходов: $\sum_1^n S = 10$ км, $n = 15$, $m_s = 5$ мм. В этом случае прямолинейный ход получает выигрыш в точности среднего пункта за счет высокой точности ($m_\beta = 0,6''$) угловых измерений.

Общее представление по достижению круга ошибок в середине полигонометрических ходов, в зависимости от показателя их изогнутости (углов φ) и соотношения точности угловых и линейных измерений, показано на рисунке 2.10.

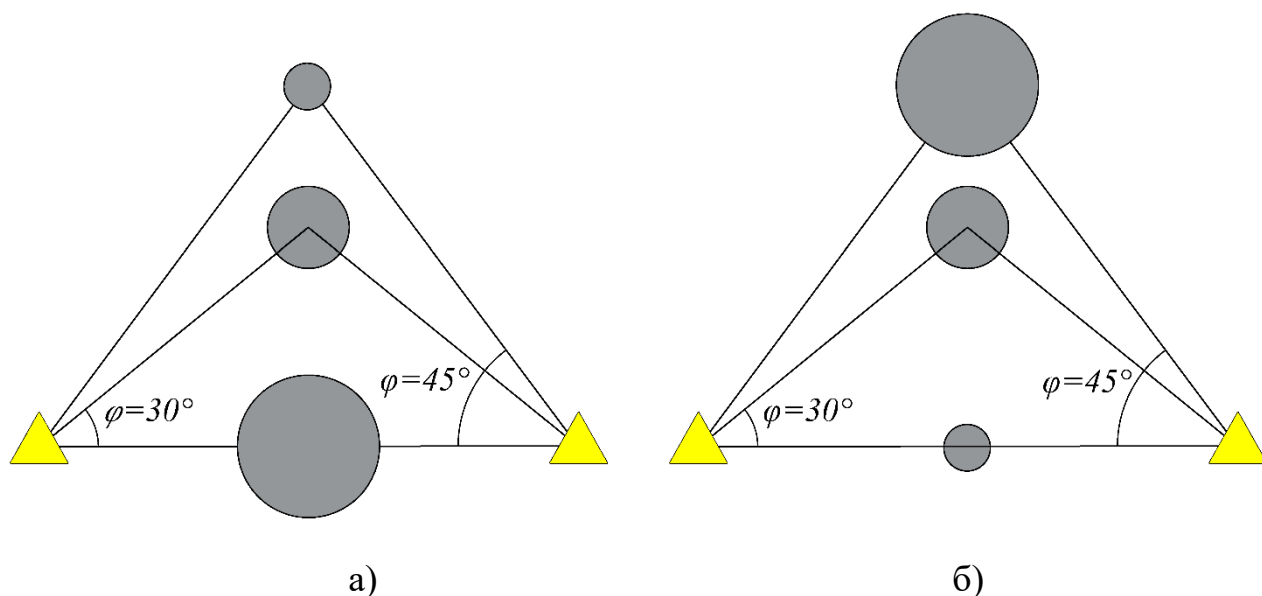


Рисунок 2.10 - Изменение размера круга ошибок в середине прямолинейных и изогнутых полигонометрических ходов при:

а) $m_\beta = const$ и переменной φ ; б) $m_s = const$ и переменной φ

Аналогичные результаты можно получить для полигонометрических ходов 1 и 2 разрядов (таблица 2.4 и таблица 2.5).

Таблица 2.4 - Априорные оценки для полигонометрии 1 разряда при постоянных значениях: $\sum_1^n S = 5$ км, $n = 15$, $m_\beta = 5''$ и переменной φ

φ°	0	10	20	30	40	44,9
m_s мм	19,3	19,1	18,3	16,5	11,6	1,9
R мм	37,5	37,4	37,2	35,8	28,4	5,1
M мм	53,0	53,0	52,6	50,7	40,2	7,2

На основе данных (таблица 2.4) для вытянутого полигонометрического хода 1 разряда (при $\varphi = 0^\circ$), полагая, что предельная невязка пред $f_s \approx 2 M = 2 \times 53,0 = 106,0$ мм, получим следующую ожидаемую предельную относительную ошибку после уравнивания по методу наименьших квадратов, которая не превышает 1: 10 000.

$$\frac{\text{пред } f_s}{\sum_1^n S} = \frac{106,0}{5000000} \approx \frac{1}{47\,000}.$$

Таблица 2.5 - Априорные оценки для полигонометрии 2 разряда при: $\sum_1^n S = 3$ км, $n = 15$, $m_\beta = 10''$

φ°	0	10	20	30	40	44,9
m_s мм	23,2	22,9	22,0	19,8	13,9	2,2
R мм	45,0	44,9	44,7	43,0	34,1	6,1
M мм	63,6	63,6	63,2	60,8	48,3	8,6

Изменение ошибок m_s или m_β в большую или меньшую сторону при прочих равных условиях не приводит к кругу ошибок, хотя может повысить точность полигонометрических ходов, когда точность таких измерений повышается. Например, для прямолинейного полигонометрического хода ($\varphi = 0^\circ$) 2 разряда

при $\sum_1^n S = 3$ км, $n = 15$, $m_\beta = 10''$ и переменной ошибке m_s измерения длин сторон получим следующие результаты оценки точности (таблица 2.6).

Таблица 2.6 - Априорные оценки для прямолинейного хода 2 разряда при: $\sum_1^n S = 3$ км, $n = 15$, $m_\beta = 10''$ и переменной m_s

m_s мм	23,2	15	10	5	3	2
m_t мм	45,0	29,0	19,4	9,7	5,8	3,9
m_u мм	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
M мм	63,6	53,5	49,0	46,0	45,3	45,1

В изогнутых ходах, уравненных по методу наименьших квадратов, при значительном влиянии систематических ошибок линейных измерений, а также ошибок исходных данных, не наблюдается тождества между полуосями эллипса для среднего пункта и продольной и поперечной ошибками его положения.

В этом случае для изогнутых полигонометрических ходов можно использовать специализированное программное обеспечение КРЕДО, позволяющее выполнять многовариантное проектирование линейно-угловых построений. При этом достижение оптимального варианта осуществляется путем воздействия на форму и ориентировку эллипса ошибок за счет изменения или подбора соотношения весов угловых и линейных измерений в интерактивном или автоматическом режиме.

Рассчитаем средние квадратические ошибки измерения длин сторон и углов, которые приводят к кругу ошибок в среднем пункте (5) полигонометрического хода 4 класса вытянутой формы, заимствованного из [117] (рисунок 2.11), в котором длина $\sum_1^n S = 3453,849$ м, $m_\beta = 2''$, $n = 8$. В результате вычисления по формулам (2.13), (2.14) получим для среднего пункта 5 искомые оценки, приводящие к кругу ошибок: $m_s = 5,8$ мм, $R = 8,2$ мм, $M = 11,7$ мм.

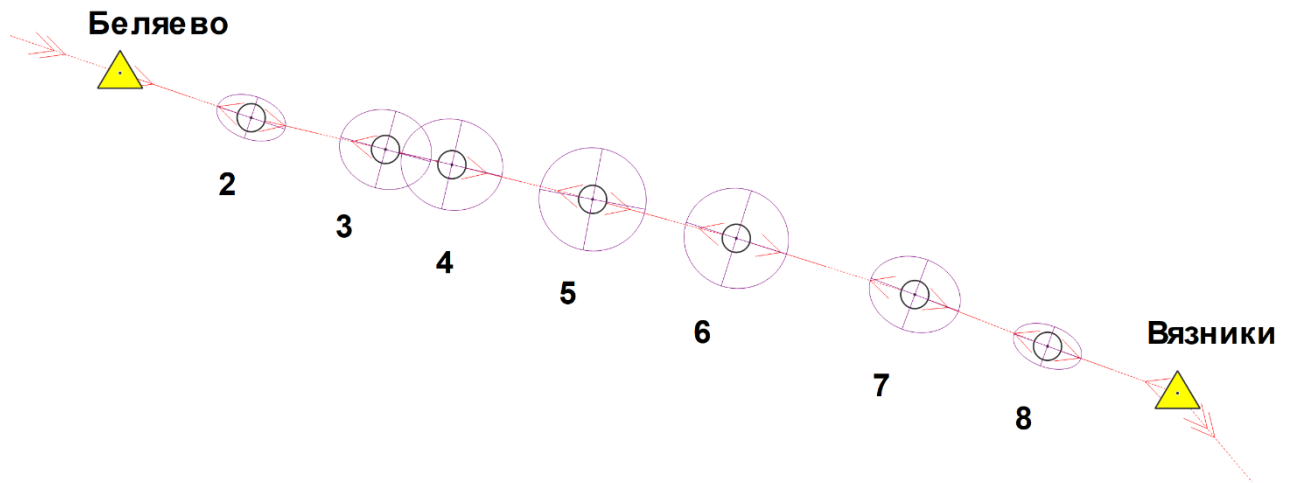


Рисунок 2.11 - Полигонометрический ход 4 класса вытянутой формы

В таблице 2.7 приведены результаты априорной оценки точности данного хода (рисунок 2.11), полученные с помощью программы КРЕДО ДАТ, которые подтверждают параметры, полученные по выше предложенным формулам.

Таблица 2.7 - Результаты оценки точности с помощью программы КРЕДО для хода вытянутой формы

Пункт	M	R	A	B	m_β	m_s
5	11,6 мм	8,2 мм	8,2 мм	8,2 мм	2,0"	5,8 мм

Выполним расчет ошибок измерения длин сторон и углов, которые приводят к кругу ошибок в середине полигонометрического хода 4 класса изогнутой формы, построенного на реальном производственном объекте (рисунок 2.12). В данном ходе длина $\sum_1^n S = 7464$ м, $m_\beta = 3''$, $\varphi = 31,5^\circ$, $n = 8$. В результате вычисления по формулам (2.12), (2.20) получаются следующие оценки: $m_s = 15,7$ мм, $R = 25,2$ мм, $M = 36,7$ мм для среднего пункта 3.

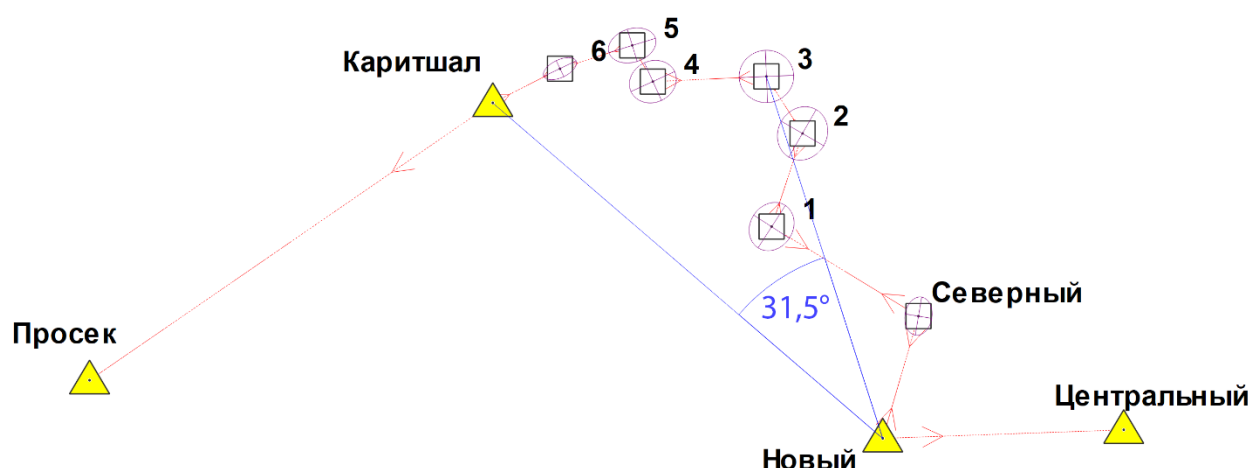


Рисунок 2.12 - Полигонометрический ход 4 класса в п. г. т. Шерегеш

В таблице 2.8 приведены результаты априорной оценки точности данного хода (рисунок 2.12), полученные с помощью программы КРЕДО ДАТ, которые также подтверждают параметры, полученные по выше предложенным формулам. Таблица 2.8 - Результаты оценки точности с помощью программы КРЕДО для изогнутого хода

Пункт	M	R	A	B	m_β	m_s
3	37 мм	26 мм	26 мм	26 мм	3,0"	15,7 мм

Таким образом, предлагаемую методику предвычисления точности полигонометрических ходов любого назначения на этапе их проектирования с помощью критерия в виде круга ошибок можно применять на производственных объектах, что подтверждено выполненными исследованиями.

2.3 Создание виртуальных моделей местности горной территории для проектирования геодезических сетей

Большинство горнодобывающих предприятий находится в горной местности и перед интерактивным проектированием планово-высотных геодезических сетей необходимо предварительное изучение местности. Это позволяет оптимально

запроектировать геодезическую сеть с учетом рельефа местности, видимости между соседними пунктами и другими факторами, влияющими на выбор конфигурации сети. Автором предложена методика создания виртуальных моделей местности горнодобывающей территории для проектирования геодезических сетей.

Виртуальная модель местности (ВММ) – цифровая модель местности, содержащая информацию о рельефе земной поверхности, ее спектральных яркостях и объектах, расположенных на данной территории и предназначенная для интерактивной визуализации, обладающая эффектом присутствия на местности. Для создания и визуализации ВММ с достаточно высокой степенью реалистичности требуется применение программ, способных обрабатывать трехмерные объекты, «драпированные» («обтянутые») текстурой (растровые карты или космические снимки) [38].

Виртуальная модель местности состоит из:

- цифровой модели рельефа;
- растрового изображения;
- векторных данных;
- трехмерных объектов специального назначения.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) — это трёхмерное цифровое отображение земной поверхности. Степень соответствия виртуальной модели реальной местности в основном зависит от точности передачи рельефа земной поверхности. Чем точнее и детальней модель рельефа, тем более реалистична модель местности. Однако при визуализации трехмерных сцен на обсчет ЦМР может уходить от 50 до 98 % вычислительных мощностей компьютера, потому излишняя подробность при передаче земной поверхности нецелесообразна [102, 182].

Для создания ЦМР предлагается использовать топографические карты исследуемой местности в масштабе 1:25 000 и 1:50 000.

Easy Trace является пакетом программ для полуавтоматической интерактивной векторизации цветных и черно-белых растровых изображений.

Этот пакет программ предназначен для переноса графической информации с бумажных носителей в электронный вид и ориентирован на обработку картографических материалов [176].

Топографическая карта подгружается в проект Easy Trace и, с помощью инструментов программы, векторизуются все горизонтали и реки – основные элементы для построения ЦМР. Используется функция автоматического ввода Z-координаты — это возможность полуавтоматического присвоения значений высот горизонталям (рисунок 2.13).

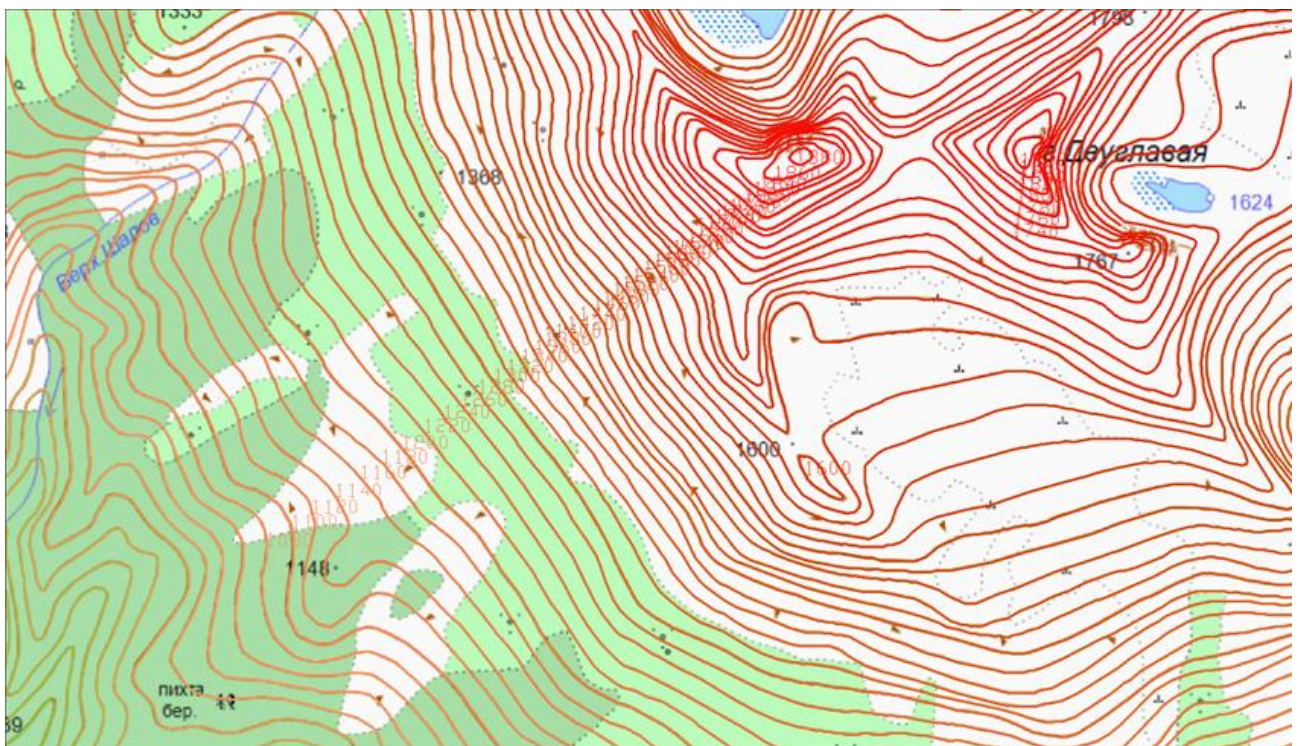


Рисунок 2.13 - Визуализация ЦМР фрагмента карты горной местности

Оптимальное соотношение между разрешением цифровой модели рельефа и растров составляет 1:4-1:8. Для масштаба 1:25 000 оптимальное разрешение шага ЦМР составляет 10–12 метров, дальнейший рост значительно повышает требования к ресурсам компьютера [40, 81].

Исходные данные для построения цифровой модели местности — это отметки вершин, горизонтали и реки. Реки представлены 3D-полилиниями, т. е. их отметки не постоянны, а интерполируются из точек пересечения рек с

горизонталями. С реками цифровая модель местности более приближена к действительности (рисунок 2.14).

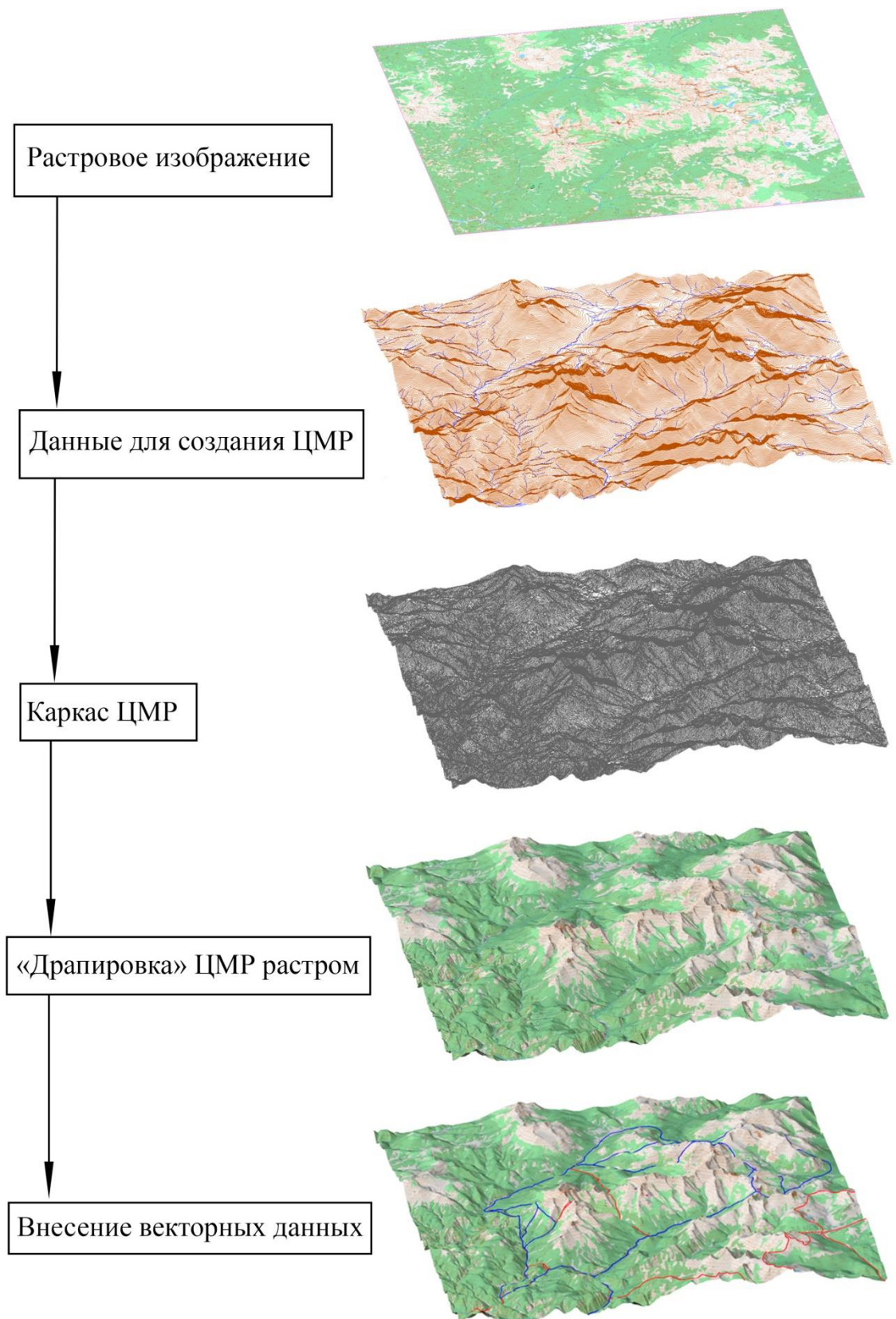


Рисунок 2.14 - Методика создания виртуальной модели местности

При создании виртуальной модели местности возникает необходимость в отображении специальных объектов, в нашем случае это проектируемые геодезические сети разных классов точности и геодезические знаки (рисунок 2.15).

Покрытие ЦМР растровыми геоизображениями помогает при ориентации на модели, привнося в ВММ колоссальное количество новых сведений о местности и делает ее действительно реалистичной. Использование космических снимков требует больших затрат на их закупку, обработку, сшивку и различные виды коррекции. Однако реалистичность модели, драпированной аэро- или космическими снимками, гораздо выше, чем у модели, в которой использовались топографические карты [105].

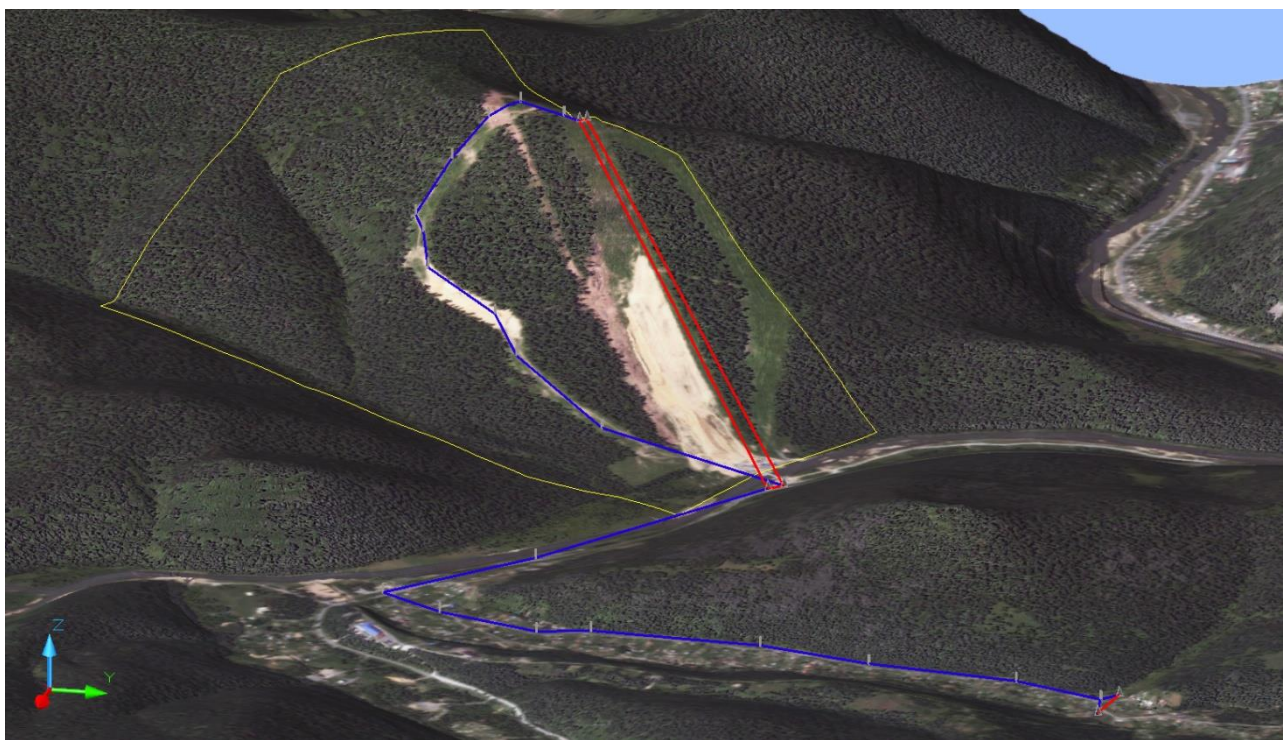


Рисунок 2.15 – Виртуальная модель местности на горнолыжном комплексе «Гора Туманная»

На рисунке 2.15 представлена виртуальная модель местности на горнолыжном комплексе «Гора Туманная», Кемеровская область г. Таштагол. Красным выделены наблюдения ГННС-приемниками для создания исходных пунктов. Синим цветом показана запроектированная планово-высотная сеть с

учетом рельефа местности. Желтым – земельный отвод участка под развитие горнолыжного курорта.

Для пользователя работа с моделью представляет собой изучение местности путём перемещения и вращения ВММ в пространстве в целях определения координат нужных точек, расстояний по поверхности модели и видимости между геодезическими пунктами. В большинстве случаев ВММ выполняет роль наглядного пособия для решения инженерных задач.

Полученные данные по ВММ позволяют запроектировать планово-высотные сети с учетом специфики рельефа местности и дают необходимую информацию для составления программы работ, рационального выбора геодезического оборудования и приемлемых условий для измерений.

2.4 Создание и актуализация дежурных планов с применением наземных лазерных сканеров и БЛА

Цифровой дежурный план обеспечивает возможность проектирования объектов, эксплуатацию инженерных сооружений, выполнение авторского и строительного надзора и т. п., а также поэтапную разработку проектов детальной планировки и ведение дежурного проекта, отражающего ход реализации генерального плана. Использование цифрового дежурного плана дает возможность проектировщикам использовать автоматизированные технологии при работе. Например, цифровая модель местности (ЦММ) обеспечивает возможность построения профилей по заданным направлениям, определения объемов земляных работ и анализа исходных и проектных решений в 3D пространстве и др.

На первом этапе создания дежурного плана необходимо выполнить сбор исходных материалов на заданную территорию. В большинстве случаев исходным материалом будут служить планшеты масштаба 1:500 в бумажном или отсканированном виде [31]. Данные планшеты создавались в 70-х годах прошлого столетия и по прошествии времени обновлялись. Часть материалов обновлялась

ручным методом, часть с использованием специализированного программного обеспечения.

Данные планшеты должны быть трансформированы и привязаны в заданную систему координат. Затем для полноценного использования цифрового дежурного плана необходимо планшеты перевести в цифровой вид и внести изменения, произошедшие на местности. Для ведения цифрового дежурного плана можно использовать программный комплекс КРЕДО, обеспечивающий возможность обработки материалов топографической съёмки, проектирования различных объектов, геодезического сопровождения строительства, выполнения исполнительных съёмок и экспорта во внешние системы. Совокупность программных модулей комплекса КРЕДО реализует технологии «сквозной» обработки информации, начиная от ее получения и заканчивая проектом, разбивочным чертежом и иным конечным документом деятельности проектно-изыскательской организации [44].

Для ведения дежурного плана на территории горнодобывающего промышленного предприятия необходимо создать систему управления хранилищем документов. Данная система позволяет хранить весь набор материалов на сервере и позволяет работать над цифровым дежурным планом нескольким специалистам [92, 103]. Например, геодезист может вносить изменения, а проектировщик использовать цифровой план как подложку для проектирования новых инженерных сооружений.

Важным элементом информационного обеспечения дежурного плана является иерархический, настраиваемый пользователем классификатор топографической, инженерно-геодезической или иной тематической информации и системы общепринятых или специально сконструированных условных знаков для отображения элементов ситуации. Сформированные объекты распределяются по информационным слоям, перечень и содержание которых определяются пользователями дежурного плана. Функциональные возможности дежурного плана позволяют выполнять как формирование баз данных, так их ведение, обновление, хранение и выдачу пользователю тех или иных их компонентов.

Интенсивное развитие беспилотных авиационных технологий и современный уровень цифровой фотограмметрии сделали возможным получение пространственных данных на интересующие участки территорий в максимально короткие сроки. Результаты фотограмметрической обработки аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов в виде различных цифровых данных (ортофотопланы, плотные модели, полигональные модели, ЦМР) используются для построения модели геопространства. ЦМР, в свою очередь, используется как для мониторинга состояния различных природных и естественных объектов, так и для целей, требующих обеспечения регламентированной точности – создания цифровых топографических планов крупного масштаба, подготовки проектов межевания, землеустроительных дел на земельные участки и т. п. [152,175].

Аэрофотосъемка местности, осуществляемая с беспилотных летательных аппаратов, в настоящее время является эффективным решением задач картографирования территории, имеет преимущества перед традиционной наземной съемкой и, в ряде случаев, способна заменить ее при создании и обновлении топографических планов крупных масштабов [110].

Системы наземного лазерного сканирования, а также беспилотные летательные аппараты позволяют в кратчайшее время собирать огромные массивы информации о местности – облака точек. На основе этой информации создается цифровая модель местности, которая используется для решения различных инженерных задач.

На рисунке 2.16 представлены основные этапы работы на объекте для ведения цифрового дежурного плана.

Комбинация наземных и спутниковых методов построения геодезических сетей позволяет оперативно создавать планово-высотное обоснование на территории эксплуатации крупных площадных объектов с необходимой точностью [178].

Объектом внедрения технологии съемки БЛА и наземного лазерного сканера выбрана промышленная территория холдинга «Сибшахтострой» в Кузнецком районе г. Новокузнецка для ведения цифрового дежурного плана [94, 99].

Промышленная площадка холдинга представляет собой динамично развивающиеся предприятия. Интенсивно ведутся работы по строительству, реконструкции и перепланировке существующих площадей, проводится строительство новых зданий и сооружений.



Рисунок 2.16 - Схема работы на объекте для ведения цифрового дежурного плана

Полет квадрокоптера выполняется в автоматическом режиме, причем маршрут задается с помощью ПО Pix4Dcapture для IOS (рисунок 2.17).

Приложение Pix4Dcapture – бесплатное дополнение к ПО Pix4D, которое позволяет создавать планы полетов, на основе полученных данных предоставляет возможность составлять на ПК или в облаке карты и модели с географической привязкой.

В программе Pix4Dcapture указывается граница участка съёмки, высота полета, скорость полета, % перекрытия снимков, наклон камеры, начало и конец маршрута. Квадрокоптер в автоматическом режиме взлетает, выходит на маршрут, выполняет съёмку и приземляется в месте, откуда взлетел. В случае, когда батарея разряжается во время полета, квадрокоптер автоматически определяет, что он не успеет закончить заданный маршрут, он в автоматическом режиме выполняет посадку в месте взлета [93].



Рисунок 2.17 - Создание маршрута полета квадрокоптера в ПО Pix4Dcapture

Для обработки данных, полученных с БЛА, использовалось ПО Agisoft PhotoScan, которое в большей степени ориентировано на автоматизацию процесса

обработки данных, что имеет существенное значение для оперативного получения топографической информации, а также ведет к удешевлению производства конечного продукта [153].

При обработке данных в ПО сначала восстанавливаются исходное положение и ориентация камер (по элементам внешней ориентации камер), задается координатная система реконструируемой модели, а затем строится разряженное облако точек на основе фотографий. Для оптимизации результатов расчёта положения камер и параметров их внутренней ориентации выполняется расстановка маркеров и задаются координаты. Маркеры расставляются по контрольным точкам, тем самым осуществляется контроль точности, заключающийся в вычислении СКО контрольных точек с известными координатами [173].

Основываясь на рассчитанных положениях камер, программа автоматически вычисляет карты глубин для каждой камеры и формирует плотное облако точек, а на его основе – трехмерную полигональную модель, для которой строится текстура. Для создания ортофотоплана по полигональной модели строится карта высот, на которую проецируется план [83, 111].

Затем данные, полученные после обработки фотографий в виде плотного облака точек, экспортируются в программу КРЕДО 3D СКАН. В данную программу можно загружать и обрабатывать результаты, полученные с помощью аэрофотосъёмки, представляющие по своей структуре то же самое, что и облако точек, полученное с наземного лазерного сканера.

На первом этапе осуществляется фильтрация загруженного облака точек. В процессе фильтрации уменьшается плотность точек в облаке, удаляются точки, которые являются «шумом». При необходимости можно удалить часть облака точек или наоборот объединить несколько облаков точек в одно. Программа позволяет в полуавтоматическом режиме создавать цифровую модель рельефа, для этого необходимо выделить рельеф, указав параметры, подходящие для данного типа местности. В результате будет создано облако, содержащее точки, которые относятся только к рельефу местности [60]. Затем необходимо проредить

облако точек в зависимости от требований к цифровой модели рельефа и построить модель рельефа (рисунок 2.18).

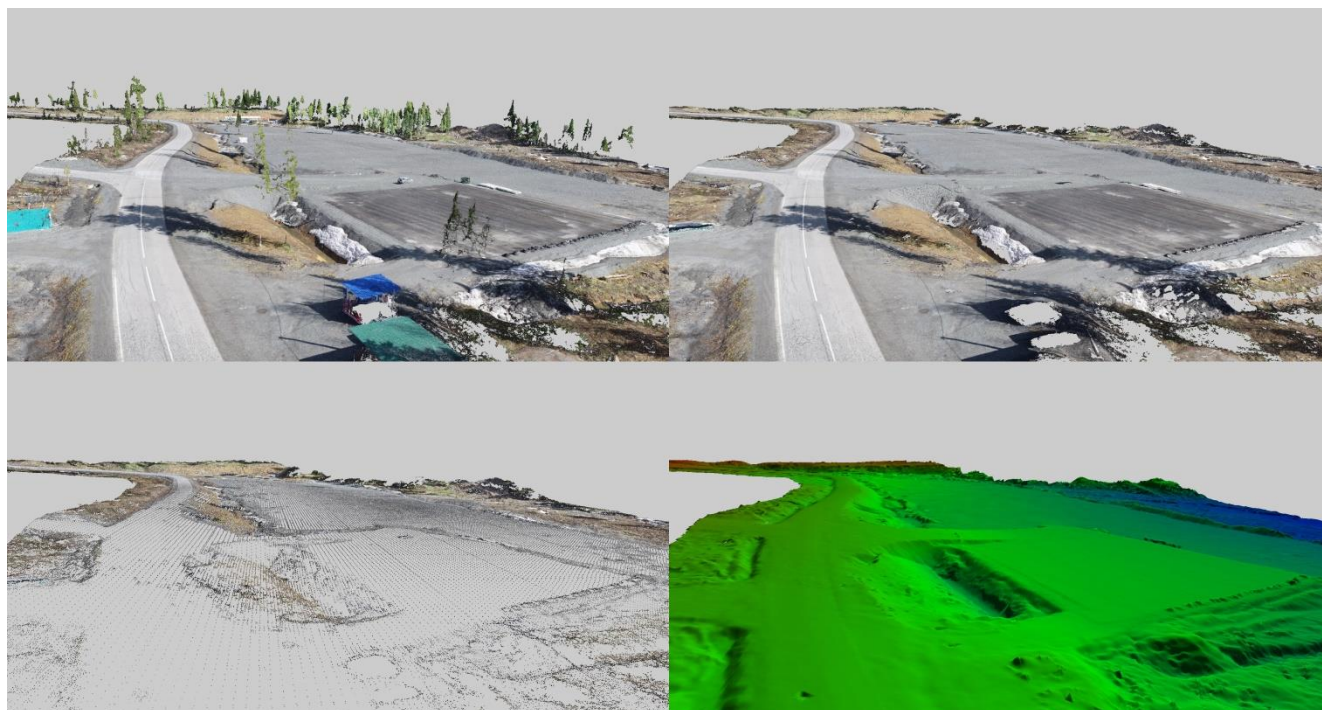


Рисунок 2.18 – Создание цифровой модели рельефа в программе КРЕДО 3D
СКАН

В программе 3D СКАН реализована возможность классификации облака точек на слои (рисунок 2.19). Классификация точек происходит полуавтоматически с помощью команд выделения рельефа и др. Классифицированные слои можно раскрашивать в отдельный цвет и отключать. Для четкой визуализации областей с уклоном можно рассчитать раскраску области по градиенту уклона.

Применение специализированных программ по обработке пространственных данных, полученных с БЛА и НЛС, позволяет оперативно обновлять дежурные планы промышленных предприятий, а также обеспечить комплексное решение различных прикладных инженерных задач как в процессе контроля за возводимыми зданиями и сооружениями, так и в период их эксплуатации.

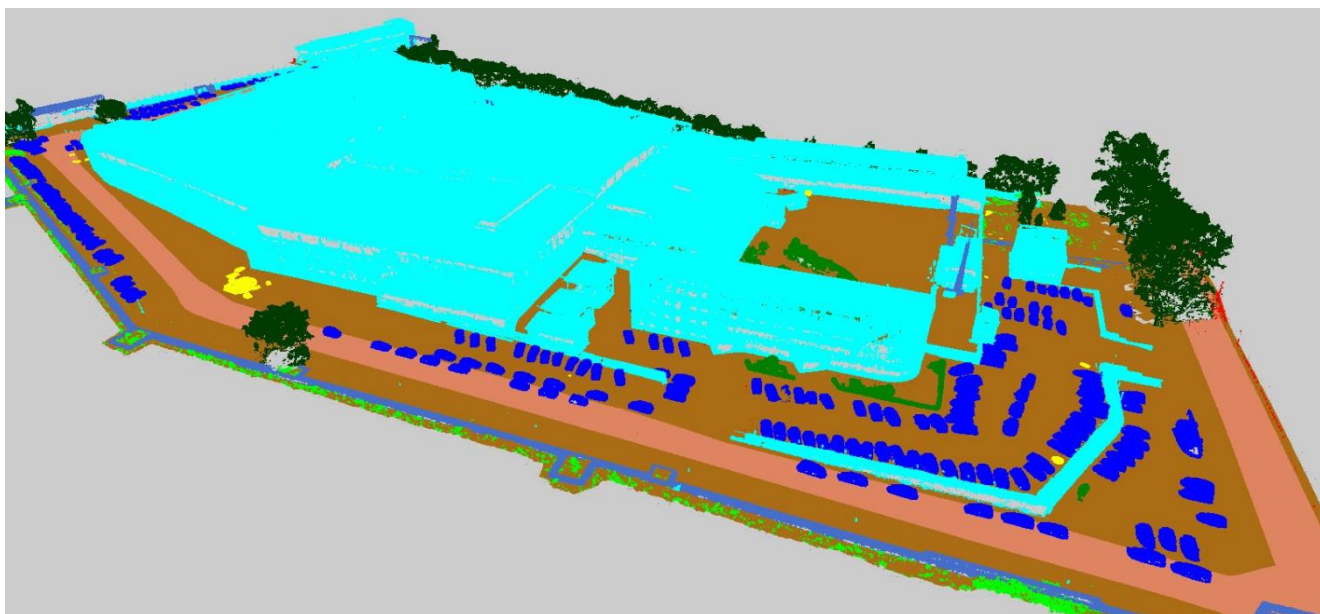


Рисунок 2.19 – Классификация облака точек промышленной территории

После обработки облаков точек все результаты экспортируются в программу КРЕДО Дежурный план, и в ней выполняется ведение цифрового дежурного плана местности (рисунок 2.20).

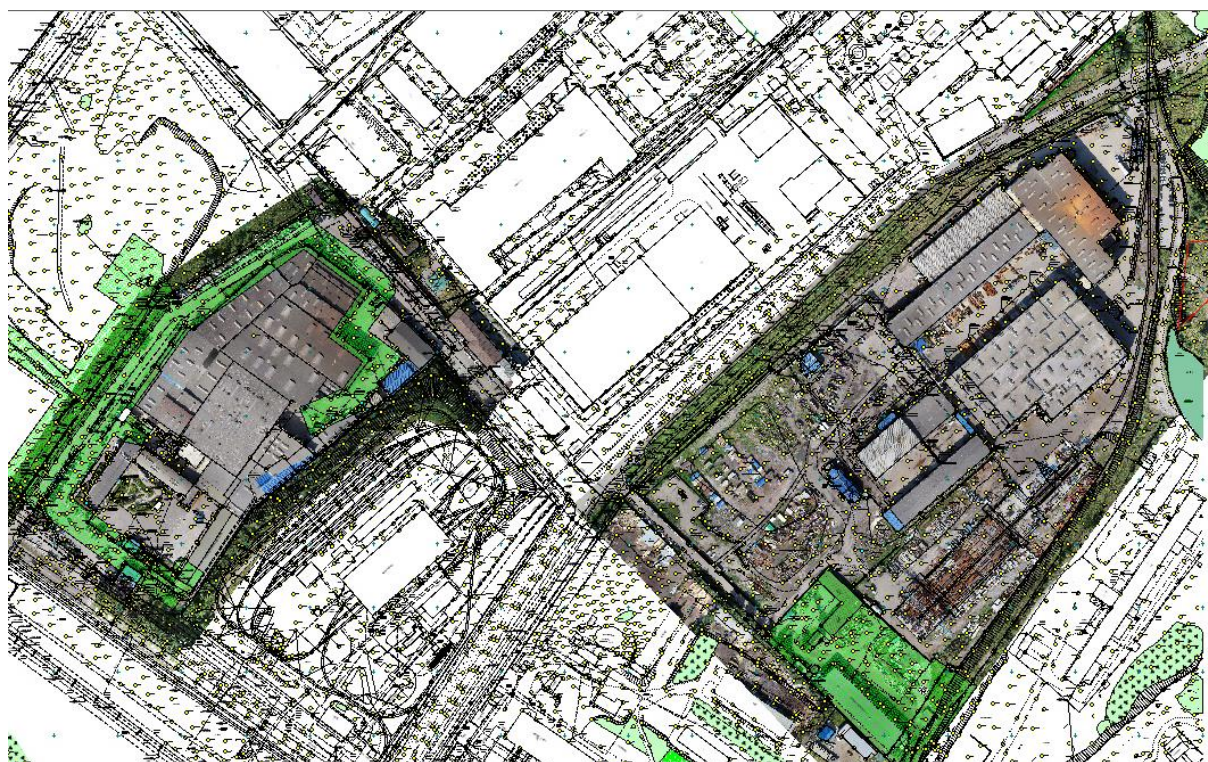


Рисунок 2.20 - Ведение дежурного плана промышленной территории в программе КРЕДО Дежурный план

При работе в программе используется: рельефное разряженное облако точек, элементы рельефа и дороги, которые автоматически были распознаны в 3D СКАН. Кроме того, используется ортофотоплан и растровое изображение карты высот, на которой очень хорошо просматриваются основные формы рельефа. Если возникает какой-то вопрос, можно воспользоваться исходным облаком точек, посмотреть необходимую область в 3D и сделать необходимые замеры. В результате аэрофотосъемки получается большой объём данных для создания цифровой модели местности, такой объём невозможно получить, используя традиционные геодезические инструменты.

Методика ведения дежурного плана должна быть такой, чтобы любое изменение, выявленное на местности и описанное с заданным составом информации и параметрами точности, максимально быстро было внесено в дежурный план и было доступно всем его пользователям.

Состав информации для ведения дежурного плана многообразен по структуре и значителен по объему. Основными его составляющими являются:

- параметры местной системы координат. Эти данные необходимы для связи дежурного плана с другими региональными и государственными информационными системами;
- координаты пунктов геодезических сетей сгущения, плановых и планово-высотных съемочных сетей, геодезической разбивочной основы для нового строительства и реконструкции;
- топографические планы соответствующего масштаба;
- космические снимки, ортофотопланы и другие данные дистанционного зондирования Земли, которые могут использоваться при мониторинге изменений дежурного плана;
- материалы инженерных изысканий, выполненные в целях осуществления градостроительной деятельности [131], этот вид информации является основным источником обновления дежурного плана;
- материалы исполнительных съемок в виде результатов геодезического сопровождения процесса строительства являются важным источником для

внесения изменений в дежурный план, поэтому необходимо обеспечить обязательный контроль над их качеством и сроками поступления на всех стадиях строительства, ремонта, реконструкции и консервации объектов [26].

ПО КРЕДО позволяет совместно обрабатывать облака точек, полученные с БЛА и наземного лазерного сканера. Необходимо, чтобы облака точек были в одной системе координат и высот. На рисунке 2.21 представлены результаты работы с разными облаками точек на основе съёмки с улицы и съёмки внутри цеха. Эта технология даёт возможность в одном ПО использовать одни и те же команды по выделению рельефа, пола, стен, колонн, деревьев по точкам лазерных отражений и точкам, полученных с БЛА.

Основные преимущества БЛА и наземного лазерного сканера:

- значительно сокращается время выполнения полевых работ;
- большой объём исходных данных – облака точек, ортофотоплан, фотографии;
- перспективность технологии для дальнейшего внедрения BIM;
- совместное использование облаков точек снаружи и внутри строящихся или эксплуатирующихся зданий и сооружений.

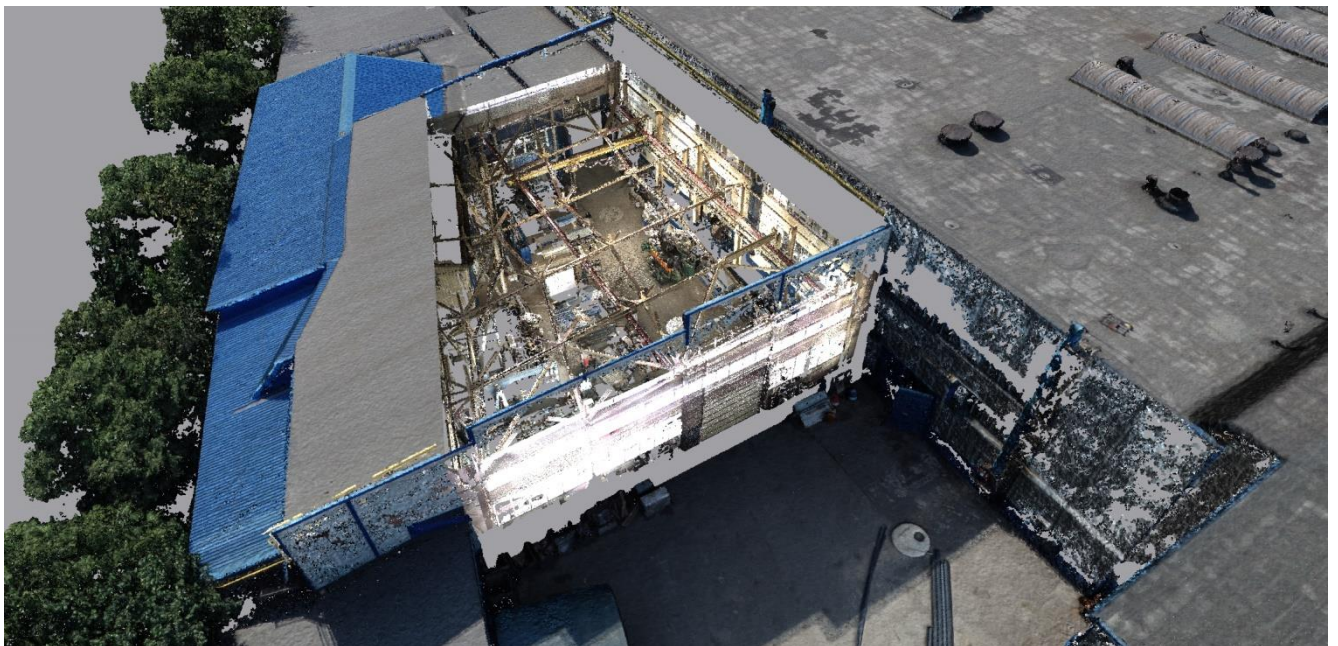


Рисунок 2.21 - Работа с облаками точек, полученными с наземного лазерного сканера и БЛА

Так как крупномасштабные топографические планы используются в первую очередь в процессе управления развитием промышленных территорий, то дежурный план необходим для изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объектов промышленного и гражданского строительства. Конкретными его пользователями являются:

- собственники, которые используют дежурный план в качестве информационной подложки при решении задач управления развитием промышленных территорий;
- изыскатели, получающие фрагменты имеющегося дежурного топоплана для планирования и проведения изысканий и сдающие актуализированные материалы обратно;
- проектировщики, применяющие цифровую топографическую основу в рамках BIM-проектирования объектов различного назначения;
- строители, использующие дежурный план для выполнения работ, в том числе и с применением современных автоматизированных строительных технологий, а также сдающие материалы исполнительных съемок объектов, завершенных строительством;
- эксплуатационные предприятия, использующие некоторые данные дежурного плана для оперативного управления своими объектами и осуществления их реконструкции, это особенно актуально для подземных инженерных сетей.

При этом разные категории пользователей дежурного плана по-разному работают с этой информацией. Кто-то, как, например, проектировщики, только используют данные, а другие, например, изыскатели или строители, на основе выданного материала создают новую информацию, которая обязательно должна вернуться в дежурный план.

Для передачи данных цифрового дежурного плана сторонним организациям производится экспорт цифровой модели в формат DXF, в котором содержится 3D-модель рельефа. Эту модель можно импортировать в любую САПР и полноценно использовать автоматизированные технологии. На сегодняшний день появилась

возможность экспортировать из ПО КРЕДО полноценные 3D-модели промышленных территорий в формате IFC для дальнейшей работы с BIM-проектированием.

При внедрении дежурного плана открываются новые возможности и преимущества, а именно:

- сокращение сроков и количества административных процедур при строительстве и эксплуатации промышленных объектов;
- полный отказ от использования бумажных носителей топографо-геодезической информации, и за счет этого — повышение эффективности изысканий и проектирования;
- внедрение единой автоматизированной технологии изысканий: проектирование–строительство–эксплуатация объектов любого назначения;
- сокращение затрат и повышение качества инженерных изысканий, строительства и эксплуатации промышленных территорий.

2.5 Выводы по второму разделу

На основе выполненного исследования по созданию геодезического обеспечения строительства и обоснования исполнительных геодезических съёмок с помощью линейно-угловых построений. Разработана методика управления точностью полигонометрических построений путем выбора оптимального соотношения весов угловых и линейных измерений с применением критерия оценки точности в виде круга ошибок. При создании съёмочного обоснования наибольшее предпочтение имеет критерий в виде круга ошибок, поскольку точность цифрового дежурного плана должна быть одинаковой по всем направлениям.

Описана методика создания и актуализации дежурных планов промышленных предприятий с применением наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных аппаратов и современных компьютерных программ для обработки пространственных данных. Планово-высотное обоснование для

мониторинга за цифровыми дежурными планами необходимо совмещать с опорными знаками для БЛА, марками для наземных лазерных сканеров, чтобы все геодезические измерения выполнялись в единой системе координат. Форма опорного знака для БЛА должна обеспечивать безошибочное определение его центра, поэтому рекомендуется использовать опознаки типа «мишень», полукрест или крест. Для НЛС применяются марки – цели, размер которых соответствует формату А4 или А3 в зависимости от расстояния до сканера и закрепляются на строительных конструкциях. В главе представлена методика работы с разными облаками точек, полученных при съёмке дневной поверхности с помощью БЛА и съёмка внутри цеха с помощью НЛС. Для оценки точности массива пространственных данных, полученных с БЛА, на промышленной площадке были использованы 100 контрольных точек. Выполнено сравнение отметок данных точек, измеренных классическим методом и полученных из плотного облака точек БЛА. Средняя разница отметок составила 34 мм.

Применение специализированных программ по обработке пространственных данных, полученных с БЛА и НЛС, позволяет оперативно обновлять дежурные планы промышленных предприятий, а также обеспечить комплексное решение различных прикладных инженерных задач как в процессе контроля за возводимыми зданиями и сооружениями, так и в период их эксплуатации.

Для создания оптимального проекта геодезической сети с учетом горного рельефа, который присутствует в большинстве случаев на горнодобывающих предприятиях, предложена методика создания и использования виртуальных моделей местности. Использование виртуальной модели местности позволяет расширить представление о земной поверхности и внести необходимые изменения в процессе управления точностью геодезических построений.

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

3.1 Автоматизированные методы определения наиболее устойчивых реперов высотной основы для наблюдения за деформациями зданий и сооружений

Программа КРЕДО Расчёт деформаций позволяет автоматизировать определение устойчивости высотной и плановой основы для наблюдения за деформациями зданий и сооружений. В технологии наблюдений за деформациями считается, что контрольными пунктами являются реперы опорной плановой или высотной съемочной сети, с которых выполняются измерения пространственного положения деформационно-осадочных марок [121]. Непосредственно после импорта данных наблюдений или в процессе ручного ввода пользователь может определить пункт как контрольный, после чего он автоматически включается в расчеты, связанные с оценкой качества и надежности опорной сети.

Следует отличать контрольные и исходные пункты в представлении, принятом в программных продуктах КРЕДО: исходные пункты имеют, как правило, фиксированные координаты и отметки, служащие основой для построения опорной сети. В отличие от неизменных (теоретически) координат исходных пунктов, координаты контрольных пунктов рассчитываются и уравниваются повторно для каждого нового цикла наблюдений с целью проверки их стабильности и пригодности для использования в качестве опорных станций.

Контрольные пункты являются составной частью опорной геодезической сети объекта. По уравненным данным геодезических измерений, вычисленным для этих пунктов, контролируется стабильность их взаимного положения. Расчет устойчивости контрольных пунктов является начальным среди основных расчетов камеральной обработки результатов геодезических измерений при наблюдениях за деформационно-осадочными процессами. В нем решается две основные задачи:

- вычисление общей устойчивости взаимного положения контрольных пунктов относительно результатов, полученных в начальном цикле. Эта часть расчета предназначена для выявления превысивших установленные значения медленных движений контрольных пунктов относительно друг друга;

- вычисление текущей устойчивости взаимного положения контрольных пунктов относительно результатов, полученных в предыдущем цикле. Эта часть расчета предназначена для выявления превысивших установленные пороговые значения скачкообразных движений контрольных пунктов относительно друг друга.

Расчет устойчивости контрольных пунктов выполняется отдельно для плановой и для высотной опорной геодезической сети.

Анализ устойчивости выполняется при количестве контрольных пунктов в сети не менее трех. Для получения корректных результатов расчет должен производиться в локальной или строительной системе координат.

Методика расчета состоит в следующем. Каждый контрольный пункт поочередно выбирается в качестве опорного. Для выбранного опорного пункта вычисляется коэффициент устойчивости по формуле [57]:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta H_i^k)^2}{n-1}}, \quad (3.1)$$

где

$$\Delta H_i^k = h_i^k - h_i^0;$$

h_i^k - превышение i пункта относительно опорного в k -м цикле;

h_i^0 - превышение i пункта относительно опорного в нулевом цикле.

Опорный пункт p^* с минимальным σ значением считается наиболее устойчивым в данном цикле.

Далее для каждого пункта, отличного от p^* , повторно вычисляется значение разности превышений ΔH_i^k . В протокол расчета выводятся сообщения о полученных коэффициентах устойчивости для каждого пункта. При превышении установленного допуска значение выделяется красным цветом, а пункт с наименьшим коэффициентом устойчивости отмечается соответствующим комментарием. На рисунке 3.1 представлен анализ устойчивости высотной сети по данным из таблицы 3.2 и 3.3.

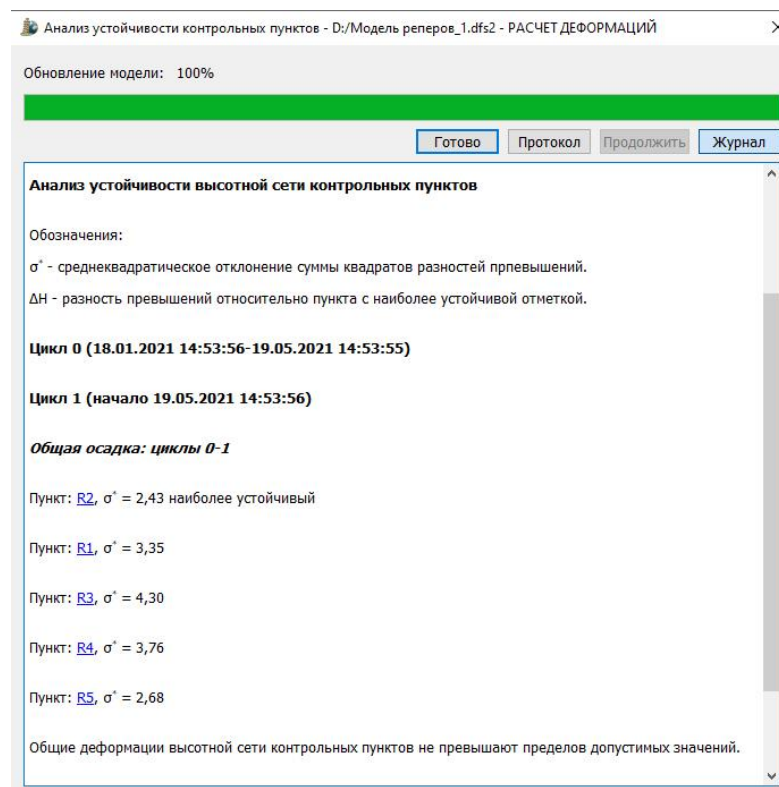


Рисунок 3.1 - Монитор анализа при анализе устойчивости высотных контрольных пунктов в программе Расчет Деформаций

В настоящее время на строительных площадках закладываются вековые репера, которые служат опорной сетью в плановом и высотном отношениях при строительстве и эксплуатации крупных промышленных сооружений.

3.2 Способ анализа устойчивости реперов высотной основы при наблюдениях за осадками сооружений

Для анализа устойчивости опорных пунктов известно несколько способов определения наиболее стабильных по высоте [8], [21], [57], [171] и др. В дополнении к этому списку можно предложить еще способ анализа стабильности на основе ноль-свободных нивелирных сетей для повышения надежности принятия решения.

Необходимо отметить, что в технологии компании «Кредо-Диалог» программных продуктов КРЕДО ДАТ и КРЕДО Нивелир не представляется возможным выполнять уравнивание и оценку точности свободных нивелирных сетей без исходных пунктов. В этом случае хотя бы одному пункту следует присваивать статус «исходного» с заданной высотой.

Однако от назначения того или иного пункта в качестве исходного зависит оценка точности отметок определяемых пунктов.

Это обстоятельство следует учитывать при выборе исходных пунктов в последующих циклах наблюдений за осадками и анализе действия ошибок измерений.

В геодезической практике при наблюдениях за осадками контрольных марок имеет место создание локальных нивелирных ходов и сетей, в которых содержится минимальное количество исходных данных или их вообще нет, когда все без исключения пункты являются определяемыми. Такие построения, как известно, называются «свободными» или «ноль-свободными» и используются для наблюдений за осадками зданий и технологического оборудования, а также для наблюдений за современными вертикальными движениями земной поверхности.

Свободные сети обладают преимуществом перед несвободными геодезическими построениями за счет исключения или ослабления ошибок исходных данных. В этой части рассматриваются особенности математической обработки ноль-свободных нивелирных сетей, для которых разработана теория

уравнивания и оценки точности с учетом получения ковариационных матриц [15, 52].

Математический аппарат уравнивания и оценки точности ноль-свободных нивелирных сетей может быть положен в основу определения вертикальных перемещений грунтовых реперов при исследовании деформаций инженерных сооружений. Это можно сделать на основе следующего матричного выражения для определения характеристик $\bar{G}_{m \times 1}$ стабильности реперов нивелирной сети, в которой m – количество определяемых пунктов.

$$\bar{G}_{m \times 1} = \bar{B}_{m \times m}^{-1} \bar{W}_{m \times 1}, \quad (3.2)$$

здесь $\bar{B}_{m \times m}$ – преобразованная (неособенная) матрица коэффициентов нормальных уравнений;

$$\bar{B}_{m \times m} = B_{m \times m} + Z_{m \times m},$$

где $Z_{m \times m}$ – матрица, все элементы которой равны единице;

$B_{m \times m}$ – особенная матрица, определитель которой равен нулю;

$$B_{m \times m} = A_{m \times n} P_{n \times n} A_{n \times m}, \quad (3.3)$$

где $A_{m \times n}$ – структурная матрица нивелирной сети;

$P_{n \times n}$ – матрица весов измеряемых превышений;

n – количество измеренных превышений.

В формуле (3.2) $\bar{W}_{m \times 1}$ является вектором невязок:

$$\bar{W}_{m \times 1} = A_{m \times n} P_{n \times n} \Delta h_{n \times 1}, \quad (3.4)$$

где $\Delta h_{nx1} = h_{nx1}^j - h_{nx1}^i$ – матрица-столбец разностей одноименных превышений между двумя циклами наблюдений, вычисленных по уравнинным отметкам реперов нивелирной сети.

Значения матрицы Δh_{nx1} разностей одноименных превышений могут быть вычислены по уравнинным отметкам реперов, а также по измеренным превышениям, полученным в текущем цикле наблюдений. Во втором случае в процессе обработки по данному алгоритму (3.2) устраняются невязки в измерениях и выполняется оценка точности уравнинных осадок.

$$\bar{K}_{mxm}^{(\Delta h)} = \mu^2 \bar{Q}_{mxm}, \quad (3.5)$$

где $\bar{K}_{mxm}^{(\Delta h)}$ – ковариационная матрица уравнинных осадок.

Критерий выбора наиболее устойчивого репера устанавливается в зависимости от класса ответственности сооружения, точности измерений и способа анализа стабильности высотной основы.

Рассмотрим модель высотной основы для наблюдения за осадками, в которой заведомо наиболее устойчивым является репер R_2 (рисунок 3.2).

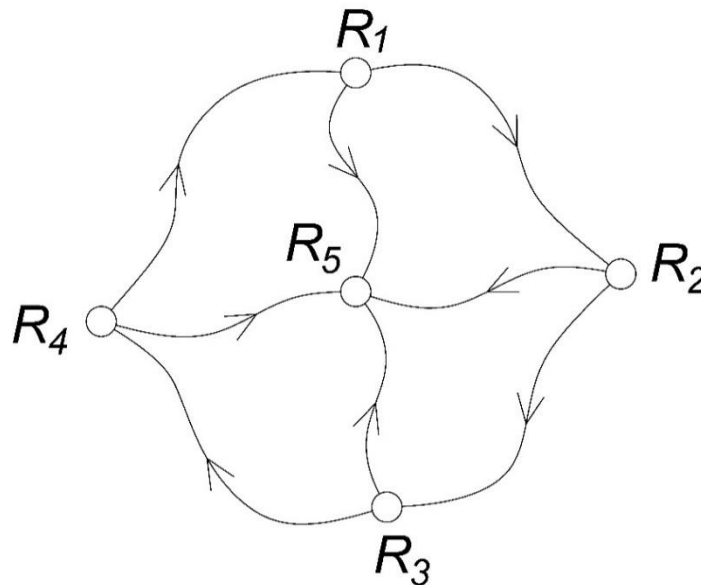


Рисунок 3.2 - Модель нивелирной сети

Исходные данные для анализа стабильности реперов приведены в виде уравнированных отметок из двух циклов измерений (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Результаты нивелирования в двух циклах наблюдений

Названия реперов	Отметки в цикле 0 (мм)	Отметки в цикле К (мм)
R_1	1154.7	1157.2
R_2	1197.0	1197.0
R_3	1424.9	1422.1
R_4	1372.4	1375.4
R_5	1291.7	1291.0

Результаты вычисления превышений по данным циклам наблюдений и полученные осадки сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Осадки по двум циклам измерений

Название нивелирных ходов	Превышение по циклам (мм)		Осадки (мм)
	Δh_{ij}^0 (цикл 0)	Δh_{ij}^K (цикл К)	$\Delta h_{ij}^K - \Delta h_{ij}^0$
R_1-R_2	+42.3	+39.8	-2.5
R_2-R_3	+227.9	+225.1	-2.8
R_3-R_4	-52.5	-46.7	+5.8
R_4-R_1	-217.7	-218.2	-0.5
R_1-R_5	+137.0	+133.8	-3.2
R_2-R_5	+94.7	+94.0	-0.7
R_3-R_5	-133.2	-131.1	+2.1
R_4-R_5	-80.7	-84.4	-3.7

В процессе обработки данных (таблица 3.2) вертикальных перемещений по принципу уравнивания ноль-свободной сети (3.2), в которой вместо превышений

принимаются осадки реперов, получена следующая матрица $\bar{G}_{5 \times 1}$ для анализа их стабильности по высоте:

$$\bar{G}_{5 \times 1} = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_3 \\ g_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +2.1 \\ -0.4 \\ -3.2 \\ +2.6 \\ -1.1 \end{bmatrix}.$$

Признаком стабильности репера по высоте считается минимальное отклонение от выбранной уровенной поверхности в ноль-свободной нивелирной сети. По данным вычисления матрицы $\bar{G}_{5 \times 1}$ видно, что наименьшее значение параметра ($g_2 = -0.4$ мм) отклонения получил репер R_2 , что соответствует его наибольшей устойчивости по высоте и отвечает условию, заданному в модели нивелирной сети (рисунок 3.2).

Для данной модели нивелирной сети (рисунок 3.2) получены результаты (таблица 3.3) сравнительного анализа стабильности реперов по методике И.В. Рунова [171], а также по программе КРЕДО Расчёт Деформаций, что подтверждает достоверность вышеприведенных расчётов.

Таблица 3.3 - Результаты сравнительного анализа вертикальных перемещений

Название реперов	Способ ноль-свободных сетей g_i (мм)	Способ И.В. Рунова $S_i = \frac{\sum \Delta h_{ij}}{n-1}$ (мм)	Способ Кредо $\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (\Delta H_i^k)^2}{n-1}}$ (мм)
R_1	+2.1	-2.6	+3.35
R_2	-0.4	+0.5	+2.43
R_3	-3.2	+4.0	+4.30
R_4	+2.6	-3.2	+3.76
R_5	-1.1	+1.4	+2.68

Из таблицы 3.3 видно, что репер R_2 во всех случаях получил наилучшие значения параметров стабильности:

$$g_2 = -0.4; S_2 = +0.5; \sigma_2 = +2.43;$$

где g_2 – элемент матрицы $\bar{G}_{5 \times 1}$;

S_2 – параметр стабильности по способу И.В. Рунова, основанный на взаимном смещении реперов по высоте относительно друг друга;

σ_2 – коэффициент устойчивости по технологии КРЕДО.

Критерием выбора наиболее устойчивого репера считается величина

$$M_{\text{доп}} \leq 2m_H,$$

где m_H – ошибка определения осадки репера.

Если принять m_H равной 1 мм, то можно считать, что репер R_5 в нивелирной сети (рисунок 3.2) является также устойчивым по высоте. Результаты анализа вертикальных перемещений (таблица 3.3) свидетельствуют о нестабильности реперов R_1 , R_3 и R_4 .

В большинстве способов анализа стабильности, в том числе и в способах И.В. Рунова, и КРЕДО, каждый контрольный пункт поочередно принимается в качестве опорного, для которого вычисляется коэффициент устойчивости. Это приводит к увеличению объёма расчётов, особенно при анализе устойчивости большого количества опорных пунктов или осадочных марок.

Отличием способа анализа стабильности, предложенного в диссертации, является расчёт осадок по отметкам или одноименным превышениям только связующих реперов нивелирной сети. В этом случае исключается необходимость перебора всевозможных связей между пунктами, что не влияет на качество окончательных результатов.

Таким образом, данный способ анализа стабильности реперов сокращает время на обработку данных, поскольку устраняет излишние вычислительные

процедуры. Вместе с тем позволяет расширить существующую аналитику для выбора устойчивых реперов и повысить надежность принятия решения.

3.3 Математическая обработка результатов цифрового нивелирования с применением специализированного программного обеспечения

Использование современных программ и технологий позволяет упростить и автоматизировать процесс обработки результатов наблюдений, а, следовательно, уменьшить затраты времени на выполнение этих действий, в результате чего увеличивается эффективность и производительность труда.

Данные измерений, полученные с цифрового нивелира Trimble DiNi 12, импортируются в программу КРЕДО Нивелир для автоматизированной обработки и уравнивания. Обработки результатов нивелирования опорного полигона и осадочных марок выполняются отдельно. Для корректных расчётов необходимо подготовить исходные данные – выделения секций в ходах, сформированных из файлов цифровых нивелиров. Это необходимо для объединения секций, включающих промежуточные (переходные) точки, так как при импорте такие точки выделяются как пункты [56]. Для задания номера секции по каждому ходу необходимо выбрать поочередно их из списка имен ходов и активизировать команду из контекстного меню «Номер секции», в открывшемся диалоге указать ее номер.

Если при выполнении нивелирования вместе с цифровым нивелиром использовался откалиброванный в лаборатории комплект нивелир-рейка, то после импорта измерений на вкладке «Импорт» в таблице, в колонке «Нивелир-рейка» можно выбрать нужный комплект, а в колонке «Исправленный отсчет» эта поправка будет учтена при расчете превышений. Так как значение поправки составляет обычно значение от нескольких тысячных до нескольких сотых миллиметра, то на вкладке «Представление данных» необходимо устанавливать максимальную точность представления значений превышений.

Для формирования ходов высокоточного нивелирования на вкладке «Общие» диалога «Свойства проекта» необходимо установить настройки выбор отсчетов BFFB (задняя-передняя-передняя-задняя). Чтобы при импорте данных с цифрового нивелира (как два или одно превышение) для размещения данных в таблице ходов I класса автоматически заполнялись как левая и правая линии.

Предварительные вычисления отметок пунктов по превышениям и последующее уравнивание полученных значений выполняются системой автоматически после выбора соответствующих команд. В программе КРЕДО Нивелир реализовано совместное уравнивание измерений разной точности, которое проводится параметрическим способом по критерию минимизации суммы квадратов поправок в измерения. Для решения системы уравнений поправок используется итерационный алгоритм. На каждой итерации вычисляются поправки в высоты пунктов, затем коэффициенты уравнений рассчитываются заново, и процесс повторяется. Итерации прекращаются, когда в очередной итерации максимальная поправка в высоту меньше 0,005 мм [56].

После ввода в систему координат пунктов в графическом окне программы создаются схемы нивелирных ходов, которые при желании можно экспортировать в формат dxf, доработать и отправить на печать (рисунок 3.3).

По результатам обработки на основе готовых шаблонов создаются ведомости. Все ведомости классного нивелирования выпускаются строго в соответствии с требованиями нормативных документов. В них просматриваются полученные и допустимые невязки нивелирных ходов, на основании этого делается вывод, что полученные измерения в допуске.

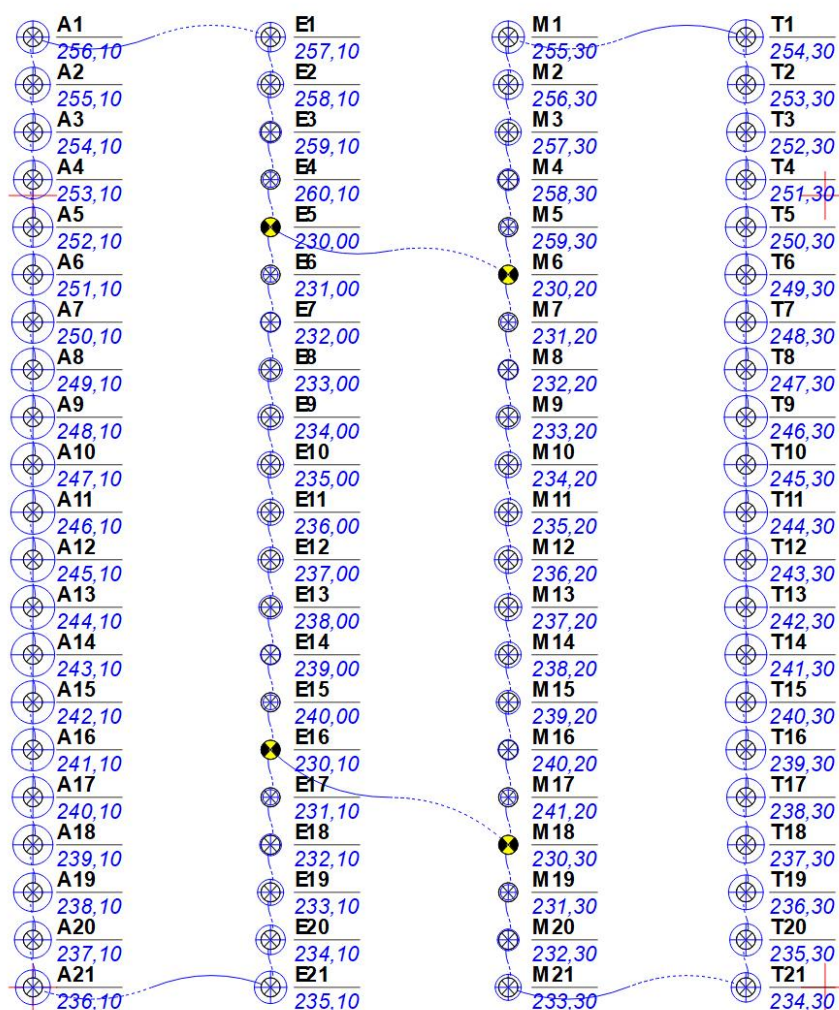


Рисунок 3.3 - Схема нивелирных ходов 2 класса

Последующий анализ данных по многократным наблюдениям за осадками наблюдаемого объекта выполняется в программе КРЕДО Расчет Деформаций. Применение специализированного программного обеспечения позволяет ускорить процесс уравнивания, поиска грубых ошибок и отказаться от устаревших бумажных технологий.

3.4 Исследование работы цифрового нивелира при недостаточной освещённости штрихкодовой рейки

В процессе работ по наблюдениям за деформациями промышленных предприятий горнодобывающей отрасли цифровой нивелир Trimble DiNi 12

использовался в условиях недостаточной освещенности. В процессе выполнения работ в темных участках промышленных цехов штрихкодové рейки подсвечивались искусственным источником света.

Исследования работы цифрового нивелира Trimble DiNi 12 в условиях недостаточной освещенности проводились в несколько этапов. Первый этап проводился в лабораторных условиях – в темном помещении. Второй этап проводился непосредственно в главном цеху ОФ «Распадская», при выполнении 18-го цикла наблюдений. Для определения освещенности использовался люксметр цифровой **testo 545** – высокоточный, надежный прибор, предназначенный для измерения освещенности на рабочих местах (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 - Цифровой люксметр testo 545 и инварная штрихкодová рейка

Он может быстро измерить и распечатать значения освещенности. Точность измерений 1 Люкс, предел допускаемой основной относительной погрешности 8%. Прибор сертифицирован и имеет свидетельство о поверке.

Для выполнения измерения цифровому нивелиру Trimble DiNi требуется всего лишь 30-сантиметровый сегмент штрихкодовой рейки — наименьшая величина по сравнению с другими производителями геодезических приборов [154]. Малый участок измерения позволяет:

- сократить количество необходимых станций на 20%, поскольку закрывающая рейку растительность или сильно пересеченная местность оказывают меньшее влияние на нивелирование с Trimble DiNi;
- выполнять нивелирование в условиях недостаточной освещенности, поскольку потребуются подсвечивать лишь небольшую часть рейки;
- обеспечить более высокую точность в результате снижения влияния земной рефракции [178].

На первом этапе прибор исследовался в темном помещении (рисунок 3.5), освещенность в помещении колебалась от 2 до 5 люкс. Инварная кодовая рейка была жестко закреплена и всегда находилась в неподвижном состоянии. Цифровой нивелир Trimble DiNi 12 устанавливался в 5, 10, 15 и 20 метрах от рейки. При каждом положении прибора определялись отчеты по рейке при трех значениях освещенности 50, 25 и 15 люкс. При каждом освещении производилось избыточное количество измерений и определялся предел освещенности.

При каждом положении выполнялось 20 измерений цифровым нивелиром. Рейка подсвечивалась фонарем с двумя лампами дневного света. Рекомендуется использовать лампы дневного света, зафиксированные сбоку от рейки. Если лампа фиксируется на высоте визирования, то рекомендуется использование 10 Вт лампы. Не рекомендуется использование лампы с направленным светом, так как это может привести к неравномерному освещению рейки, образованию теней на рейке, что в свою очередь повлечет ошибку в измерениях.

В результате сильно яркого освещения происходит засвечивание штрихкодовой рейки, что приводит к максимальному изменению отсчетов по рейке, равному при $S=41$ м: при полном освещении — 0,1 мм; при полном освещении и свете фонаря — 0,2 мм; при свете фонаря — 0,07 мм. Из этого следует,

что при выполнении нивелирования цифровым нивелиром необходимо выполнять нивелирование или при естественном освещении, или при искусственном [122].



Рисунок 3.5 - Исследование цифрового нивелира в лабораторных условиях

Для достижения требуемой точности нивелирования внутри помещения со слабой освещенностью необходимо устанавливать дополнительное освещение, либо обеспечивать нивелирный комплект автономным освещением [24]. Предел освещенности – минимальное значение освещенности рейки искусственным источником света, при котором цифровой нивелир регистрирует измерения.

По результатам измерений вычислены средние квадратические ошибки измерения превышений. Значения средних квадратических ошибок в мм, полученные при работе цифрового нивелира Trimble DiNi 12, приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - СКО измерения превышений (мм)

Освещенность, люкс	Расстояние от нивелира до рейки, м.			
	5	10	15	20
50	0,04	0,02	0,03	0,06
25	0,08	0,02	0,04	0,09
15	0,12	0,04	0,05	0,19

Из таблицы 3.4 видно, что с уменьшением освещённости растёт СКО измерений. Расстояние незначительно влияет на СКО. По этим данным можно сделать вывод, что при нормальной работе цифрового нивелира в производственном цехе достаточна освещенность больше 20 люкс.

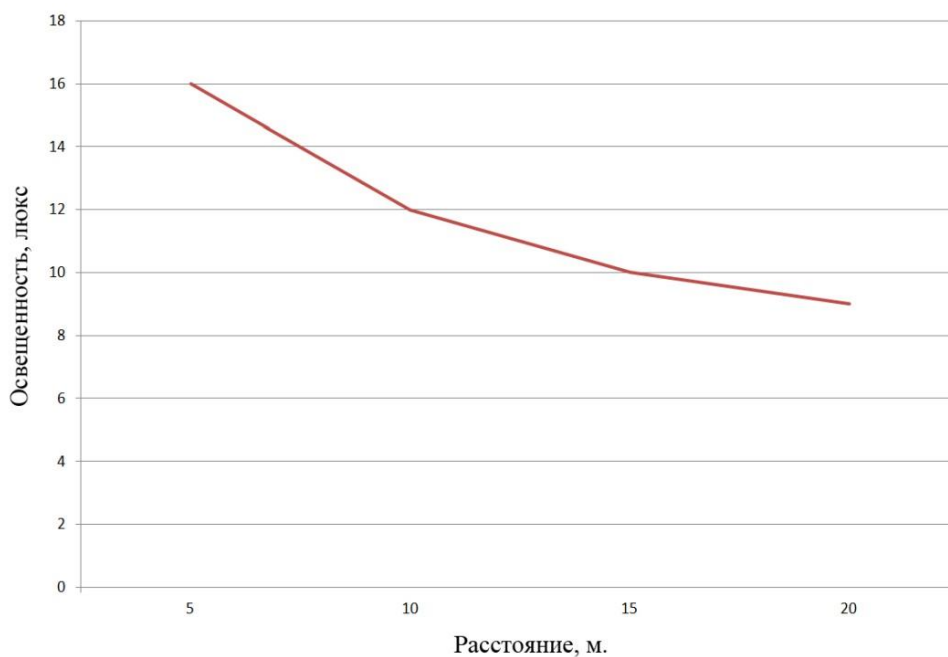


Рисунок 3.6 - График предела освещенности, при котором работает цифровой нивелир при разных расстояниях от нивелира до рейки

При определении порога освещенности работы цифрового нивелира была выявлена интересная тенденция. С увеличением расстояния между цифровым нивелиром и рейкой требуется меньше освещать рейку, чтобы прибор регистрировал отчет. Это обусловлено тем, что при большем расстоянии нивелир

считывает коды с большого участка на штрихкодowej рейке, при этом точность измерений повышается. На рисунке 3.6 представлен график зависимости предела освещенности от расстояния.

При выполнении исследований в лабораторных условиях была замечена еще одна особенность – чем выше освещенность цифрового нивелира, тем меньше значение порога освещенности. При выполнении исследований, представленных в таблице 3.4 и рисунке 3.6, освещение прибора было постоянным [88, 91].

Исследованиями установлено [123], что при выполнении нивелирования в условиях недостаточной освещенности предлагается для обеспечения равномерного освещения штрихкодowej рейки применять светодиоды. В этом случае значительно упростится работа помощника геодезиста и основное внимание сосредоточится только на удержание рейки в отвесном положении.

3.5 Выводы по третьему разделу

К недостаткам использования программного обеспечения, заложенного в цифровые нивелиры, можно отнести то, что оно не позволяет выполнять полную оценку точности определяемых отметок в нивелирных ходах. Кроме того, не представляется возможным производить математическую обработку нивелирных сетей.

В ПО КРЕДО ДАТ и Нивелир нет возможности выполнять уравнивание и оценку точности свободных нивелирных сетей без исходных пунктов. В этом случае, хотя был один пункт должен быть исходным с заданной высотой. Однако, от назначения того или иного пункта в качестве исходного, зависят оценки отметок определяемых пунктов.

Для анализа устойчивости опорных пунктов и повышения надежности принятия решения предложен способ выбора наиболее стабильного исходного пункта по высоте на основе ноль-свободных нивелирных сетей. Математический аппарат уравнивания и оценки точности ноль-свободных нивелирных сетей

положен в основу определения вертикальных перемещений грунтовых реперов при исследовании деформаций инженерных сооружений.

В большинстве способов анализа стабильности по высоте, в том числе и в способах И. В. Рунова и КРЕДО, каждый контрольный пункт поочередно принимается в качестве опорного, для которого вычисляется коэффициент устойчивости. Это приводит к увеличению объёма расчётов, особенно при анализе устойчивости большого количества опорных пунктов или осадочных марок.

Отличием способа анализа стабильности является расчёт осадок по отметкам или одноименным превышениям только связующих реперов нивелирной сети. В этом случае исключается необходимость перебора всевозможных связей между пунктами, устраняются излишние вычислительные процедуры, что не влияет на качество окончательных результатов. Вместе с тем позволяет расширить существующую аналитику для выбора устойчивых реперов и повысить надежность принятия решения.

Выполнено лабораторное исследование работы цифрового нивелира Trimble DiNi 12 в условиях недостаточной освещенности. Первый этап проводился в лабораторных условиях – в темном помещении. Установлено, что для нормальной работы цифрового нивелира в производственном цехе необходимо освещать штрихкодovou рейку больше 20 люкс.

При определении порога освещенности штрихкодовой рейки была выявлена следующая тенденция. С увеличением расстояния с 5 до 20 м между цифровым нивелиром и штрихкодовой рейкой требуется меньше освещать рейку, чтобы прибор регистрировал отчет. Это обусловлено тем, что при большем расстоянии прибор считывает коды с большого участка на штрихкодовой рейке.

4 ПРИМЕНЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

4.1 Проектирование и создание линейно-угловой сети в горных районах Кемеровской области

Сегодня при увеличении интереса к строительству горнолыжных комплексов все больше строительных работ ведется в условиях горной местности. Одним из типов таких строящихся объектов являются линейные сооружения [157]. К линейным сооружениям относятся канатные дороги. Основные геометрические параметры канатных дорог – расстояние, перепад высот между соседними опорами, верхней и нижней станциями канатной дороги [53].

В качестве объекта исследования выступает проектируемая сеть полигонометрии 1 и 2 разряда на горнолыжном комплексе г. Зеленая в п.г.т. Шерегеш Таштагольского района Кемеровской области [95, 97].

Участок работ находится в 1,5 км на северо-восток от п. г. т. Шерегеш. Объект расположен на склонах г. Зеленая, перепад высот более 700 м. Местность горная, поросшая сплошным смешанным хвойным таежным лесом с подлеском. Из растительности преобладают ель, пихта, кедр, береза и осина. По сложности выполнения геодезических работ весь участок относится к III категории сложности.

Для проектирования сети и определения априорной, т. е. ожидаемой оценки использовалась программа КРЕДО ДАТ (рисунок 4.1).

Перед проектированием сетей был выполнен сбор картографического материала на заданный участок местности. В качестве основы была выбрана карта масштаба 1:25 000 (1985 г.) Эта карта была привязана и подгружена в программу в качестве подложки.

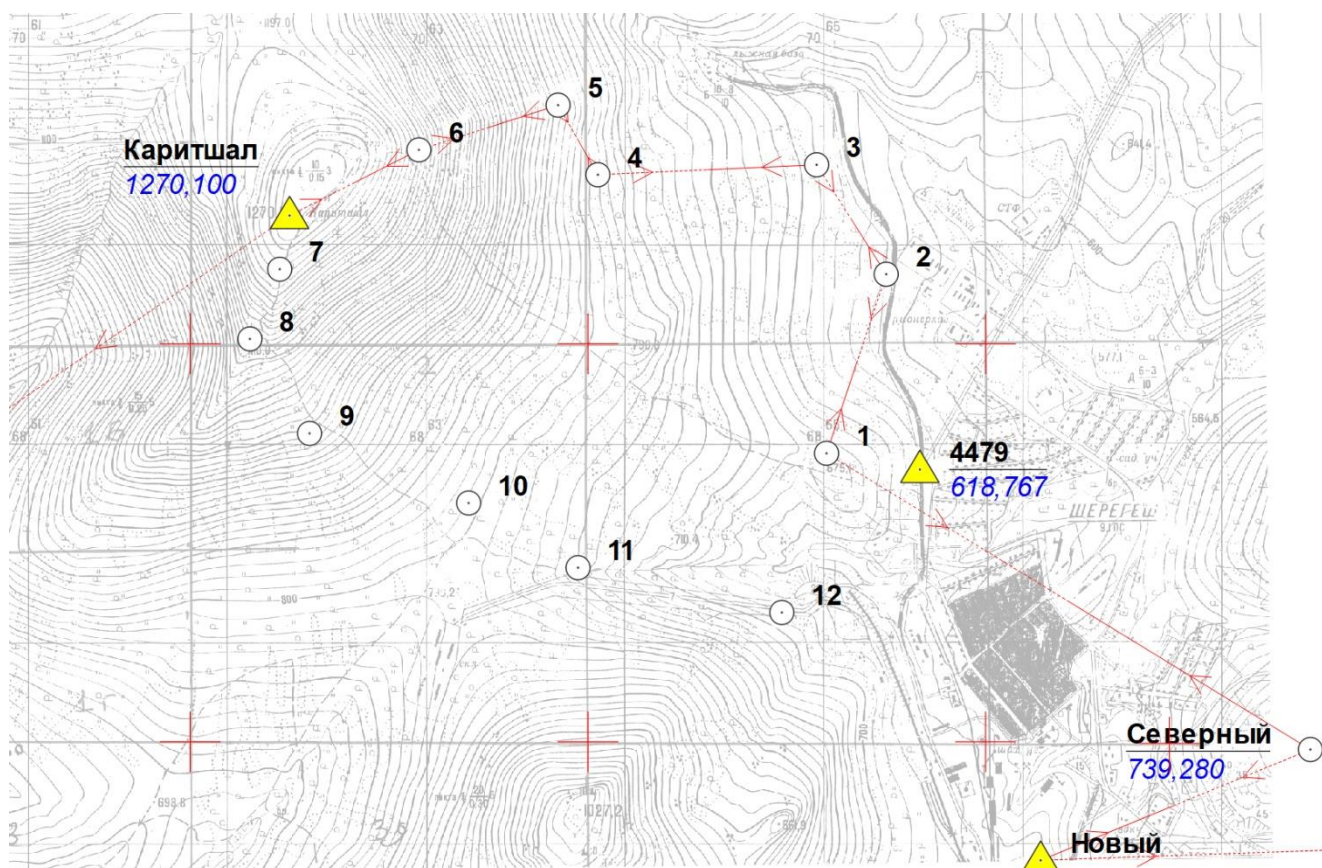


Рисунок 4.1 - Проект линейно-угловой сети в программе КРЕДО ДАТ

Для оптимального проектирования сетей полигонометрии 1 и 2 разряда на горнолыжном комплексе г. Зеленая была создана виртуальная модель местности (рисунок 4.2). Для создания цифровой модели рельефа, которая является каркасом для виртуальной модели, взята за основу топографическая карта масштаба 1:25000.

Горизонтالي были полуавтоматически оцифрованы, и каждой горизонтали была задана высота. Цифровая модель рельефа была покрыта растровым изображением космического снимка данной территории, и были созданы 3Д-модели пунктов геодезической сети 1 и 2 разряда. Полученная виртуальная модель местности позволяет запроектировать планово-высотные сети с учетом специфики рельефа сложной горной местности.

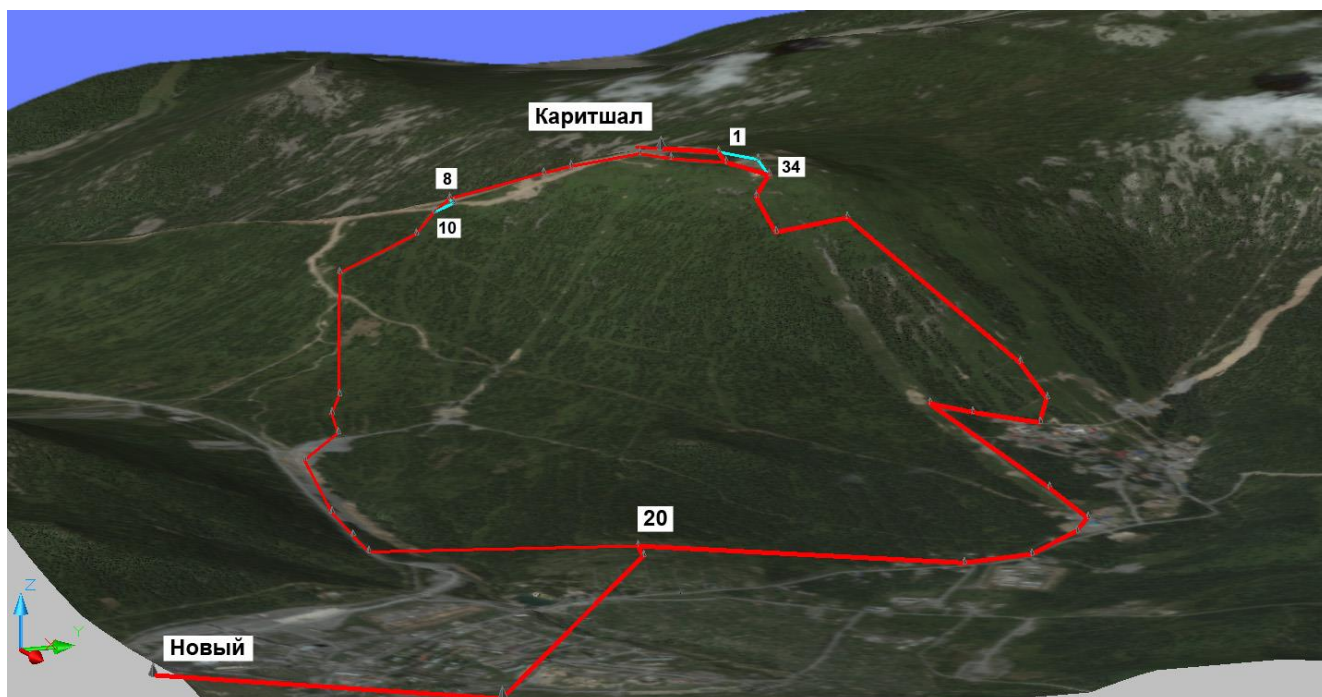


Рисунок 4.2 – Виртуальная модель местности и проект линейно-угловой сети в 3D

Первым этапом работы является определение эталонной сети полигонометрии 1 и 2 разрядов в программе. Для этого были установлены следующие априорные СКО плановых измерений:

1. СКО углов в 1 и 2 разрядах полигонометрии - 5" и 10";
2. СКО направлений – 3,5" и 7,1";
3. СКО дирекционных углов – 1,5" и 3,5";
4. СКО линий (без ppm) – 0,020 м.

Были учтены поправки – редуцирование линий и направлений на плоскость, линий на уровень моря и линий, и направлений на эллипсоид, а также баланс весов угловых и линейных измерений, равный 50% [2].

В слабом месте сети были введены случайные угловые и линейные погрешности (положительные и отрицательные значения), и была выполнена предобработка и уравнивание.

Будем считать, что результаты измерений содержат только случайные ошибки и относятся к равноточным измерениям.

В результате всех этих манипуляций были получены следующие результаты: данные по полигонометрии 1 разряда превышают данные 2 разряда по СКО

направлениям ровно в два раза, а СКО по линиям - одинаковы, это можно определить по начальным установкам. Поэтому анализировать данные будем только по полигонометрии 1 разряда.

Результаты моделирования по направлениям и линиям представлены соответственно в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 - Моделирование линейно-угловой сети по направлениям

Погрешность (сек)	СКО		СКО един. веса	СКО NE	Относит. невязка	Относ. СКО линии
	направл. (мм)	линии (сек)				
210	23,7	154	6,67		1:50 000	1:7 200
190	21,3	140	6,03		1:56 000	1:7 800
171	19,2	126	5,43		1:65 000	1:8 700
153	17,2	112	4,86		1:73 000	1:10 000
136	15,3	100	4,32		1:82 000	1:11 000
110	12,2	80	3,46		1:93 000	1:14 000
95	10,7	70	3,02		1:106 000	1:16 000
81	9,1	60	2,57		1:123 000	1:18 000
68	7,6	50	2,16		1:143 000	1:22 000
56	6,3	41	1,78		1:170 000	1:27 000
45	5,1	33	1,43	60	1:204 000	1:33 000
35	3,9	26	1,12	46	1:250 000	1:42 000
26	2,9	19	0,83	35	-	1:58 000
18	2,1	14	0,58	24	-	1:79 000
11	1,3	8	0,37	15	-	1:138 000
5	0,7	4	0,19	8	-	1:275 000
0	0,4	3	0,11	5	-	1:367 000
-5	0,7	4	0,19	8	-	-
-11	1,3	8	0,37	15	-	-
-18	2,1	14	0,58	24	-	-
-26	2,9	19	0,83	35	-	-
-35	3,9	26	1,12	46	-	-
-45	5,1	33	1,43	60	-	-

Жирным шрифтом выделены границы априорных ошибок по направлениям.

Таблица 4.2 - Моделирование линейно-угловой сети по линиям

Погрешность (мм)	СКО		СКО един. веса	СКО NE	Относит. невязка	Относ. СКО линии
	направл. (мм)	линии (сек)				
405	7,7	50	2,12	90	1:49 000	1:22 000
340	6,5	43	1,84	76	1:57 000	1:25 600
280	5,4	36	1,53	64	1:69 000	1:30 500

225	4,6	30	1,30	54	1:80 000	1:36 700
175	3,5	23	0,99	41	1:105 000	1:47 900
130	2,7	18	0,76	31	1:137 000	1:61 000
90	1,9	13	0,55	23	1:187 000	1:85 000
55	1,3	9	0,37	15	1:270 000	1:122 000
25	0,8	5	0,22	9	1:450 000	1:220 000
0	0,4	3	0,11	5	-	1:367 000
-25	0,3	2	0,10	4	-	1:550 000
-55	0,8	5	0,22	9	-	
-90	1,4	9	0,40	17	-	-
-130	2,1	14	0,60	25	-	-
-175	2,9	19	0,83	35	-	-
-225	4,1	27	1,15	48	-	-

Жирным шрифтом выделены границы априорных ошибок по линиям.

В таблицах 4.1 и 4.2 отражены СКО направлений, линий, единицы веса и планового положения пункта в слабом месте, относительные линейные невязки (до уравнивания) и относительные СКО линий.

Проанализировав эти данные, мы можем сделать следующие выводы:

1. При моделировании по случайным угловым погрешностям (таблица 4.1) полученные СКО направлений и линий превысили априорные (установленные) при ошибке определения направления 35";

2. При моделировании по случайным линейным погрешностям (таблица 4.2) полученные СКО направлений и линий превысили априорные (установленные) при ошибке 175 мм;

3. Границы от 35" до -35" по направлениям и от 175 мм до -175 мм по линиям подтверждаются и по данным СКО единицы веса;

4. Установленные априорные СКО направлений и линий являются «жестковатыми» рамками, относительные погрешности (до уравнивания) точнее допустимых в несколько раз, это видно в таблице 4.1 и таблице 4.2 (сл. погрешности от 45" до 210" по направлениям и 225 мм до 410 мм по линиям).

Приняв условно случайные угловые погрешности и СКО углов линий за ряд равноточных результатов измерений, была проведена обработка этих рядов по формулам теории погрешности измерений. Из теории ошибок измерения известно, что для уменьшения влияния на результаты измерений случайных

погрешностей достаточно выполнить 5–10 измерений одной и той же величины [62]. Дальнейшее увеличение числа измерений не даст заметного повышения точности значения арифметической середины. Не зависимо от этого, в программе реализована оценка точности ряда измерений в любом количестве измерений.

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. Современное ПО – мощный инструмент для выполнения математического моделирования в различных вариантах с любыми геодезическими плановыми и высотными сетями;

2. Установленные априорные СКО направлений и линий можно менять и анализировать полученные результаты конкретно для любой исследуемой линейно-угловой сети. Также можно «связывать» их с относительными СКО линий;

3. При моделировании по направлениям и по линиям СКО направлений и линий приблизительно одинаковы при угловых и линейных случайных погрешностях (таблица 4.1 и таблица 4.2). В дальнейшем можно моделировать только по направлениям или по линиям, упрощая при этом обработку;

4. Допустимые отклонения (Δ пред) равны фактическим предельным СКО направлений и линий (таблица 4.1 и таблица 4.2);

5. Выполнено моделирование по нивелированию IV класса (результаты не приведены в главе). Фактические СКО высотной сети превысили априорную СКО (8 мм) при случайной погрешности, равной величине высотной невязки хода;

6. Обнаружена следующая зависимость: СКО линий больше СКО направлений в 6,6 раз. Этот вывод подтверждается рядами данных, приведенных в трех таблицах. Эту связь можно использовать для вычислений.

Для представленной линейно-угловой сети был выполнен расчёт ошибок измерений длин сторон и углов по формулам (2.11) и (2.12). Расчёт представлен в главе 2.2. Полученные результаты подтверждают параметры, полученные с помощью программы.

Полученные результаты дают необходимую информацию для составления программы работ, обеспечивающей требуемую точность результатов при

минимальных затратах средств и времени, для рационального выбора геодезического оборудования и т. д. Математическое моделирование, предрасчет точности наряду с использованием компьютерных технологий позволяет автоматизировать вычисления и обработку информации.

4.2 Комплекс наблюдений за деформациями фундаментов ОФ Распадская с 2004 г. по настоящее время

Геодезический контроль является составной частью системы технического контроля зданий, сооружений и оборудования промышленных предприятий. Поэтому постановка геодезического контроля должна учитывать основные принципы, понятия и методы этой системы применительно к специфике объектов и параметров технического контроля, а также особенностям применения геодезических методов и средств измерений [32].

Систематические наблюдения за деформациями инженерных сооружений имеют научное и практическое значение [32, 85, 125]. Научное значение заключается в том, что полученные геодезическими инструментами данные о величинах деформаций, а также об их динамике, в зависимости от разнообразных техногенных и природных условий, позволяют уточнить методы расчета оснований, установить величины предельно допустимых деформаций и их неравномерности для различных видов грунтов и групп наблюдаемых объектов. Практическое значение заключается в том, что полученные сведения позволяют обеспечить долговечность рассматриваемых объектов, эксплуатационную надежность, а также предотвратить аварийные случаи и пожароопасные ситуации [72, 75].

Примером такого контроля служит геодезический мониторинг при строительстве и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» (рисунок 4.3) с целью предупреждения, своевременного выявления и прекращения опасного развития деформации сооружения [89, 90, 98].



Рисунок 4.3 - Строительство и эксплуатация ОФ «Распадская» в 2004 и 2010 гг.

Площадка обогатительной фабрики находится на территории шахты «Распадская» - крупнейшая подземная шахта в России в г. Междуреченск Кемеровской области. Производственная мощность составляет 10,5 млн. т. Фабрика построена в соответствии с высокими инженерными стандартами и оснащена высококачественным технологическим оборудованием для обогащения углей шахты «Распадская», шахты «МУК-96» и разреза «Распадский».

Обогатительная фабрика «Распадская» использует прогрессивную обогатительную технологию с замкнутой водно-шламовой схемой. Обогатительная фабрика представляет собой экологически безопасное производство - на ней не имеется установок, выбрасывающих загрязняющие вещества, и отсутствует гидроотвал.

Для определения деформаций фундаментов колонн, согласно техническому заданию, применялось нивелирование II класса. Наблюдения за деформациями начаты в июле 2004 г., в период строительства циклы выполнялись ежемесячно, и с 11 цикла - ежегодно, в итоге на сегодняшний момент выполнено 23 циклов.

Первые 12 циклов нивелирования II класса выполнялись прибором Ni 007 фирмы Carl Zeiss. С 13-го цикла нивелирование II класса выполнялось высокоточным цифровым нивелиром DiNi 12 компании Trimble.

Перед выполнением наблюдений был произведен автоматический предрасчет точности в программы КРЕДО ДАТ, которая позволяет интерактивно

запроектировать и оптимизировать сеть в графическом режиме, и отображает эллипсы ошибок по высоте (рисунок 4.4).

После выполнения нивелирования II класса по опорному полигону были сравнены фактические СКО высотного положения пунктов с проектными. Результаты сравнения показывают, что погрешности высотного положения пунктов практически не отличаются. Такие же результаты получились по осадочным маркам.

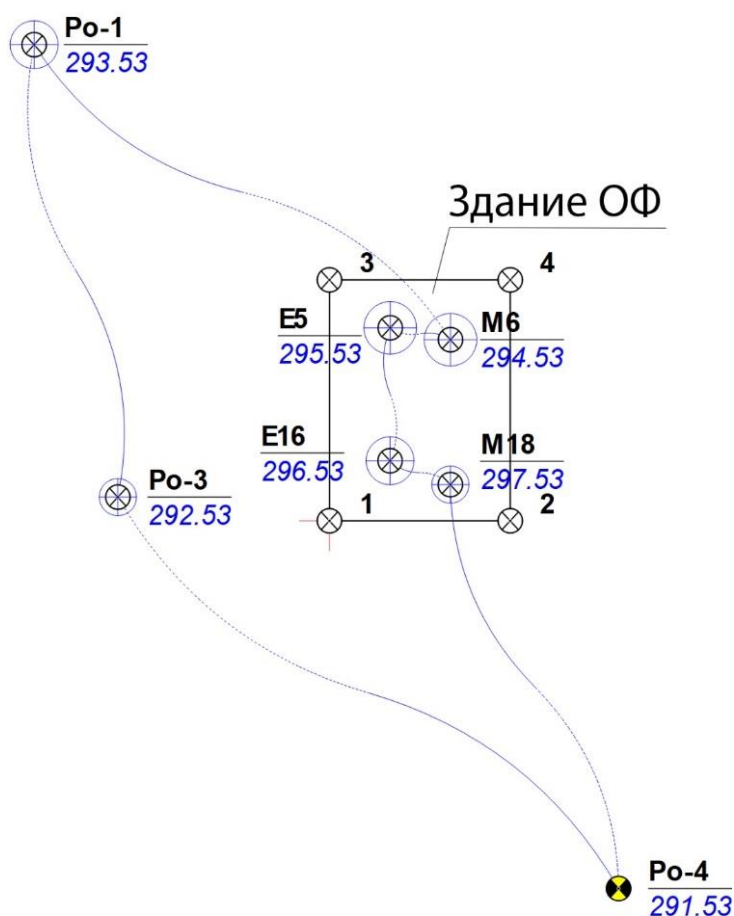


Рисунок 4.4 - Схема проекта нивелирного хода II класса

В первых циклах наблюдений исходными реперами служили пункты строительной сетки, затем в июле 2005 г. была выполнена закладка четырех опорных реперов. Опорные репера заложены на глубину: Po-1 = 18,5 м, Po-2 = 15,4 м, Po-3 = 17,7 м, Po-4 = 19,4 м. Нижние концы реперов установлены в коренных породах и зацементированы.

Перед измерением каждого цикла выполнялось нивелирование опорного полигона. Опорный полигон уравнивался как свободный с исходным репером Ро-4.

Отметим, что в процессе работ цифровой нивелир Trimble DiNi 12 использовался в условиях недостаточной освещенности и наличия вибраций. В процессе выполнения работ в темных участках объекта рейки подсвечивались искусственным источником света (рисунок 4.5).

При усиленной вибрации, когда снять отсчет было невозможно, менялось местоположение штатива.



Рисунок 4.5 – Штрихкодová рейка в условиях недостаточной освещенности

Результаты нивелирования опорного полигона с 17 по 23 цикл наблюдений приведены в таблице 4.3. В приложении А представлены результаты нивелирования опорного полигона с 11 по 23 цикл наблюдений.

Таблица 4.3 - Нивелирование опорного полигона

Название секции	Превышения по годам (мм)							
	2011 (17ц)	2012 (18ц)	2013 (19ц)	2014 (20ц)	2015 (21ц)	2016 (22ц)	2018 (23ц)	Среднее
Po1-Po3	-15272,7	-15272,7	-15271,4	-15273,7	-15273,1	-15273,0	-15273,3	-15272,8
Po3-Po4	-447,4	-447,9	-448,5	-447,4	-447,0	-446,9	-447,8	-447,9
Po4-Po1	15720,3	15719,2	15720,3	15720,6	15721,0	15721,1	15720,4	15720,1
Невязки	1,1	-1,3	0,4	-0,5	0,8	1,1	-0,7	0,7

Допустимая невязка по высоте в опорном полигоне равна $\pm 6,2$ мм.

Вычислены средние квадратические погрешности превышений по циклам и секциям по измеренным превышениям (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - Средние квадратические погрешности превышений по циклам и секциям

Название секции	Отклонение превышений от среднего значения (мм)											
	2007 (13ц)	2008 (14ц)	2009 (15ц)	2010 (16ц)	2011 (17ц)	2012 (18ц)	2013 (19ц)	2014 (20ц)	2015 (21ц)	2016 (22ц)	2018 (23ц)	СКО секции
Po1-Po3	-3,6	-1,5	-0,3	0,8	0,1	0,1	1,4	-0,9	-0,3	-0,2	-0,5	$\pm 1,6$
Po3-Po4	0,6	0,1	0,8	-0,4	0,5	0,0	-0,6	0,5	0,9	1,0	0,1	$\pm 1,1$
Po4-Po1	-2,4	-0,5	-0,3	0,2	0,2	-0,9	0,2	0,5	0,9	1,0	0,3	$\pm 2,5$
СКО цикла	$\pm 2,5$	$\pm 0,9$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,9$	$\pm 0,7$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 0,3$	

Из приложения А видно, что результаты 12 цикла наблюдений опорного полигона (невязка по высоте равна +5,9 мм, СКП измеренных превышений максимальная) «выпадают» из всех циклов. Поэтому при дальнейшей обработке данных результаты этого цикла не использованы.

После нивелирования опорного полигона выполнялись работы по второй ступени (построение локальных сетей и ходов для контроля деформаций фундаментов главного корпуса), т. е. выполнялось нивелирование II класса по осадочным маркам [34]. Для работы использовались инструменты, приведенные выше. Результаты по осадкам на каждую ось приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Данные по осадкам по осям главного корпуса

Наименование Оси	Ср. осадка (мм)	Макс. Осадка (мм)	Мин. осад. (мм)	Колонна с макс. осадкой	Колонна с мин. осадкой
А	-44,4	-55,3	-34,1	А12	А3
Е	-38,5	-49,1	-27,7	Е16	Е5
М	-23,5	-31,8	-15,4	М13	М3
Т	-10,2	-19,2	-5,2	Т3	Т20

Из таблицы 4.5 можно сделать вывод, что осадки по осям неравномерны, что вызывает опасения по состоянию фундаментов всего корпуса здания. Максимальная предельно допустимая осадка для данного типа зданий равна 15 см [133]. Полученные осадки не превышают предельно допустимого значения.

По всем циклам вычислены годовые скорости осадок, которые сведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Годовые скорости осадок в мм/год

Циклы	А	Е	М	Т
11ц-7ц (2005г)	-17,4	-16,3	-2,8	-1,5
13ц-7ц (2007г)	-10,5	-8,5	-3,0	-1,5
14ц-7ц (2008г)	-8,7	-6,7	-3,9	-2,1
15ц-7ц (2009г)	-8,3	-7,4	-4,2	-2,3
16ц-7ц (2010г)	-7,5	-6,1	-3,5	-2,7
17ц-7ц (2011г)	-6,5	-5,6	-3,4	-1,5
18ц-7ц (2012г)	-5,0	-5,6	-1,0	-0,2
19ц-7ц (2013г)	-0,9	0	0	0
20ц-7ц (2014г)	0	0	-2,3	-0,3
21ц-7ц (2015г)	-2,6	-3,4	0	-0,4
22ц-7ц (2016г)	0	0	-2,0	0
23ц-7ц (2018г)	0	-0,2	-0,4	-0,8

Годовые скорости осадок по осям А и Е снижаются. Значения средних осадок и скоростей их изменений во времени характеризуют общую для строительного и эксплуатационного периодов закономерность развития наблюдаемого процесса. Осадки фундаментов главного корпуса обогатительной фабрики стабилизируются.

На период изысканий на площадке на глубине 0,4м встречены антропогенные грунтовые воды в насыпных грунтах. Строительство главного корпуса велось на спланированной площадке. В результате этого нарушен естественный сток атмосферных осадков со склона, что вероятно и приводит к скоплению воды на поверхности суглинков, отсыпанных галечником. Это является одной из возможных причин неравномерных осадок здания. Также места с максимальной осадкой (ось А марки 10–13) больше всего нагружены технологическим оборудованием, которое создаёт большие динамические нагрузки (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – ОФ «Распадская» места с максимальной осадкой

Результаты нивелирования цифровым нивелиром обрабатывались в программе КРЕДО Нивелир. При обработке в программе была введена поправка за компарирование реек, и была построена схема нивелирных ходов. Программа позволяет импортировать данные, которые регистрирует цифровой нивелир DiNi 12, что значительно экономит время, по сравнению с оптическим нивелиром Ni 007.

Для визуального представления осадочных процессов предлагается создавать деформационную поверхность внутри исследуемого объекта, т. е. поверхность, Z-координата которой в данной точке зависела от выбранного типа поверхности (перемещение за период, скорость осадки) [57]. На созданной поверхности осадки отображаются при помощи изолиний и градиентной заливки, что улучшает зрительное восприятие модели (рисунок 4.7).

Цифровое моделирование позволяет оценить и улучшить проектное решение геодезического мониторинга. Геодезический деформационный мониторинг – это система с СКО измерений около 1 мм. Предельная ошибка измерения является одним из главных критериев проектирования системы геодезического мониторинга [168].

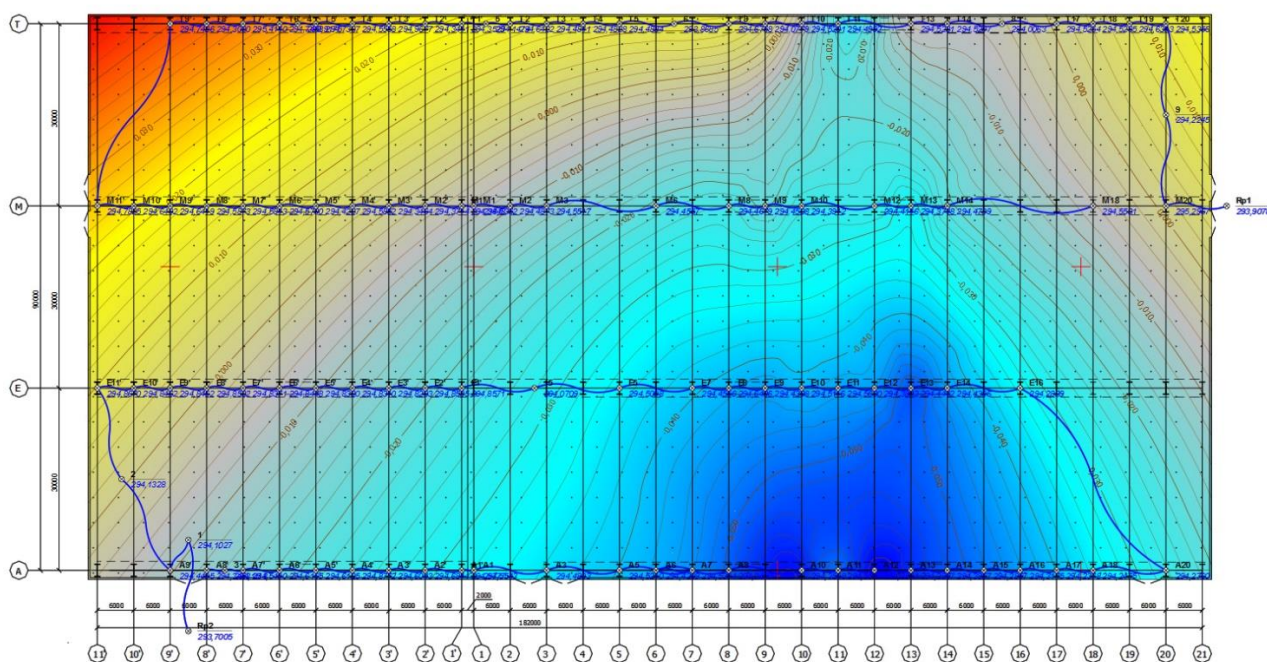


Рисунок 4.7 - Деформационная поверхность в программе КРЕДО Расчёт Деформаций

Сочетание математических методов и современных геоинформационных технологий позволяет выполнить более полный и детальный мониторинг осадок фундаментов. В отличие от обычного моделирования поверхности (триангуляция Делоне) рассматриваемая методика предлагает большое количество средств

пространственного анализа, таких как визуализация распределения данных, выявление трендов, а также определение пространственной автокорреляции [13].

У осадочных марок по результатам геодезических наблюдений за деформациями имеется множество координат и отметок на разные даты измерений. Эти данные импортируются во вкладку результатов наблюдения. При определении координат и отметок интерполяции модели в вычислении средневзвешенного значения участвуют только текущие наблюдения каждого цикла.

На основе принципов трехмерного моделирования с помощью данной системы строится 3D модель осадок. Это позволяет представить более полную картину пространственного состояния наблюдаемого сооружения (рисунок 4.8). При этом рекомендуется устанавливать вертикальный масштаб в 500 раз, превышающий горизонтальный, что позволяет наглядней представить области неравномерных осадок всего исследуемого промышленного здания.

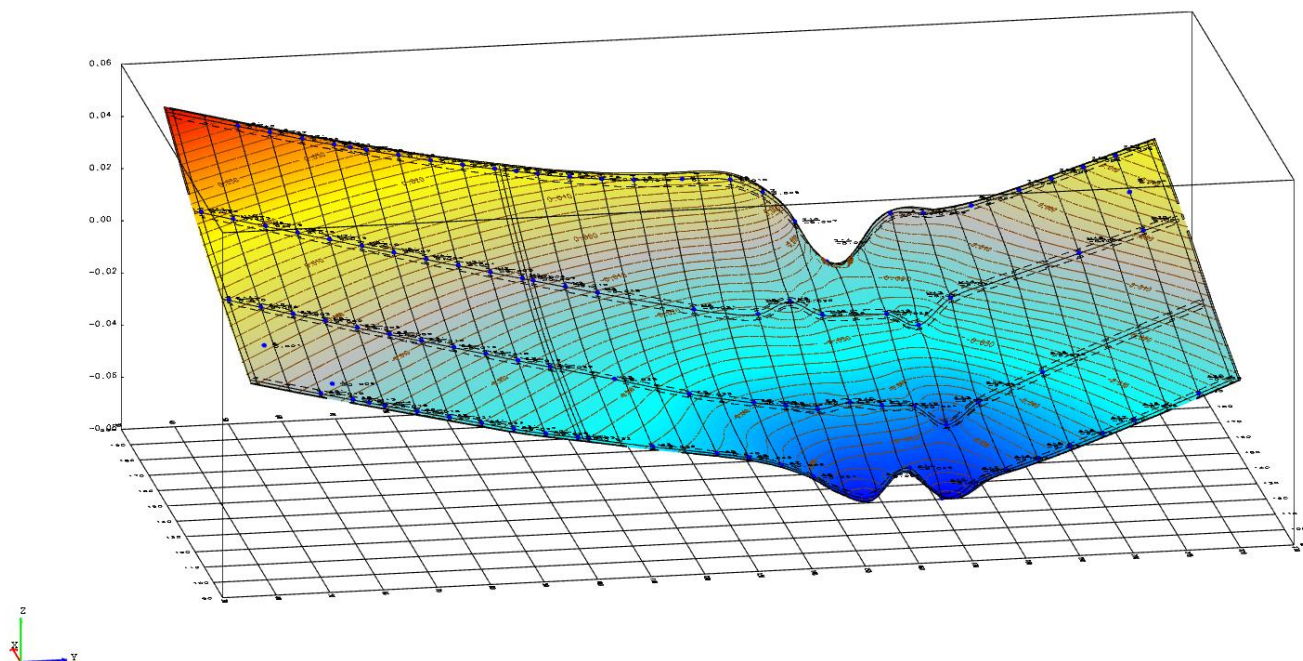


Рисунок 4.8 - 3D модель осадок

Для трехмерной модели есть возможность создания анимации развития осадок во времени. Режим анимации позволяет визуально оценить развитие осадок с течением времени на выбранный период наблюдения.

Деформационные процессы оцениваются в программе по нескольким параметрам, таким как перемещение объекта за период времени, скорость осадки, дилатация и т. д. Для оценки каждого параметра может быть построена деформационная поверхность, моделирующая распределение параметра в области объекта. Эта поверхность имеет полноценное 3D-представление, а также плоское представление в виде градиентной диаграммы и карты изолиний.

Главной особенностью программы КРЕДО Расчёт Деформаций является то, что она может представить деформационную поверхность на любую дату, как на момент заданного цикла, так и на произвольную дату. При этом моментально строится плоская и трехмерная поверхность с градиентной заливкой, что значительно ускоряет процесс анализа результатов многократных наблюдений за деформациями. Можно построить модель интерполяции на дату прогноза, например, на год вперед, и визуализировать её в реальном режиме времени [74, 96].

Строительство и эксплуатация современных инженерных сооружений сопровождаются монтажными и ремонтными работами, поэтому часто возникает проблема - уничтожение осадочных марок. За период эксплуатации первой очереди обогатительной фабрики «Распадская» с 2004 по настоящее время сохранились 37 из 80 осадочных марок. Геостатические методы интерполяции позволяют представить более полную картину пространственного состояния наблюдаемого сооружения и позволяют вычислять значения осадки утерянных марок со средней квадратической ошибкой 1,35 мм [12].

Обогатительная фабрика «Распадская» и многие другие производственные здания [11] и сооружения представляют объекты повышенной опасности, поэтому трудно переоценить важность их геодезического контроля, который позволяет вовремя принять меры для предотвращения крупных аварий. Это особенно

актуально для Кемеровской области, где сосредоточено большое количество промышленных объектов.

4.3 Применение методики геодезического контроля при наблюдениях за деформациями исторических сооружений

Спасо-Преображенский собор – один из памятников истории Кузбасса, единственный памятник культовой архитектуры конца XVII — начала XIX веков. Собор находится в Кузнецком районе г. Новокузнецка, на правом берегу р. Томь, в 100 м. на северо-восток от железной дороги. Чтобы понять причины деформации Спасо-Преображенского собора необходимо изучить историю данного сооружения. В 1792 году начато строительство каменного здания Спасо-Преображенского собора, которое длилось 43 года. Торжественное освящение собора состоялось 5 августа 1835 г [64]. Толщина стен храма – 1,5 м, а в месте примыкания трапезной и колокольни доходит до 2 м. Длина церкви 43 м. Высота центральной луковицы храма составляет 35 м, а луковицы колокольни – 40 м. Фундаменты собора построены из крепкого бутового камня на цементном растворе. Глубина залегания подошвы фундамента 2,15–2,45 м. Основной строительный материал – кирпич, который укладывался на прочном известковом растворе.

В середине 1930-х годов храм был разрушен и был в бесхозном состоянии до 1990-х годов, с середины 1990-х годов началось восстановление храма, и осенью 2004 года реставрационные работы и роспись собора были завершены (рисунок 4.9). Спустя 15 лет, в 2004 году Спасо-Преображенский собор с почти 400-летней историей своего прихода праздновал свое новое рождение [104].

Наблюдения за кренами и деформациями фундаментов были начаты во время восстановления храма в 2001 году.

Собор подвержен деформациям, которые имеют затухающий характер, но периодически появляются новые трещины на стенах и полу (рисунок 4.10).



Рисунок 4.9 - Спасо-Преображенский собор в 20-х, 50-х, 80-х и 2000-х годах



Рисунок 4.10 - Трещины внутри и снаружи Спасо-Преображенского собора

На исследуемом объекте выполнялись наблюдения за осадками фундаментов собора. Первоначальные наблюдения за высотными деформациями собора

выполнялись в декабре 2001 г. Деформации определялись нивелированием III класса с помощью нивелира ЗН-2КЛ. За исходный репер принят стенной репер № 2502. С этого репера переданы отметки на металлические балки (R1 и R2). Были заложены 18 марок на улице по периметру собора.

Сразу в результате трех циклов наблюдений определена осадка марки №5, которая составляет 10мм за период с декабря 2001г. по октябрь 2002г.

Для дальнейших наблюдений летом 2007 г заложены высотные пункты П1, П2, П3 и П4 в фундаменты фонарей вокруг собора. На них переданы высоты с R1 и R2 для дальнейшей обработки результатов в единой системе высот.

По опорным реперам П1 – П4 выполнено нивелирование II класса замкнутым полигоном. Опорный полигон уравнивался как свободный с исходным репером П1 в 4 и 7 циклах.

Летом 2012 г. заложены девять осадочных марок (с 21 по 29 марки) внутри собора (рисунок 4.11), высоты которых с 2013 по 2020 г. не изменялись и в сводной таблице 4.7 не приведены.



Рисунок 4.11 - Конструкция осадочных марок

В августе 2013 г. заложены три вековых репера: Рп1 внутри ограды собора, а Рп2 и Рп3 - в 200 м от собора в ограде административного здания собора. Вековой репер представляет собой металлическую винтовую сваю диаметром 160 мм, заполненную внутри бетоном и заложенную на 11 м в землю (рисунок 4.12).

Повторно, как в первый раз в 2001г., в августе 2013 г. со стенного репера № 2502 Н=215,416 (II кл.) проложен замкнутый ход нивелирования II класса на вновь заложенные вековые реперы и пункты ПЗ, П4. Высотные положения старых реперов не изменились.



Рисунок 4.12 - Конструкция векового репера

Нивелирование II класса выполнялось нивелиром Ni 007 в начальных циклах и Trimble Dini 12 в последующих.

В процессе нивелирования оптическим нивелиром Ni 007 все отчеты записывались на планшетный компьютер. Предварительно в него заложено множество страниц нивелирного журнала в программе Excel с формулами расчета превышений и постраничного контроля. Вычислений в поле на станции не требовалось, т. к. все ошибки, если они были, сразу были видны. Тестировалось время работы на станции классическим способ и способом с планшетом. Время, затраченное при использовании планшетного компьютера на станции, в два раза меньше. При использовании планшетного компьютера на станции сразу видны усредненные превышения и результаты постраничного контроля. Также в новом методе присутствует и существенная экономия при выполнении постраничного расчета, в новом методе он считается автоматически.

По результатам нивелирования 14 циклов (с 04.12.2001г.) составлена сводная таблица 4.7 осадок по всем осадочным маркам.

Таблица 4.7 - Сводная таблица осадок по всем маркам (мм)

№ мар ок	15.05. 02.	4.10. 02.	19.10. 07.	16.05. 08.	05.12.0 8.	14.06. 09.	18.02.1 2.	03.11.2 012	31.08.2 013	23.06.2 016	21.08. 17.	06.09. 18.	07.11. 19.	ср. по
	(2-1)	(3-1)	(4-1)	(5-1)	(6-1)	(7-1)	(8-1)	(9-1)	(10-1)	(11-1)	(12-1)	(13-1)	(14-1)	марк ам
1	-1,0	-4,0	<<	новая	-0,1	-0,2	-0,3	-1,7	-1,8	-1,0	-0,4	-0,9	-2,6	
2	2,0	-5,0	-21,7	-19,1	-23,0	-22,2	-22,6	-25,8	-25,1	-26,6	-26,1	-27,0		-20,2
3	0,0	-6,0	-22,0	-21,5	-23,0	-23,0	-24,7	-27,0	-28,3	-27,7	-27,6	-27,5	-27,6	-22,0
4	2,0	-4,0	<<	новая	-2,3	-1,7	-1,0	-3,1	-4,5	-3,5	-3,2	-4,5	-4,0	
5	-1,0	-10,0	-30,4	-29,9	-32,8	-31,7	-34,0	-35,9	-36,7	-36,4	-37,1	-37,7	-36,8	-30,0
6	1,0	-5,0	-25,0	-24,2	-27,6	-27,0	-29,7	-31,1	-30,3	-31,2	-32,8	-32,0	-32,4	-25,2
7	-1,0	<<	-19,4	-17,3	-21,4	-19,8	-21,8	-23,0	-22,1	-23,3	-24,1	-24,2		-19,8
8	-3,0	-6,0	-18,4	-17,3	-20,1	-19,0	-20,6	-22,5	-20,5	-20,9	-22,3	-22,3		-17,7
9	0,0	-1,0	-8,6	-7,8	-10,4	-9,4	-9,0	-11,0	-9,0	-8,1	-9,5	-9,1	-9,4	-7,9
10	-3,0	-5,0	-8,2	-7,3	-9,4	-7,0	-7,0	-9,0	-6,4	-6,3	-6,4	-7,0		-6,8
11	0,0	0,0	-2,7	-2,3	-4,8	-2,2	-1,6	-5,4	-2,0	-1,1	-1,3	-0,9	-1,0	-1,9
12	1,0	0,0	-3,5	-2,5	-5,1	-2,9	-2,0	-6,1	-2,6	-1,4	-2,0	-3,0		-2,5
13	0,0	1,0	-3,9	-3,1	-4,1	-2,9	-2,3	-6,2	-3,6	-3,1	-5,6	-3,5	-4,9	-3,2
14	3,0	1,0	-4,8	-3,7	-5,2	-4,4	уничто жен	-2,9	-2,7	-3,2	-4,8	-5,9		
15	0,0	0,0	-5,4	-4,3	уничто жен	<<	<<	-1,9	2,1	-2,0	0,0	-1,0	-2,4	
16	1,0	-2,0	-4,7	-4,4	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<	
17	-4,0	-4,0	-12,3	-11,9	12,8	-11,9	-11,3	-12,0	-12,7	-12,2	-12,4	-14,0		-8,8
18				новая	-0,9	0,1	0,2	-1,2	-0,6	0,0	0,5	0,3	-1,1	

За все время наблюдений за деформациями фундамента собора приведены средние осадки по всем осадочным маркам (по циклам) и осадки марки 5, имеющей максимальные деформации (таблица 4.7).

Уравнивание ходов 2 класса нивелирования выполнялось в программе КРЕДО Нивелир. При использовании оптического высокоточного нивелира выполнялся постраничный контроль, и превышения вводились в программу. При использовании цифрового высокоточного нивелира данные импортировались в программу, разбивались на секции и выполнялось уравнивание. В программе были введены местные плановые координаты марок, и была построена схема по осадочным маркам.

Затем в программу Расчёт Деформации были импортированы файлы niv, в которых содержатся помимо плановых и высотных данных схемы нивелирования с СКО осадочных марок. Также в программу был импортирован dxf файл плана собора для наглядности.

В программе существует способ разделять один объект наблюдений на простые составляющие – блоки, для которых пользователь задаёт требуемые системы координат и графические представления. В нашем случае были созданы 2 блока – в первый входят марки, которые находятся на улице (18 марок, заложены в 2001 году), а во второй блок – марки, которые заложены внутри здания (9 марок, заложены в 2012 году). Программа позволяет отдельно визуализировать как общую картину, так и то, что происходит с осадочными марками внутри собора.

На первом этапе производился анализ устойчивости высотной сети контрольных пунктов. Программа методом простого перебора находит пункт с наиболее устойчивой отметкой и сравнивает превышения относительно этого пункта в начальном и конечном цикле [17]. Если у пользователя сохранились все вычисления в программе Нивелир по всем циклам, то можно очень быстро пересчитать все циклы с исходным наиболее устойчивым репером.

В программе Расчёт Деформаций был выполнен прогноз деформаций на один год вперед. Программа строит график линии тренда развития осадок во времени. Пользователь может задать вид аппроксимирующей функции, выбрав тип линии тренда – линейный, квадратичный либо периодический. Созданные таким образом графики отображают изменение высотного положения одной марки или группы марок (по линии профиля) по результатам наблюдений в разных циклах. Для отдельных марок создается график развития осадок во времени с возможностью прогнозирования на любую дату. Программа предлагает также автоматически рассчитать и построить график наиболее достоверной аппроксимирующей функции (рисунок 4.13). На основании математического анализа система выявляет закономерность распространения осадок, вычисляет коэффициент достоверности и строит линию тренда, которая наиболее достоверно показывает развитие осадочных процессов для данной марки [30]. При построении графика отображается прогнозируемое максимальное и минимальное значение, которое зависит от времени прогноза, чем больше прогноз – тем шире граница значений. В случае если в таблице «Наблюдения» указаны СКО Z , то

значения этих СКО также отображаются на графиках в виде заштрихованных областей.

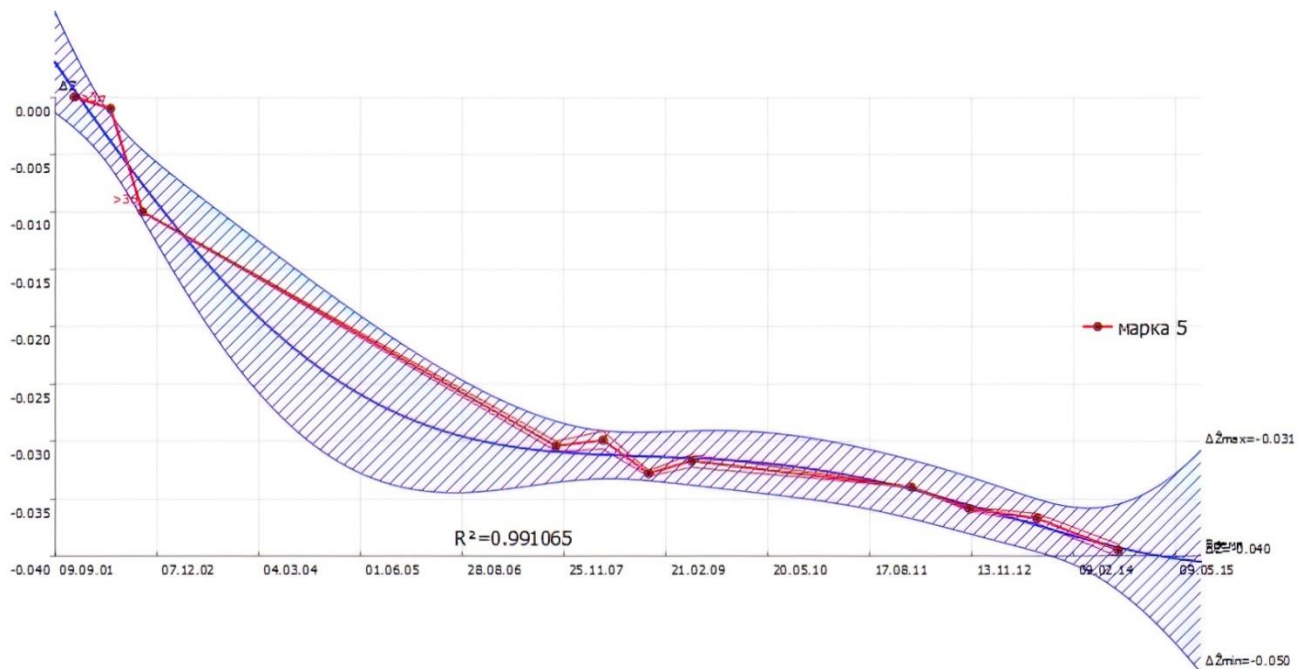


Рисунок 4.13 - Прогнозирование развития осадки марки во времени

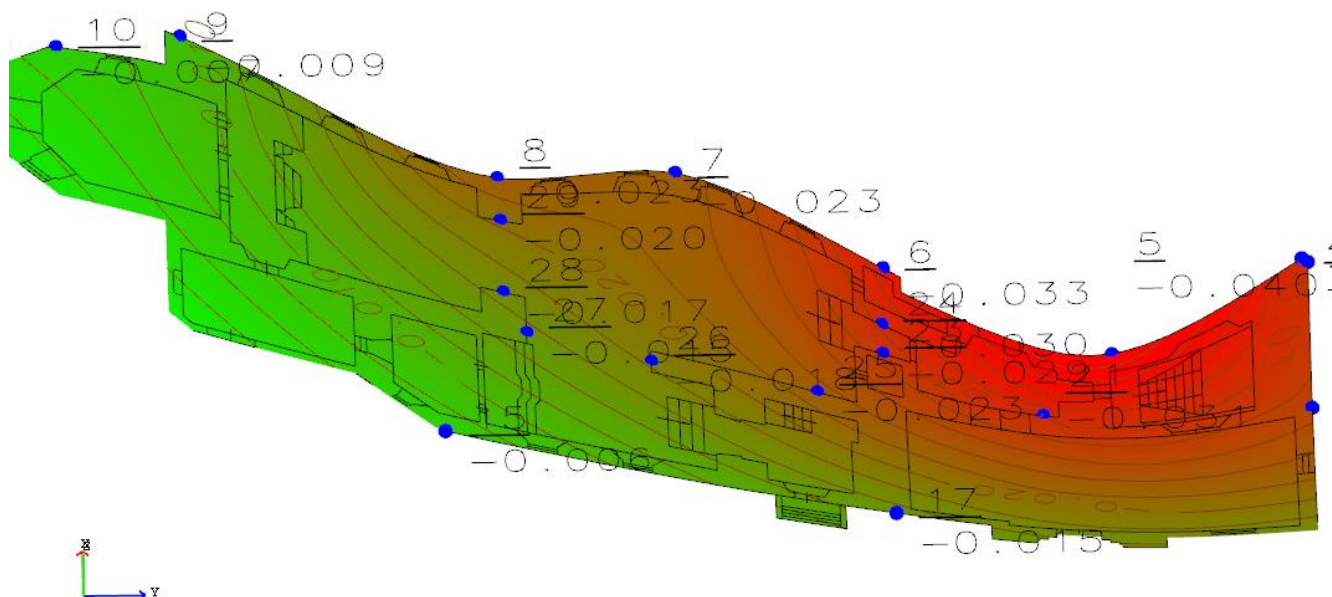


Рисунок 4.14 - Деформационная поверхность осадки Спасо-Преображенского собора

Современные программные продукты позволяют выполнять прогноз на определенную дату. Прогноз можно выполнять как для определённой марки, так и для полной деформационной поверхности исследуемого объекта, это позволяет экономить время.

В качестве эксперимента в августе 2014 г. для каждой марки был определен прогноз на конец августа 2015 года по наиболее достоверно аппроксимирующей функции. Данные введены в программу, и была построена деформационная поверхность (рисунок 4.14).

Наблюдения за кренами и осадками продолжаются с циклом в один год. Средние осадки фундаментов собора и максимальная осадка 5 марки с 2012 г. прекратились. Это указывает на окончание деформаций и стабилизацию их по высоте. Собор был построен на старом фундаменте, который предварительно укреплялся. По словам очевидцев строительства, южная часть фундамента была не укреплена, это подтверждается наблюдениями (марки 5–10). Учитывая уровень ответственности, которую мы несем перед следующим поколением, необходимо и впредь продолжать работы по контролю и обеспечению сохранности нашего исторического наследия.

4.4 Создание пространственных поверхностей по данным освещённости внутри сооружений

Исследование влияния освещенности проводилось на реальных производственных объектах. Во время выполнения 18 цикла наблюдений за деформациями главного корпуса ОФ «Распадской» выполнялись измерения освещенности на каждой марке в месте, где цифровой нивелир берет отчет. Для определения освещенности использовался цифровой люксметр testo 545. В темных местах главного корпуса ОФ «Распадская» определялись значения предела освещённости.

При нивелировании опорного полигона необходимо передать отметку от вековых реперов, которые находятся в 50–100 метрах от главного корпуса, на

узловые марки в цехе. В статье [130] авторы столкнулись с проблемой неодинаковой освещенности разных реек, которая приводит к дополнительным погрешностям. В нашем случае узловые марки находились около высоких ворот, и рейка очень хорошо освещалась естественным источником света, и это не приводило к дополнительным погрешностям. Для решения такой проблемы необходимо проводить опыты либо на других производственных объектах, либо в специальных лабораторных условиях.

По результатам освещенности на каждой колонне была создана трехмерная модель освещенности по всей площадке главного корпуса (рисунок 4.15).

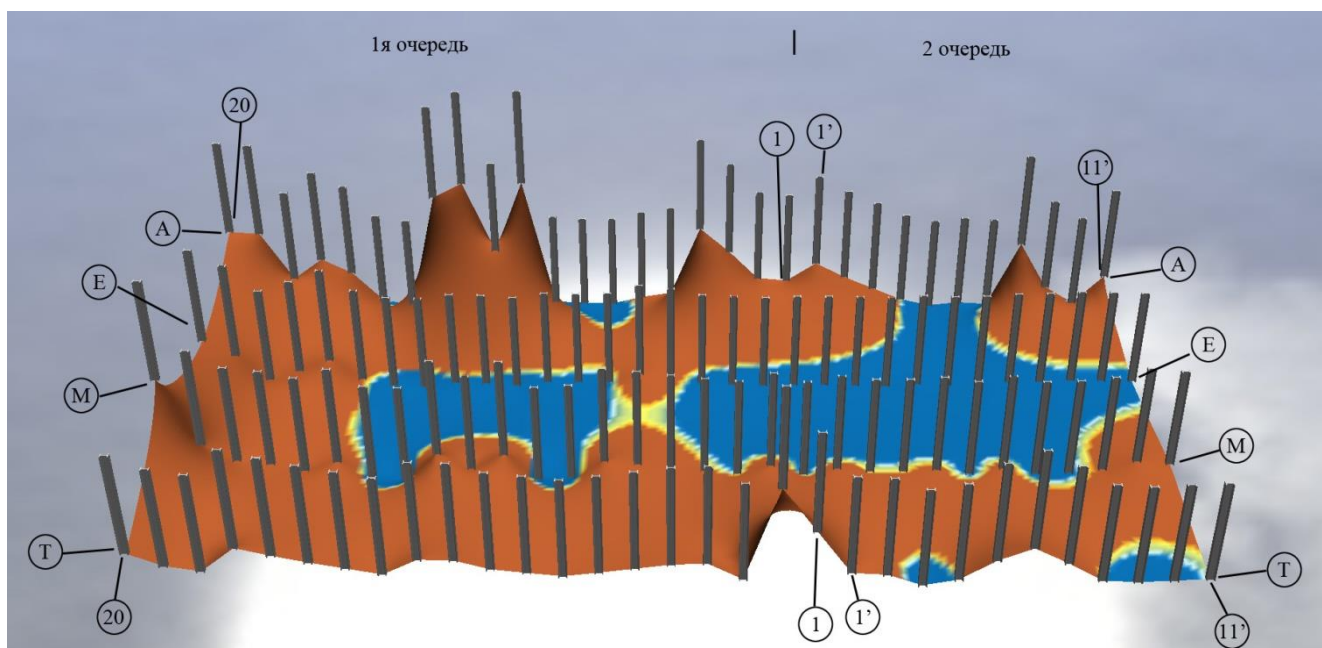


Рисунок 4.15 - Трехмерная модель интерполяции освещённости внутри главного корпуса ОФ «Распадская»

Для визуального представления эта модель была импортирована в программный комплекс КРЕДО. Модель освещенности была окрашена с использованием градиентной заливки по значениям. Синим цветом показаны места, где недостаточно освещенности для работы цифрового нивелира (освещенность меньше 20 люкс), и в этих местах нужно обязательно пользоваться искусственным источником света. Желтым – места с предельной освещенностью (освещенность равна 20 люкс), при которой прибор берет отчеты и СКО не превышает допустимое значение. Коричневым – места, где цифровой нивелир

уверенно работает и нет необходимости использовать дополнительное освещение (освещенность больше 20 люкс).

Похожие исследования выполнялись на объекте Спасо-Преображенский собор в г. Новокузнецк. Во время выполнения 11 цикла наблюдений за деформациями выполнялись измерения освещенности на каждой марке в месте, где цифровой нивелир берет отчет. Для определения освещенности также использовался цифровой люксметр testo 545. В темных местах определялись значения предела освещённости.

Данные освещенности над каждой маркой внутри собора были введены в программу CREDO Расчёт Деформаций, и была построена деформационная поверхность по освещенности внутри здания собора (рисунок 4.16).

Градиентная заливка показывает места (красный цвет), где необходимо подсвечивать штрихкодovou реку искусственным источников света для работы цифрового нивелира, а зеленым – где достаточно света для работы.

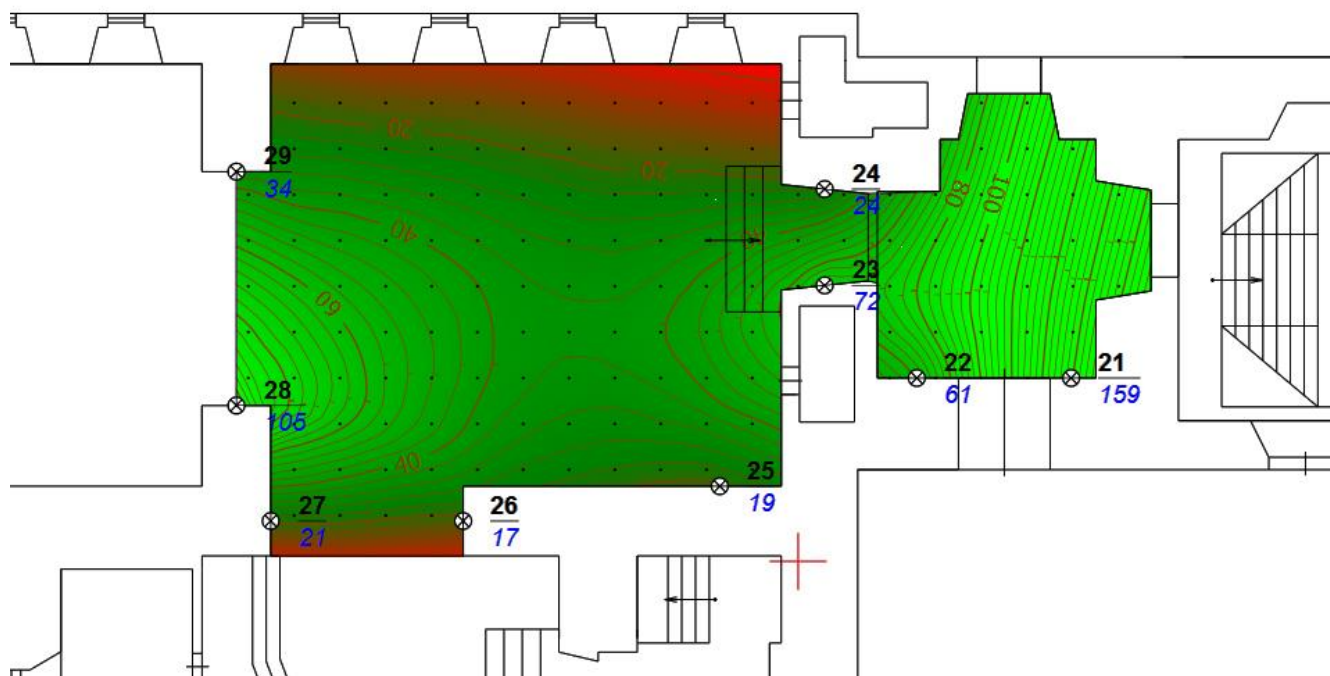


Рисунок 4.16 – Модель освещённости внутри Спасо-Преображенского собора

Данные трехмерной модели освещенности позволят увеличить скорость наблюдений при последующих циклах. С помощью этих данных можно

запроектировать ход с наименьшими трудозатратами и значительно уменьшить время выполнения полевых работ. При производстве полевых работ человек, который работает с цифровым нивелиром и который держит штрихкодovou рейку, уже знает в каких местах нужно подсвечивать рейку, а в каких нет, экономя при этом время. При выполнении исследования в главном корпусе ОФ «Распадская» и внутри Спасо-Преображенского собора подтвердились результаты лабораторных исследований, например, предел освещенности при работе с цифровым нивелиром приблизительно такой же, как и в лабораторных условиях, и тоже зависит от расстояния от рейки до прибора.

Полученные трехмерные пространственные модели освещенности позволяют увеличить скорость дальнейших наблюдений в здании Спасо-Преображенского собора и главного корпуса ОФ «Распадская».

4.5 Использование БЛА и наземного лазерного сканера при геодезическом контроле за возводимыми зданиями и сооружениями

Все изменения, внесенные в проектную документацию в установленном порядке, а также допущенные отклонения от нее, при их наличии, в размещении зданий (сооружений) и сетей инженерно-технического обеспечения следует фиксировать на исполнительном генеральном плане [132]. Для создания исполнительного генерального плана можно применить методику создания дежурного плана строительной площадки. При постоянном мониторинге строительства по полученным данным создаётся полноценный генеральный план, в котором отражены все отклонения от проекта и работы, которые были не предусмотрены проектной документацией.

Для контроля над возводимыми зданиями и сооружения автор предлагает применять методику съёмки с использованием современных инструментов, таких как БЛА и наземный лазерный сканер. После сбора исходных данных выполняется обработка, на рисунке 4.17 показана схема обработки в КРЕДО для контроля и мониторинга за возводимыми зданиями и сооружениями.

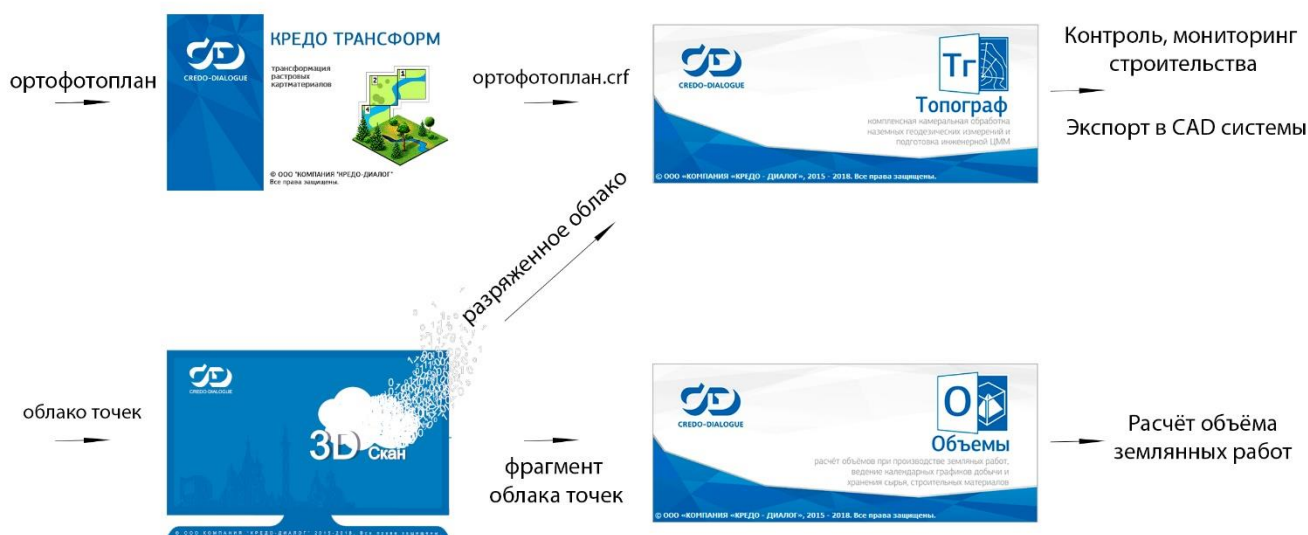


Рисунок 4.17 - Схема обработки данных при геодезическом контроле за возводимыми зданиями и сооружениями

В программе 3Д СКАН из облака точек можно выделять необходимые точки, которые относятся к строящимся конструкциям. Затем в программу можно подгрузить проект в формате dwg в строительной системе координат и интерактивно контролировать отклонения фактического положения конструкций от проекта.

В облаке точек с помощью команд порогового фильтра выделяются в отдельный классифицированный слой элементы забитых свай, и производится сравнение с проектом. Подрядная организация предоставила инструментальную исполнительную съёмку забитых свай около 300 штук. Используя облако точек с БЛА можно проверить предоставленную съёмку, и выявить соответствует она действительности или нет.

По данным с БЛА можно выполнять расчёты земляных работ. На первом этапе необходимо выделить точки, которые входят в зону, где производятся земляные работы, из всего облака точек и создать из данных точек новое облако. На втором этапе новое облако точек обрабатывается – удаляются отдельные шумы, такие как строительные механизмы, люди и шумы ниже рельефа, полученные при обработке облака точек.

Выполняется расчёт нормалей. Значения градиента и кривизны, полученные после расчета нормалей, могут быть использованы для визуализации облака (необходимо установить соответствующий тип раскраски облака), фильтрации вертикальных, горизонтальных или наклонных участков, участков с большим значением кривизны (рисунок 4.18).

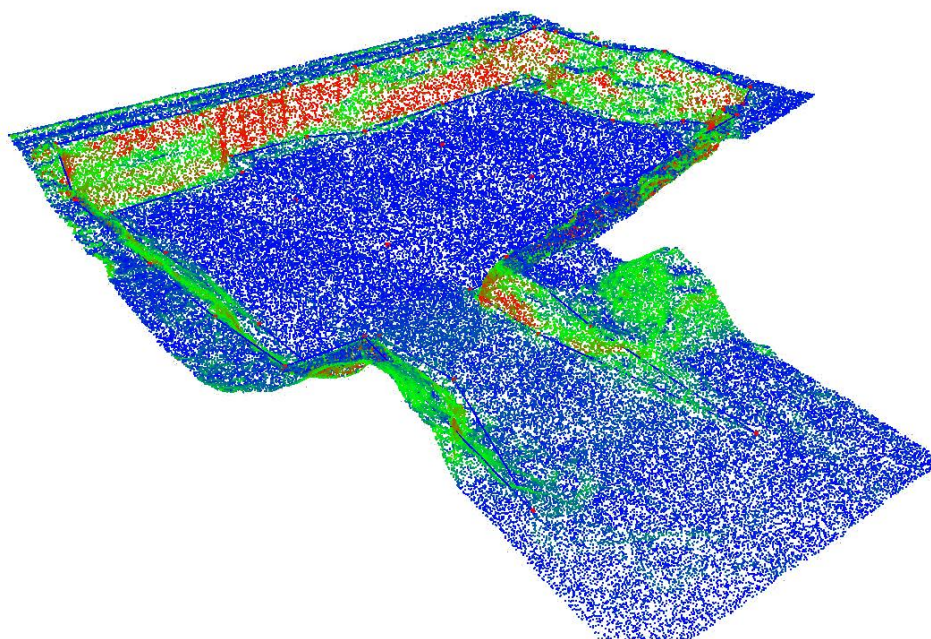


Рисунок 4.18 - Обработка облака точек земляных работа на промышленном объекте

На следующем этапе необходимо выделить основные элементы котлована – нижние и верхние бровки. Эту процедуру можно выполнять разными методами. Первый метод - вручную выделить в окне плана с использованием динамического поперечника. Второй способ - автоматизированный с помощью команды «Распознавание уступов». Результат применения работы команды отображается в режиме предпросмотра в окне «План». При необходимости можно изменить цвет предпросмотра. В результате работы программы выполняется поиск и создание бровок, автоматически рассчитывается параметр "верхняя-нижняя", исходя из кривизны модели рельефа.

В дальнейшем данные в формате `toroxml` импортируются в программу КРЕДО Объёмы, и происходит расчёт объёма земляных работы, и составление картограммы (рисунок 4.19).

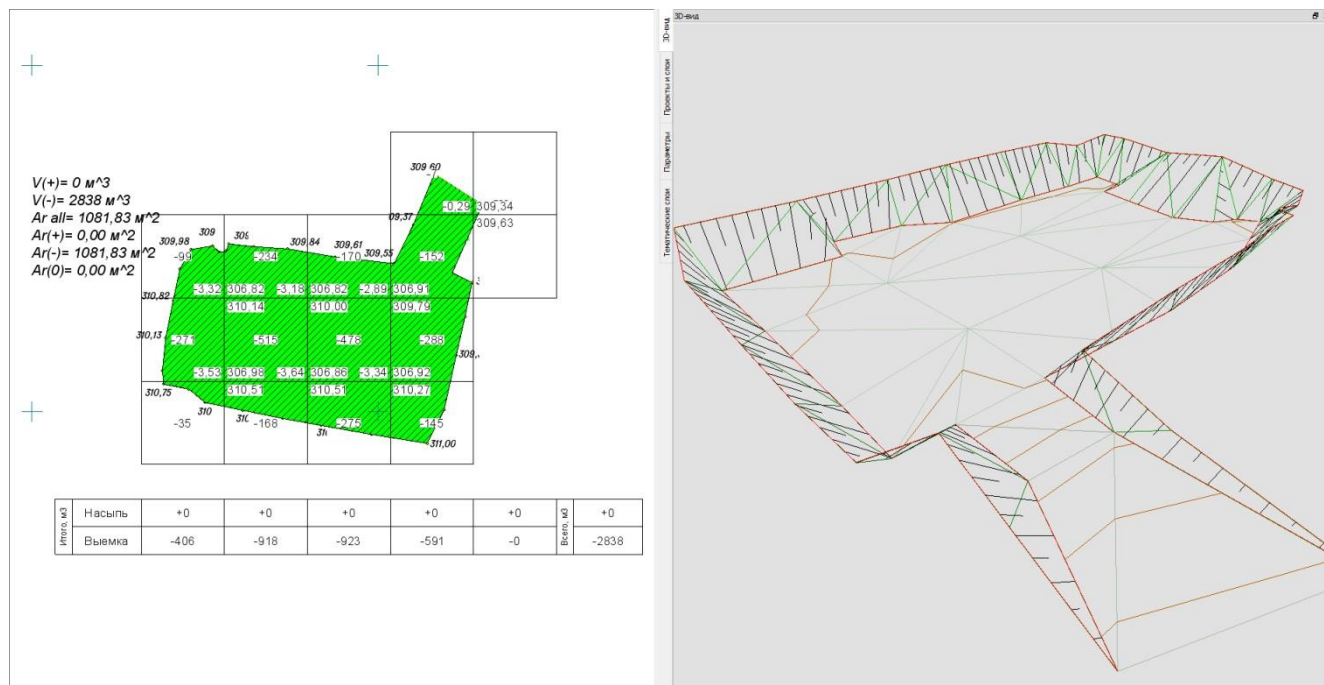


Рисунок 4.19 - Расчёт объёма котлована по данным с БЛА

При работе в программе есть возможность посмотреть на модель котлована в 3D виде. Это позволяет проверить правильность построения модели и внести необходимые изменения.

К основным недостаткам аэрофотосъёмки с БЛА относится точность определения точек по сравнению со сканером и зависимость от погодных условий. Для полета необходимо отсутствие осадков, и скорость ветра меньше 10 м/с.

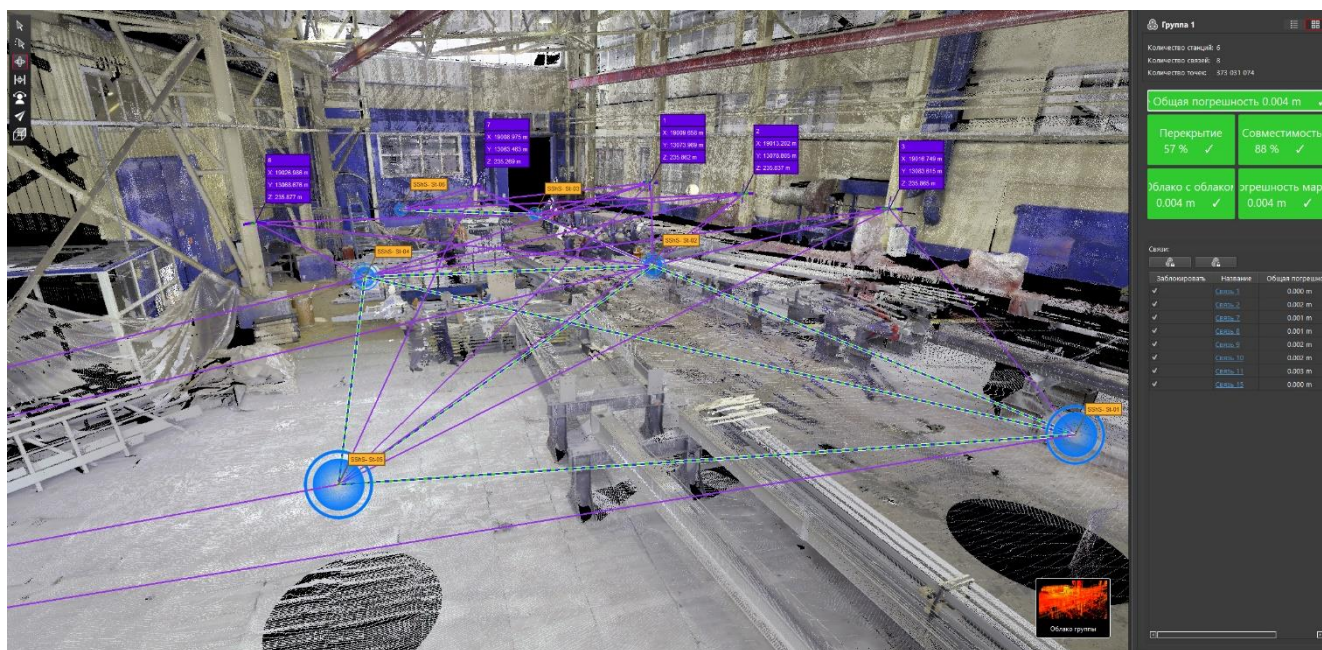
БЛА позволяет контролировать те строительные конструкции, которые хорошо видно с воздуха с малых высот от 30 до 150 метров. Это контроль за земляными работами, свайными полями, фундаментами, временными дорогами и благоустройством территории на последнем этапе строительства (приложение Б).

Для оценки точности полученного облака перед полетом квадрокоптера на строительной площадке были сняты 38 контрольных точек классическим методом

для оценки точности полученной модели. Дополнительно были использованы 70 точек на автомобильной дороге, которая была снята раньше классическим методом и не претерпела изменения. Сравнивались отметки точек, полученные из плотного облака точек методом интерполяции, и отметки, измеренные классическим наземным методом с помощью электронного тахеометра. Средняя разница отметок составила 34 мм. Такой точности достаточно для контроля за земляными работами, свайными полями и грубыми отклонениями фундаментных плит и ростверков [136, 139, 140].

Такие конструкции как металлические и железобетонные колонны, фермы, балки, технологическое оборудование, сложные надземные узлы трубопроводов и фасады нельзя контролировать с помощью БЛА, для таких целей целесообразно использовать наземные лазерный сканер. НЛС позволяет в кратчайшее время выполнить съёмку внутри строящихся или эксплуатируемых зданий и сооружений. Полученное облако точек можно обрабатывать и получать необходимую информацию о пространственном положении возводимых конструкций. Объём данных, полученных с лазерного сканера, избыточный, лазерный сканер выполняет съёмку всех мелких деталей, которые попадают в область сканирования (рисунок 4.20).

По данным наземного лазерного сканера внутри зданий и сооружений можно выполнять контроль и оформление исполнительных съёмок на основные конструкции каркаса здания. Данные работы предлагается выполнять в программе КРЕДО 3Д СКАН. На первом этапе из всего облака выделяются точки, которые относятся к несущим конструкциям, в нашем случае – металлические колонны.



- станция наземного лазерного сканера



- сшивка сканов по общим точкам сканирования



- привязка в местную систему координат по маркам

Рисунок 4.20 – Обработка облака точек, полученного с НЛС действующего промышленного цеха

Выделение выполняется с помощью команд – «Пороговый фильтр» и «Выделение в конуре». Фильтр может применяться по следующим свойствам: координаты X , Y , Z , интенсивность, градиент (уклона), кривизна, высота над рельефом, угол сканирования. X , Y , Z в качестве свойств точки для фильтрации по порогу доступны всегда, остальные свойства – при их наличии в облаке точек или после выполнения их расчета. В верхнем и нижнем части выполняются сечение определяемой конструкции. Затем по полученным сечениям выполняется расчёт данных по отклонению колонн от вертикали (рисунок 4.21), и оформляется исполнительная съёмка.

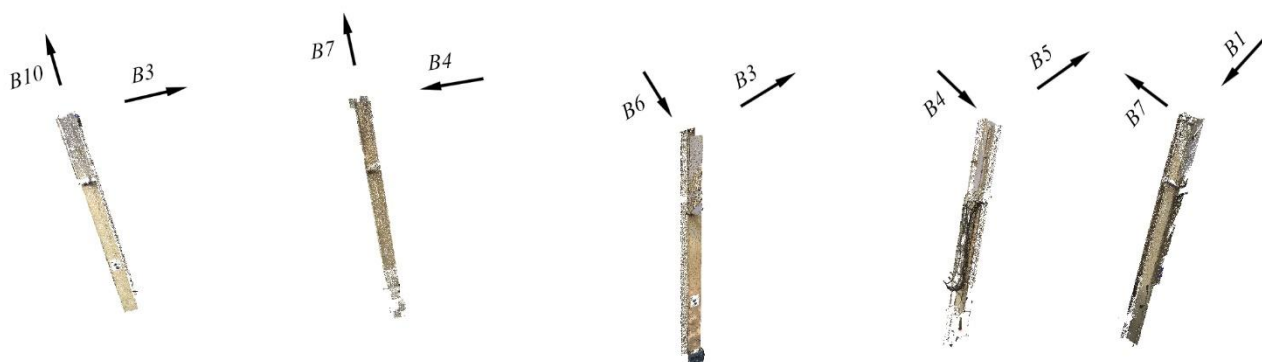


Рисунок 4.21 - Определение крена колонн по данным НЛС

Геодезический мониторинг смонтированных конструкций и коммуникаций с помощью НЛС позволяет получать информацию о плановом и фактическом объеме выполненных работ, а также проводить анализ критичности отклонений смонтированных конструкций и коммуникаций от проекта. Это позволяет выявлять потенциальные опасные участки строительства и своевременно принимать решения о дальнейшем ходе работ [159].

При строительстве крупных угольных обогатительных фабрик в Кемеровской области производится мониторинг строительства с помощью БЛА и НЛС. Каждый месяц выполняется съёмка всей строительной площадки площадью около 20 Га. Накопленные данные позволили вовремя заметить отклонения от проекта и дефекты строительных конструкций, предотвратить обрушения и аварийные ситуации, а также решать спорные вопросы, которые возникали в процессе строительства.

Применение автоматизированных программ по обработке геопространственных данных позволяют автоматизировать процесс обработки аэрофотосъёмки с БПА и совместно обрабатывать данные с БЛА и НЛС для комплексного решения различных прикладных инженерных задач в процессе контроля за возводимыми зданиями и сооружениями и в период их эксплуатации.

4.6 Выводы по четвертому разделу

Применена методика оптимального проектирования планово-высотных геодезических сетей с применением автоматизированных систем обработки данных для линейно-угловой сети на горнолыжном комплексе г. Зеленая в п.г.т. Шерегеш, Кемеровской области. Выполнен расчет ошибок измерения длин сторон и углов, которые приводят к кругу ошибок заданного радиуса в середине полигонометрического хода 4 класса изогнутой формы. Полученные результаты дают необходимую информацию для составления программы работ, обеспечивающей требуемую точность положения пунктов при минимальных затратах средств и времени и для рационального выбора геодезического оборудования.

Методика нивелирования и математической обработки результатов наблюдения за осадками фундаментов апробирована на действующем промышленном объекте – обогатительной фабрике «Распадская» и Спасо-Преображенском соборе. В работе применены пространственные методы анализа результатов нивелирования, позволяющие установить трехмерную модель деформаций по всей площади основания сооружения, в которой наглядно определяются области неравномерных осадок, и есть возможность построения профилей осадок по любому направлению.

Рассмотрен процесс создания деформационных поверхностей по прогнозируемым данным. Деформационные процессы оцениваются по нескольким параметрам, таким как перемещение объекта наблюдения за период времени, скорости осадки, дилатации. Для оценки каждого параметра может быть построена деформационная поверхность, моделирующая распределение параметра в области объекта. Эта поверхность имеет полноценное 3D-представление, а также плоское представление в виде градиентной диаграммы и карты изолиний. Главной особенностью рассмотренной методики является то, что она может представить деформационную поверхность на любую дату, как на момент заданного цикла, так и на произвольный период времени.

Выполнено исследование работы цифрового нивелира Trimble DiNi 12 в условиях недостаточной освещенности непосредственно на производстве в главном цеху обогатительной фабрики «Распадская» и в здании Спасо-Преображенского собора. По полученным данным была разработана трехмерная пространственная модель освещённости. Данные трехмерной модели освещенности позволят увеличить скорость наблюдений при последующих циклах. При производстве полевых работ человек, который работает с цифровым нивелиром, уже знает в каких местах нужно подсвечивать рейку, а в каких нет, экономя при этом время.

Применена методика использования БЛА и наземного лазерного сканера при геодезическом контроле за возводимыми зданиями и сооружениями. Установлено, что с применением беспилотных летательных аппаратов и обработки пространственных данных при строительстве и реконструкции промышленных зданий и сооружений можно производить контроль за земляными работами, свайными полями, фундаментами, временными дорогами и благоустройством территории. Такие конструкции, как металлические и железобетонные колонны, фермы, балки, технологическое оборудование, сложные надземные узлы трубопроводов нельзя контролировать с помощью БЛА. Для таких целей следует использовать наземные лазерный сканер.

При строительстве крупных угольных обогатительных фабрик в Кемеровской области производится мониторинг строительства с помощью БЛА и НЛС. Каждый месяц выполняется съёмка всей строительной площадки площадью около 20 Га. Накопленные данные позволили вовремя заметить отклонения от проекта и дефекты строительных конструкций, предотвратить обрушения и аварийные ситуации, а также решать спорные вопросы, которые возникали в процессе строительства.

Таким образом, используя совокупность пространственных данных, полученных с БЛА и НЛС, производится более полный контроль за строительством инженерных сооружений и обновление генерального плана всего объекта строительства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге выполненных исследований в диссертационной работе получены следующие результаты:

- выполнен анализ современного состояния геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов промышленных территорий в горнодобывающей отрасли, на основе которого сформулированы цели и задачи научного исследования диссертационной работы;

- разработана методика создания и актуализации дежурных планов горнодобывающих предприятий Кузбасса с применением наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных аппаратов и современных компьютерных программ в целях получения подробной информации для планирования устойчивого развития промышленных территорий и принятия управленческих решений;

- выполнено исследование работы цифрового нивелира при недостаточной освещенности штрихкодовой рейки на действующем промышленном предприятии, определена достаточная величина освещенности штрихкодовой рейки, равная 20 люкс, при которой возможен надежный процесс измерений. Разработаны трехмерные пространственные модели освещенности внутри производственных объектов, позволяющие ускорить процесс анализа деформаций фундаментов за счет наглядного представления их плановых и высотных перемещений с помощью трехмерного компьютерного моделирования;

- выполнено экспериментальное исследование усовершенствованной методики геодезического обеспечения строительства и эксплуатации объектов на примерах горнодобывающих промышленных предприятий Кемеровской области, которое показало высокую эффективность предложенных технологических решений для производства геодезического мониторинга.

Перспектива дальнейших исследований заключается в развитии методов геодезического обеспечения строительства и эксплуатации промышленных объектов при появлении новых средств измерений и частичной или более полной

автоматизации процессов выполнения геодезических измерений при геодезическом мониторинге инженерных сооружений промышленных предприятий.

Разработанная в диссертации методика геодезического обеспечения строительства и эксплуатации инженерных сооружений может быть использована для сокращения времени выполнения геодезических измерений и повышения надежности производства при геодезическом контроле строительства, реконструкции и эксплуатации крупных промышленных предприятий горнодобывающей отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аврунев, Е. И. Геодезическое обеспечение государственного кадастра недвижимости [Текст] : монография / Е.И. Аврунев. – Новосибирск: СГГА, 2010 – 143 с.
- 2 Автоматизированная обработка материалов топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ: (на примере комплекса CREDO) [Текст] : учеб. пособие / А. С. Назаров, Ю. К. Неумывакин, М. И. Перский, А. П. Пигин. - М. : Кредо-Диалог, 2009. – 266 с.
- 3 Азаров, Б. Ф. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация [Текст] / Б. Ф. Азаров, В. В. Опара // Ползуновский альманах. – 2018. – № 2. – С. 8-11.
- 4 Азаров, Б.Ф. Наземное лазерное сканирование как инструмент для формирования информационных моделей зданий и сооружений [Текст] / Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 6. – С. 16-23.
- 5 Алексеев, М. Д. Алгоритмы для уравнивания геодезических сетей на ЭВМ [Текст] / М. Д. Алексеев, В.П. Галахов, В.И. Глейзер // Геопрофи. – 2020. - №6. – С. 27-30.

6 Алтынцев, М. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования [Текст] / М. А. Алтынцев, П. А. Карпик // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 131–139.

7 Асташенков, Г. Г. О базовой проблеме геодезических наблюдений за осадками зданий и инженерных сооружений [Текст] / Г. Г. Асташенков // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 8. – С. 54–55.

8 Афонин, Д. А. Контроль стабильности пунктов плановой геодезической сети при геодезическом контроле деформаций инженерных сооружений [Текст] / Д. А. Афонин // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 6–11.

9 Афонин, Д. А. Построение геодезической разбивочной сети, закрепляемой пленочными отражателями [Текст] / Д. А. Афонин // Записки Горного института. – СПб.: РИЦ Горного ун-та. – 2012. – Т. 199. – С. 301–308.

10 Ашраф, А. Бешр. Разработка и совершенствование технологий определения деформаций инженерных сооружений с помощью современных высокоточных геодезических способов и средств измерений [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. Бешр Ашраф. – Новосибирск, 2010. – 205 с.

11 Басаргин, А. А. Анализ деформаций фундаментов промышленных сооружений с применением геостатистических методов [Текст] / А. А. Басаргин // 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. 201-206.

12 Басаргин, А. А. Применение геостатистических методов для вычисления осадки утерянной марки [Текст] / А.А. Басаргин // Сборник материалов V междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2009». Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 1. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 220–222.

13 Басаргин, А.А. Пространственный анализ наблюдений за осадками фундамента строящегося здания [Текст] / А.А. Басаргин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 3. – С. 17–20.

14 Большаков, В. Д. Геодезия. Изыскания и проектирование инженерных сооружений [Текст] / В. Д. Большаков, Е. Б. Ключин, И. Ю. Васютинский : практикум. – М. : Недра, 1991. – 238 с.

15 Большаков, В. Д. Уравнивание геодезических построений [Текст] / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе, В. В. Голубев. – М. : Недра, 1989.

16 Брайт, П. И. Геодезические методы определения деформаций и сооружений [Текст] / П. И. Брайт. – М. : Недра, 1965. – 464 с.

17 Будо, А. Ю. Расчет осадок деформаций в CREDO [Текст] / А. Ю. Будо, Д. М. Васильков, Д.В. Грохольский // Геопрофи. — 2014. — № 1. — С. 24–28.

18 Васютинский, И. Ю. Геодезические приборы при строительномонтажных работах [Текст] / И. Ю. Васютинский, Г. Е. Рязанцев, Х. К. Ямбаев. – М. : Недра, 1982. – 272 с.

19 Владыкина, А. В. Ведение дежурного топографического плана масштаба 1:500 на территорию городского округа Барнаул [Текст] / А. В. Владыкина, А. В. Долидович, Т. Б. Жеребцова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 218–223.

20 Галахов, В. П. Вынос BIM модели на строительную площадку и контроль строительства [Текст] / В. П. Галахов, Г. А. Жуков // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От введения до внедрения : сборник материалов II международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургская ассоциация геодезии и картографии. – 2017. – С. 216–222.

21 Ганышин, В. Н. Геодезические методы измерения вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов [Текст] / В. Н. Ганышин, А. Ф. Староженко, А. Г. Ильин. – М. :Недра, 1981. – 215с.

22 Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений [Текст] / Д. Ш. Михеев и др. – М. : Недра, 1977.

23 ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст]. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

24 Головина, Л. А. Зависимость точности нивелирования от освещенности объекта [Текст] / Л. А. Головина // Инновационное социально ориентированное развитие России : сборник научных трудов по материалам I Всероссийской научно-практической конференции 31 октября 2016 г. – Томск : НОО «Профессиональная наука», 2016. – С. 374–377.

25 Голубев, В. В. Теория математической обработки геодезических измерений [Текст] / В. В. Голубев : учеб. для вузов. – М. : МИИГАиК, 2016. – 422 с.

26 ГОСТ 21780–2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности [Текст]. – М. : Центр метрологии нормирования и стандартизации в строительстве, 2008.

27 ГОСТ 24846–81. Грунты. Методы измерения деформаций зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 01.01.1982. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 1981.

28 Грахов, В. П. Развитие систем BIM-проектирования как элемент конкурентоспособности [Электронный ресурс] / В. П. Грахов, С. А. Мохначев, А. Х. Иштряков // Современные проблемы науки и образования. 2015. Вып. 1, ч. 1. Режим доступа: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=17950>.

29 Группа компаний Геоскан. Применение БЛА при решении картографических и кадастровых задач [Электронный ресурс]: отчет. – Режим доступа: <https://www.geoscan.aero/ru>.

30 Гуляев, Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений [Текст] / Ю. П. Гуляев. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с.

31 Ехлаков, Ю. П. Автоматизация процессов управления инженерной инфраструктурой промышленного предприятия на базе электронного генерального плана [Текст] / Ю. П. Ехлаков, О. И. Жуковский, Ю. Б. Гриценко //

докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2011. Т. 2, № 3. - С. 108–113.

32 Жуков, Б. Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий [Текст] : монография / Б. Н. Жуков. – Новосибирск : СГГА, 2003. – 356 с.

33 Жуков, Б. Н. Роль, теория и практика геодезического контроля технического состояния зданий и сооружений [Текст] / Б. Н. Жуков // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11. – С. 11–17.

34 Жуков, Б. Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации [Текст] / Б. Н. Жуков. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 376 с.

35 Жуховицкий Г. М. Повышение эффективности градостроительной деятельности в результате развития системы ведения дежурных планов застроенных территорий [Текст] / Г. М. Жуховицкий, А. А. Карпов // Перспективы развития градостроительства в России: территориальное планирование, информационное моделирование и эффективная экономика: сборник докладов научно-практической конференции (12 -13 ноября 2015 г.); М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. - Москва : НИУ МГСУ, 2016 - С. 91 – 99

36 Зайцев А. К. Геодезические методы исследования деформаций сооружений [Текст] / А. К. Зайцев, С. В. Марфенко, Д. Ш. Михелев. – . : Недра, 1991. – 272 с.

37 Иванов, В. Г. Об одном из главных источников ошибок точного и высокоточного нивелирования [Текст] / В. Г. Иванов // Геодезия и картография. – 1998. – № 4. – С. 21 – 26.

38 Инженерная геодезия [Текст] / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман; под ред. Д. Ш. Михелева – 8-е изд. – М. : Академия, 2008. – 480 с.

39 Инженерная геодезия и геоинформатика [Текст]: учеб. для вузов / под ред. С. И. Матвеева. – М. : Академический Проект; Фонд «Мир», 2012. – 484 с.

40 Инженерная геодезия и геоинформатика: краткий курс [Текст] : учеб. / М. Я. Брынь, Е. С. Богомолова, В. А. Коугия, Б. А. Левин, С. И. Матвеев, 154 В. И. Полетаев, О. П. Сергеев, Е. Г. Толстов ; под ред. В. А. Коугия. – СПб. ; М.; Краснодар : Лань, 2015. – 285 с.

41 Инженерные изыскания для строительства: практика и опыт Мосгоргеотреста [Текст] // гл. ред. Антипов А.В., Осипов В.И. – М : ООО Издательство «Проспект», 2012. – 352 с.

42 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов [Текст]. – М.: Недра, 1990. – 168 с.

43 Интуилов, И. П. Инженерная геодезия в строительном производстве [Текст]: учеб. пособие для вузов / И. П. Интулов – Воронеж : Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т., 2004. – 329 с.

44 Карпов, А.А. Топографический мониторинг застроенной территории средствами программного комплекса CREDO [Текст] / А. А. Карпов, И. В. Сузько, А. С. Назаров // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования, 2011. - № 2. - С. 70-74.

45 Колобов, Р. В. Оцифрованный город. Опыт создания и ведения цифрового дежурного плана на примере города Хабаровска [Текст] / Р. В. Колобов // Земля и недвижимость Сибири. - 2010. - № 22. - С. 29-31.

46 Комиссаров, А. В. Исследование точности построения цифровой модели рельефа по данным наземного лазерного сканирования [Текст] / А. В. Комиссаров // ГЕО-Сибирь-2006. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 24–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 1, ч. 2. – С. 12–14.

47 Комиссаров, А. В. Обоснование направлений использования данных цифровой съемки при наземном лазерном сканировании [Текст] / А. В. Комиссаров // Вестник СГУГиТ. - 2016. – № 1 (33). - С. 95-100.

48 Комиссаров, Д. В. Использование технологии трехмерного лазерного сканирования при строительстве, эксплуатации и проектировании инженерных сооружений [Текст] / Д. В. Комиссаров, А. В. Середович // Стр-во и город. хоз-во Сибири. – 2004. – № 10. – С. 72–73.

49 Конусов, В. Г. Предвычисление точности полигонометрических ходов [Текст] / В. Г. Конусов. - М. : Недра, 1966. - 111 с.

50 Корнилов, Ю. Н. Совершенствование методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений [Текст] / Ю. Н. Корнилов, О. С. Царёва // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81. – № 4. – С. 9-18.

51 Костюк, А. С. Особенности аэрофотосъемки со сверхлегких беспилотных летательных аппаратов [Текст] / А. С. Костюк // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (104). – С. 236–240.

52 Коугия, В. А. Современные проблемы уравнивания инженерно-геодезических сетей [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. А. Коугия, В. И. Павлов. – СПб. : Изд-во НМСУ «Горный», 2012. – 105 с.

53 Кошелев, В. А. Особенности развития геодезической разбивочной основы в условиях горной местности [Текст] / В. А. Кошелев, К. С. Карлин, А. П. Чахлова // Сборник материалов IX междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013» 15-26 апреля 2013г.: Междунар. Науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Том 1– Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 214–219.

54 КРЕДО 3D СКАН Создание цифровой модели местности по облакам точек : руководство пользователя. Версия 1.5 [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://credo-dialogue.ru/media/downloads/Documentation/3D%20СКАН.%20Руководство%20пользователя.pdf>.

55 КРЕДО ДАТ Обработка полевых инженерно-геодезических данных : руководство пользователя. Версия 5.2 [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://credo-dialogue.ru/media/downloads/Documentation/ДАТ%205.2.%20Руководство%20пользователя.pdf>.

56 КРЕДО НИВЕЛИР Автоматизация камеральной обработки геометрического нивелирования : руководство пользователя. Версия 3.0 [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://credo-dialogue.ru/media/downloads/Documentation/НИВЕЛИР%203.0.%20Руководство%20пользователя.pdf>.

dialogue.ru/media/downloads/Docu

mentation/НИВЕЛИР.%20Руководство%20пользователя.pdf.

57 КРЕДО Расчёт деформаций : руководство пользователя. Версия 2.0 [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <https://credo-dialogue.ru/media/downloads/Documentation/Deformacii.pdf>.

58 Кудрявцев, С. А. Определение осадок фундаментов высотных зданий в г. Хабаровске [Текст] / С. А. Кудрявцев, А. В. Никитин, А. Р. Едигарян, А. В. Кажарский // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. научн. тр.; под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, Вып. 3. – 2015. – С. 163–166.

59 Кузнецова, А.А. Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений [Текст] / А. А. Кузнецова // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79. – № 12. – С. 2-7.

60 Кукареко, И. С. CREDO 3D СКАН – новое решение для обработки данных лазерного сканирования [Текст] / И. С. Кукареко, Д. В. Грохольский // Геопрофи. – 2016. - № 1. С. 41-43.

61 Кулага, И. И. О необходимости создания текущих дежурных планов площадки строительства в условиях горной местности [Текст] / И. И. Кулага, А. П. Чахлова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГГА, 2015. Т. 1. – С. 60–63.

62 Куштин, И.Ф. Геодезия [Текст] : учеб.-практ. пособие. - М. : Издательство ПРИОР, 2001. – 448 с.

63 Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – М.: Недра 1981. – 438 с.

64 Лизогуб, П. П. Тернистый путь собора [Текст] / П. П. Лизогуб // Кузнецкий рабочий. — 2008. — № 17.

65 Лукин, А. С. Геодезические засечки и их точность при производстве кадастровых работ [Текст] / А. С. Лукин, А. М. Портнов // Вестник СГГА. – 2011. – № 3(16). – С. 53–59.

66 Маркузе, Ю. И. Геодезия. Вычисление и уравнивание геодезических сетей [Текст] / Ю. И. Маркузе, Е. Г. Бойко, В. В. Голубев. – М. : Картгеоцентр – Геодезиздат, 1994.

67 Маркузе, Ю. И. Основы уравнивательных вычислений [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. И. Маркузе. – М. : Недра, 1990. – 240 с.

68 Маркузе, Ю. И. Теория математической обработки геодезических измерений [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. И. Маркузе, В. В. Голубев ; под общ. ред. Ю. И. Маркузе. – М. : Академический Проект Альма Матер, 2010. – 247 с.

69 Маркузе, Ю. И. Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей [Текст] / Ю. И. Маркузе. – М. : Недра, 1982.

70 Маркузе, Ю. И. Эффективный алгоритм для анализа деформаций [Текст] / Ю. И. Маркузе // Геодезия, 225 лет МИИГАиК. – М. – С. 306-317.

71 Медведская, Т. М. Исследование точности опорных сетей для геодезического мониторинга крупногабаритного промышленного оборудования [Текст] / Т. М. Медведская // Вестник СГУГиТ. - 2019. – Т. 24, № 2. - С. 56-65.

72 Медведская, Т. М. Особенности геодезических наблюдений за деформациями объектов нефтяной промышленности [Текст] / Т. М. Медведская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 109–113.

73 Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций [Текст] / Г. Г. Китаев, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, Е. Л. Соболева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8-18 апреля 2014 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия» : сб. материалов в 2 т. Т.1. – Новосибирск : СГГА, 2014. – С.7–13.

74 Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования [Текст] / В. А. Середович, Т. А. Широкова, Д. В. Комиссаров и др. // Геодезия и картография. – 2006. – № 6. – С. 12–14.

75 Мониторинг деформационных процессов строительных и инженерных объектов [Электронный ресурс]. – Центр «Геодинамика». МИИГАиК. – Режим доступа: <http://www.geodinamika.ru/main/engineer/deformation-monitoring>

76 Мямина, И. С. Проблемы создания дежурного топографического плана территории муниципального образования в цифровом виде [Текст] / И. С. Мямина // Вестник современных исследований. - 2018. - № 21. - С. 221–224.

77 Наземное лазерное сканирование [Текст] : монография / А. В. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.

78 Наземное лазерное сканирование объектов промышленных площадок на территории нефтегазовых месторождений [Текст] / В. А. Бударова, Н. Г. Мартынова, А. В. Шереметинский, А. В. Привалов // Московский экономический журнал. – 2019. – № 6. – С. 8–14.

79 Неволин А. Г. Создание и ведение цифровых дежурных планов при строительстве горнодобывающих предприятий Кемеровской области [Текст] / А. Г. Неволин, Д. Б. Новоселов // Сборник материалов XVII междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2021», 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021.

80 Неволин, А. Г. Методы создания и актуализации цифровых планов масштаба 1 : 2 000 для информационного обеспечения градостроительства [Текст] / А. Г. Неволин, Т. М. Медвецкая // 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. 136–139.

81 Неволин, А. Г. Оценка точности геопространственных данных при трехмерном моделировании местности [Текст] / А. Г. Неволин, Т. С. Хатоум //

ГЕО-Сибирь-2007. III Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск : СГГА, 2007. Т. 1, ч. 1. – С. 281–284.

82 Неволин, А. Г. Трехмерная карта города Новосибирская [Текст] / А. Г. Неволин, Т. С. Хатоум // ГЕО-Сибирь-2006. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 24–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 1, ч. 1. – С. 208–211.

83 Никитин, В. Н. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры [Текст] / В. Н. Никитин, А. В. Семенцов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 12–17.

84 Никонов, А. В. Исследование влияния стабильности положения исходной геодезической основы на точность обратной линейно-угловой засечки [Текст] / А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 63–69.

85 Никонов, А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме [Текст] / А. В. Никонов // Вестник СГУГиТ. – 2015. – № 1 (29). – С. 43-54.

86 Никонов, А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики [Текст] / А. В. Никонов // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12-18.

87 Никонов, А.В. Определение средней квадратической ошибки измерения превышения на станции цифровым нивелиром [Текст] / А. В. Никонов, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, Т. М. Медведская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI

Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 77–84.

88 Новоселов, Д. Б. Высокоточное нивелирование цифровым нивелиром в условиях недостаточной освещенности [Текст] / Д. Б. Новоселов // Геодезия и картография. – 2013. - №8. – С. 14–17.

89 Новоселов, Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» [Текст] / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // 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. 66–71.

90 Новоселов, Д. Б. Геодезический контроль строительства и эксплуатации главного корпуса обогатительной фабрики «Распадская» с применением современных технологий [Текст] / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Инженерные изыскания. – 2011. - №12. – С. 60-65.

91 Новоселов, Д. Б. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности [Текст] / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Сборник материалов IX междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013» 15-26 апреля 2013г.: Междунар. Науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Том 1–Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 117–121.

92 Новоселов, Д. Б. Настройка совместного доступа к хранилищу документов через сеть Интернет [Электронный ресурс] / Д. Б. Новоселов, Д. А. Шапиро. - режим доступа: https://credo-dialogue.ru/press-tsentr/публикации/1391-docs_storage_settings.html

93 Новоселов, Д. Б. Опыт внедрения квадрокоптера, ПО Photoscan и технологий КРЕДО при выполнении топографических съёмок [Электронный ресурс] / Д. Б. Новоселов, Ф. А. Минхаиров - режим доступа: <https://credo->

dialogue.ru/press-tsentr/публикации/1425-kvadro_photoscan_credo_implementation.html.

94 Новоселов, Д. Б. Опыт создания и ведения дежурного топографического плана динамично развивающейся промышленной территории [Текст] / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Инженерные изыскания. – 2013. - №4. – С. 34–38.

95 Новоселов, Д. Б. Применение классического метода топографической съёмки с использованием современных технологий при создании планово-высотной сети для проектирования горнолыжных трасс [Текст] / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Инженерные изыскания. – 2010. - №9. – С. 66-69.

96 Новоселов, Д. Б. Применение современных компьютерных технологий при обработке и анализе результатов наблюдений за деформациями зданий и сооружений [Текст] / Д. Б. Новоселов, Д. В. Самбурский // Сборник материалов X междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014» 16-18 апреля 2014г.: Междунар. Науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Том 1– Новосибирск : СГГА, 2014. – С. 39–43.

97 Новоселов, Д. Б. Проектирование и создание линейно-угловой сети на горнолыжном комплексе г. Зеленая [Текст] / Д. Б. Новоселов // Геодезия и картография. – 2011. - №6. – С. 11–17.

98 Новоселов, Д. Б. Современные методы наблюдений за деформациями на особо опасных промышленных предприятиях [Текст] / Д.Б. Новоселов // Геодезия и картография. – 2012. - № 12. – С. 26–30.

99 Новоселов, Д. Б. Создание и ведение дежурного топографического плана промышленной территории средствами комплекса CREDO [Текст] / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2013. - № 1(48). – С. 72–77.

100 Новоселов, Д. Б. Создание и ведение топографо-геодезического мониторинга территории сибирского государственного индустриального университета в программах CREDO [Текст] / Д. Б. Новоселов, В. А. Новоселова, Д. В. Самбурский, И. С. Кирьянов // Сборник материалов XII междунар. науч.

конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016», 18–22 апреля 2016 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 122–128.

101 Новоселов, Д. Б. Создание и ведение цифрового дежурного плана территорий промышленных предприятий [Текст] / Д. Б. Новоселов, Е. А. Звягинцев // Сборник материалов VIII междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012» 10-20 апреля 2012г.: Междунар. Науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Том 2 – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 37–41.

102 Новоселов, Д. Б. Создание и внедрение туристских информационных систем на базе трехмерных виртуальных моделей местности [Текст] / Д. Б. Новоселов, В. А. Новоселова // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – №2. – С. 115–118.

103 Новоселов, Д. Б. Создание корпоративной базы данных с использованием SQL Server 2008 R2 Express [Текст] / Д. Б. Новоселов // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2012. - № 3(46). – С. 40–43.

104 Новоселов, Д. Б. Технология автоматизированного сбора и обработки результатов наблюдений за кренами и осадками здания Спасо-преображенского собора в г. Новокузнецке [Текст] / Д. Б. Новоселов, В. А. Новоселов, Е. А. Звягинцев // Сборник материалов XI междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015», 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 119–125.

105 Новоселов, Д.Б. Использование трехмерных виртуальных моделей местности в учебном процессе [Текст] / Д.Б. Новоселов, В.А. Новоселова // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 59–63.

106 Об утверждении правил «Формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и

материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов» : постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1431 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ. правовой системы «КонсультантПлюс».

107 Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» : распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р [Электронный ресурс]. – Доступ из справ. правовой системы «КонсультантПлюс».

108 ОДМ 218.9.017-2019. Методические рекомендации по производству аэрофототопографических работ с использованием беспилотных летательных аппаратов при изысканиях в целях строительства и реконструкции автомобильных дорог. [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/560896500>.

109 Олейник, А. М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геокриологической обстановки от техногенной деятельности [Текст] / А. М. Олейник // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия» : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т.1, ч.1. – С. 37–40.

110 Оньков, И. В. Оценка точности цмр по материалам аэрофотосъемки с БЛА «Геоскан 101» [Текст] / И. В. Оньков, А. В. Гормаш // Геопрофи. – 2015. - № 5. С. 49-51.

111 Опыт ГК «Геоскан». Создание высокоточной трехмерной модели тульской области [Текст] / Ф. В. Солощенко, Е. В. Гринько, М. В. Курков, Н. Р. Суздальцев // Геопрофи. – 2018. - № 3. С. 13-16.

112 Официальный сайт ООО «Кредо-Диалог» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.credo-dialogue.ru>.

113 Пигин, А. П. Технология проектирования геодезических построений в CREDO / А. П. Пигин, Д. В. Чадович, Д. М. Васильков // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2003. – № 9–10. – С. 50–54.

114 Пискунов, М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений [Текст] / М. Е. Пискунов. – М. : Недра, 1980. – 248 с.

115 Поклад, Г. Г. Геодезия [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев. – М. : Академический проект, 2007. – 592 с.

116 Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей [Текст]. – М. : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993.

117 Практикум по геодезии [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Г. Селиханович, В. П. Козлов, Г. П. Логинова; под ред. В. Г. Селиханович. - 2 изд. - М. : Альянс, 2006. - 382 с.

118 Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573864374>.

119 Развитие системы контроля за ходом строительно-монтажных работ на основе комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 [Текст] / В. П. Грахов, Ю. Г. Кислякова, У. Ф. Симакова, Д. А. Мушаков // Наука и техника - 2017. - Т.16, № 6. - С. 466–474.

120 РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ. [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032101>.

121 Руководство по наблюдениям за деформациями оснований фундаментов зданий и сооружений [Текст]. – М. : Стройиздат, 1985. – 160 с.

122 Рябова, Н. М. Исследование влияния различной освещенности на отчеты по рейке [Текст] / Н. М. Рябова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. – Т.1, ч.1. – С. 42-46.

123 Сальников, В. Г. Совершенствование методики выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами в условиях недостаточной освещенности штрихкодowych реек [Текст] / В. Г. Сальников // Вестник СГУГиТ. - 2019. - Т. 25, № 3. - С. 63-71.

124 Сальников, В. Г. Совершенствование методики геодезических измерений для обеспечения строительства и эксплуатации энергетических объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2015. – 24 с.

125 Середович, А. В. Измерение колебаний инженерных объектов на основе данных наземного лазерного сканирования [Текст] / А. В. Середович, А. Р. Мифтахудинов, А. В. Иванов // 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. 2. – С. 137–139.

126 Середович, А. В. Сравнительная характеристика и области применения современных наземных лазерных сканеров [Текст] / А. В. Середович // Вестник СГГА. – 2005. – Вып. 10. – С. 107–109.

127 Симонян, В. В. Геодезический мониторинг зданий и сооружений [Текст] / В. В. Симонян, Н. А. Шмелин, А. К. Зайцев ; под ред. В. В. Симоняна. – М. : НИУ МГСУ, 2015. – 140 с.

128 Скрипников, В. А. Прикладная геодезия. Геодезические работы при определении осадок инженерных сооружений автоматизированными системами и приборами [Текст] : учеб. пособие / В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 106 с.

129 Соболева, Е. Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования I, II классов с применением цифровых нивелиров [Текст] : дис. На соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Соболева Екатерина Леонидовна. – Новосибирск : 2008. – 186 с.

130 Современные проблемы обеспечения территорий высокоточными значениями высот [Текст] / А. Э. Зубарев, С. В. Лебедев, И. Е. Надеждина, Ю. Е. Федосеев // Геопрофи. – 2012. – № 3. – С. 54–57.

131 СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/871001219>.

132 СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве [Электронный ресурс]: свод правил // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/550965720>.

133 СП 22.13330.2011. Основание зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* [Текст]. – М., 2011.

134 СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556793897>.

135 СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [Текст]. – М., 2013.

136 СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 [Текст]. – М., 2013.

137 Справочник геодезиста [Текст] : в 2х кн. Кн. 1 / под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1985. – 455 с.

138 Столбов, Ю. В. Геодезические измерения осадок фундаментов [Текст] / Ю. В. Столбов // Геодезические методы контроля качества в строительстве : межвуз. сб. науч. тр. – Куйбышев : Куйбышев. гос. ун-т. – 1984. – С. 84–88.

139 Столбов, Ю. В. К вопросу о точности контрольных геодезических измерений при приемке строительных конструкций [Текст] / Ю. В. Столбов, В. В. Столбов // Вопросы применения геодезии в строительстве : сб. трудов. – Омск, 1975. – Вып. 49. – С. 72–76.

140 Столбов, Ю. В. О точности геодезического контроля при возведении сооружений [Текст] / Ю. В. Столбов, В. В. Столбов // Вопросы строительства и

эксплуатации автомобильных дорог : сб. науч. тр. – Омск : Западно-Сибирское кн. изд-во, 1974. – Вып. 5. – С. 162–164.

141 Столбов, Ю. В. Прикладная геодезия. Геодезические разбивочные работы при строительстве зданий и сооружений [Текст] / Ю. В. Столбов, Ю. В. Столбова. – Омск : СиБАДИ, 2016. – 43 с.

142 Сундаков, Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий [Текст] / Я. А. Сундаков. – М. : Недра, 1980. – 343 с.

143 Тамутис, З. П. Проектирование инженерных геодезических сетей [Текст] / З. П. Тамутис. – М. : Недра, 1990. – 138 с.

144 Тарарин, А. М. Совершенствование нормативно-правового и технологического обеспечения ведения дежурного топографического плана города масштаба 1:500 [Текст] / А. М. Тарарин, Е. К. Никольский // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 32. – С. 224-230.

145 Уставич, Г. А. Геодезия. В 2-х кн. Кн. 1 [Текст] : учебник для вузов / Г. А. Уставич. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 352 с.

146 Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров [Текст] / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых // Вестник СГГА. – 2010. – № 2. – С. 3 – 8.

147 Уставич, Г. А. Некоторые вопросы технологии выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Г. А. Уставич, С. А. Бабасов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 17–23.

148 Уставич, Г. А. Технология выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами [Текст] / Г. А. Уставич // Геодезия и картография. – 2006. – № 2. – С. 3–6.

149 Уставич, Г.А. Исследование цифровых нивелиров и реек [Текст] / Г. А. Уставич, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9 – 15.

150 Уставич, Г.А. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования [Текст] // Г. А. Уставич, С. В. Демин, Е. Л. Шалыгина, Я. Г. Пошивайло // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С.12–14.

151 Хиллер, Бернд. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга [Текст] / Бернд Хиллер, Х. К. Ямбаев // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 48–61.

152 Хлебникова, Т. А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства по материалам БПЛА [Текст] / Т. А. Хлебникова, О. А. Опритова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 3–6.

153 Хлебникова, Т. А. Экспериментальные исследования технологии моделирования геопространства по материалам аэрофотосъемки [Текст] / Т. А. Хлебникова, О. А. Опритова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 16–20.

154 Цифровой нивелир Trimble DiNi. Руководство пользователя. версия 1.00 [Электронный ресурс] – режим доступа: https://www.prin.ru/images/documents/instrukcii/trimble/niveliry/trimble_dini_user_guide_ver010_rus.pdf

155 Цифровые нивелиры / компании «ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geosystems.ru/shop/niveliry/tsifrovye-niveliry/>

156 Чадович, Д. В. Кредо расчёт деформаций 2.0 – новое в системе [Текст] / Д. В. Чадович // Геопрофи. – 2020. - № 6, - С. 22-25.

157 Чахлова, А. П. Методика создания вертикальных топографических планов для горной местности [Текст] / А.П. Чахлова // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2015. - № 1. - С. 29-33.

158 Чунаков, Н. В. Путешествие за северный полярный круг со сканирующим тахеометром Leica [Текст] / Н. В. Чунаков // Геопрофи. – 2017. – № 2. – С. 28–31.

159 Шарафутдинова, А. А. Опыт применения наземного лазерного сканирования и информационного моделирования для управления инженерными данными в течение жизненного цикла промышленного объекта [Текст] / А. А. Шарафутдинова, М. Я. Брынё // Вестник СГУГиТ. - 2021. №1 (26). - С. 57–67.

160 Швигер, Фолькер. Оценка качества инженерно-геодезических работ в строительстве [Текст] / Фолькер Швигер, Ли Чжан, Йюрген Швейцер // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 3 (16) – С. 25–45.

161 Шевня, М. С. Использование беспилотных летательных аппаратов для получения материалов дистанционного зондирования Земли [Текст] / М. С. Шевня // Геодезия и картография. – 2013. – Вып. 1. – С. 44–50.

162 Шеховцов, Г. А. Единый алгоритм уравнивания, оценки точности и оптимизации геодезических засечек: монография [Текст] / Г. А. Шеховцов ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н.Новгород : ННГАСУ. - 2017. –123 с.

163 Шоломицкий, А. А. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка [Текст] / А. А. Шоломицкий, Е. К. Лагутина, Е. Л. Соболева // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–59.

164 Шульц, Р. В. Наземное лазерное сканирование в задачах инженерной геодезии [Текст] / Р. В. Шульц. – Германия : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 339 с.

165 Электронные тахеометры / компании «ГЕКСАГОН ГЕОСИСТЕМС РУС» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://geosystems.ru/shop/takheometry/>

- 166 Ямбаев, Х. К. Геодезическое инструментоведение [Текст] / Х. К. Ямбаев. – М. : Академический проект, 2011. – 585 с.
- 167 Ямбаев, Х. К. Инженерно-геодезические инструменты и системы [Текст]: учеб. пособие для вузов. – М. : МИИГАиК, 2012 – 462 с.: ил.
- 168 Ямбаев, Х. К. Некоторые аспекты цифровой технологии геодезического мониторинга и диагностики несущих конструкций уникальных инженерных сооружений [Текст] / Х. К. Ямбаев. // Вестник СГУГиТ – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 138–153.
- 169 Яндров, И. А. Возможности использования спутниковых методов в процессе строительства [Текст] / И. А. Яндров // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –2007. –№ 5. – С. 36–43.
- 170 Яндров, И.А. Некоторые аспекты применения координатного метода разбивочных работ в строительстве [Текст] // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 5. – С. 41–47.
- 171 Янков, И. Р. Методы исследования устойчивости исходных пунктов в геодезических сетях [Текст] / И. Р. Янков // Сборник статей по итогам научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 229-летию МИИГАиК. - М .: - 2008. - Вып.1 - С. 24-29.
- 172 Acar, M. Deformation analysis with total least squares [Text] / M. Acar and others // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., № 6. – 2006. – PP. 663-669.
- 173 Agisoft Metashape Professional Edition : руководство пользователя. Версия 1.5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf
- 174 Deformation measurement using terrestrial laser scanning at the hydropower station of Gabeikovo [Text] / T. Schäfer, T. Weber, P. Kyrinovič, M. Zámečnicková // INGEO and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, November 11–13 2004.
- 175 Digital elevation model from non-metric camera in UAS compared with lidar technology [Text] / O. M. Dayamit, M. F. Pedro, R. R. Ernestoa, B. L. Fernandoa // International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics : The

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (30 Aug–02 Sep 2015). – Toronto, Canada, 2015. Vol. XL–1/W4. – P. 411–413.

176 Easy Trace v 8.0. Руководство пользователя [Электронный ресурс] – режим доступа: https://www.studmed.ru/view/easy-trace-v8-pro-rukovodstvo-polzovatelya_fb89f9743c2.html.

177 Fröhlich, C. Terrestrial laser scanning – new perspectives in 3d surveying [Text] / C. Fröhlich, M. Mettenleiter // International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, Vol. XXXVI– 8/W2, 2005. – PP.7-13.

178 Geodetic base for the construction of ground-based facilities in a tropical climate [Text]/ A. V. Nikonov, N. S. Kosarev, O. V. Solnyshkova, I. V. Makarikhina // E3S Web Conferences : Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). – 2019. – Vol. 91. – P. 07-19.

179 Gordon, S. Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners [Text] / S. Gordon, D. Lichti, J. Franke, M. Stewart // 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering. – Nottingham, U. K, 2004. – 16 pp.

180 Jernigan, F. BIG BIM little bim. Second edition [Text] / F. Jernigan // Salibrary: 4 Site Press, 2008. – 328 p.

181 Luccio, M. The Concrete and the Clay: Monitoring Large-Structure Deformation [Text] / M. Luccio // GPS World. – 2002. – Vol. 13, No. 8. – PP. 16 –19.

182 Novoselov, D. The introduction of three-dimensional virtual elevation models in the educational process [Text] / Novoselov D. // International Federation of Surveyors FIG, Commission 2 – Professional Education “Global trends and convergence in Surveying Education” Moscow – Russia, 26-28 September, 2012.

183 Tejkal, M. The application of laserscan system in the field of building documentation [Text] / M. Tejkal // GEODIS news. English edition. 2004. - PP. 26–27.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ ОПОРНОГО ПОЛИГОНА ОФ
«РАСПАДСКАЯ»

Название секции	Превышения по годам (мм)						
	2005г. (11*)	2006г. (12)	2007г. (13)	2008г. (14)	2009 г. (15)	2010 г. (16)	2011 г. (17)
Ро1-Ро3	-15271,5	-15269,3	-15276,4	-15274,3	-15273,1	-15272,8	-15272,7
Ро3-Ро4	-448,1	-451,2	-447,3	-447,8	-447,1	-448,3	-447,4
Ро4-Ро1	15720,3	15726,4	15717,7	15719,6	15719,8	15719,7	15720,3
Невязки	0,7	5,9	-6,0	-2,5	-0,4	-1,4	1,1

Продолжение таблицы

Название секции	Превышения по годам (мм)						
	2012 г. (18)	2013 г. (19)	2014 г. (20)	2015 г. (21)	2016 г. (22)	2018 г. (23)	Среднее
Ро1-Ро3	-15272,7	-15271,4	-15273,7	-15273,1	-15273,0	-15273,3	-15272,8
Ро3-Ро4	-447,9	-448,5	-447,4	-447,0	-446,9	-447,8	-447,6
Ро4-Ро1	15719,2	15720,3	15720,6	15721,0	15721,1	15720,4	15720,5
Невязки	-1,3	0,4	-0,5	0,8	1,1	-0,7	0,8

*В скобках приведены номера циклов измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

МОНИТОГИНГ СТРОИТЕЛЬСТВА КРУПНОГО ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛА

При строительстве крупной угольной обогатительной фабрики производился мониторинг строительства с помощью БЛА. Каждый месяц выполняется съёмка всей строительной площадки, площадью 20 га. Накопленные данные позволяют вовремя замечать отклонения от проекта и дефекты строительных конструкций, предотвращать обрушения и аварийные ситуации и решать спорные вопросы, которые возникают в процессе строительства. Используя облака точек, можно осуществлять расчёты земляных работ, обратной засыпки строительных конструкций, проверку габаритов строительных конструкций, проектирование подъездных дорог и временных складов в соответствии со строительным генпланом.



Облако точек, полученное с БЛА в июне 2018 г.



Облако точек, полученное с БЛА в августе 2018 г.



Облако точек, полученное с БЛА в октябре 2018 г.



Облако точек, полученное с БЛА в апреле 2019 г.



Облако точек, полученное с БЛА в июне 2019 г.



Облако точек, полученное с БЛА в сентябре 2019 г.



Облако точек, полученное с БЛА в апреле 2020 г.



Облако точек, полученное с БЛА в июне 2020 г.



Облако точек, полученное с БЛА в сентябре 2020 г.



Облако точек, полученное с БЛА в марте 2021 г.



Облако точек, полученное с БЛА в мае 2021 г.