

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

На правах рукописи

Олейникова Елена Алексеевна



Совершенствование методики выполнения инженерно-геодезических
работ для мониторинга деформационного состояния подрабатываемых
территорий и инженерных сооружений

1.6.22. Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Уставич Георгий Афанасьевич

Новосибирск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И РАСПОЛОЖЕННЫХ НА НЕЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	9
1.1 Общие положения по определению деформационного состояния земной поверхности на подрабатываемых территориях	9
1.2 Анализ геодезических методов и средств определения деформационного состояния природных объектов, инженерных сооружений и технологического оборудования по высоте.....	15
1.3 Способы и средства определения деформационного состояния природных объектов, инженерных сооружений и оборудования в плане	29
1.4 Постановка задач исследований.....	34
2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	37
2.1 Общие требования к проведению деформационного мониторинга земной поверхности и инженерных сооружений.....	37
2.2 Краткая характеристика подрабатываемой территории горнорудного месторождения Кентобе.....	39
2.3 Разработка технологической схемы производства геодезических работ на горнорудном месторождении Кентобе	46
2.4 Разработка методики определения устойчивости бортов карьеров с применением наземного лазерного сканирования	53
2.4.1 Технология лазерного сканирования на подрабатываемых территориях.....	53
2.4.2 Методика наблюдений за состоянием бортов и отвалов с применением наземного лазерного сканера	60

2.5 Методика мониторинга деформаций бортов карьера горным лазерным сканером	67
2.6 Методика наблюдений за просадками земной поверхности в результате ведения горных работ.....	78
2.7 Мониторинг деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях	84
2.8 Исследование процесса деформации прибортового массива Карачарского карьера	96
2.9 Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера Кентобе.....	105
3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	114
3.1 Особенности производства геодезических работ на подрабатываемых территориях	114
3.2 Совершенствование методики определения смещений земной поверхности тригонометрическим нивелированием короткими лучами веерообразным способом	118
3.3 Обоснования цикличности и точности выполнения измерений для мониторинга деформационного состояния инженерных сооружений	128
3.4 Разработка схемы создания тахеометрами планово-высотной сети на подрабатываемых территориях	133
3.5 Определение осадок инженерных сооружений тригонометрическим нивелированием веерообразным способом	139
3.6 Технологическая схема определения геометрических параметров подкрановых конструкций инженерных сооружений на подрабатываемых территориях	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	155
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	157

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Для обеспечения процесса строительства и безопасной эксплуатации инженерных сооружений и применяемого оборудования различного назначения требуется разработка соответствующих технологических схем производства инженерно-геодезических измерений. При этом применяемая методика и приборы для выполнения измерений должны учитывать условия производства работ. К таким условиям относится и выполнение измерений на обрабатываемых территориях и неустойчивых грунтах. Вызванные указанными явлениями деформации земной поверхности могут стать причиной повреждений и разрушений инженерных сооружений и применяемого технологического оборудования. Для проведения контроля и оценки состояния наблюдаемых объектов, а также определения эффективности выбранных мер предотвращения разрушений проводятся соответствующие инженерно-геодезические измерения. Эти измерения на указанных территориях являются основой инженерной геодинамики, в задачу которой входит определение взаимного положения точек земной поверхности, в том числе находящихся на ней инженерных сооружений. Своевременное прогнозирование сдвижений и деформаций земной поверхности позволяет заблаговременно предпринять меры и снизить негативные последствия на природные и техногенные объекты при ведении различных работ: строительство инженерных сооружений, линейных объектов, ведение горных работ и т. д. Результаты геодезического мониторинга деформационного состояния земной поверхности являются основанием для определения характера развития деформаций, а также их воздействия на объекты, расположенные в деформируемой зоне.

К настоящему времени в научно-технической литературе достаточно хорошо освещены вопросы применения спутниковых технологий, тахеометров и цифровых нивелиров для выполнения высокоточных инженерно-геодезических измерений при решении различных задач. Однако исследования по разработке технологических схем производства высокоточных инженерно-геодезических измерений для определения деформационного состояния рассматриваемого типа территорий и располо-

женных на них инженерных сооружений с применением указанных приборов выполнены в недостаточном объеме. В связи с этим совершенствование методики производства высокоточных инженерно-геодезических измерений для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий, а также расположенных на них инженерных сооружений является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы. Разработкой методов, средств и методик производства высокоточных инженерно-геодезических измерений за деформационным состоянием природных и техногенных объектов занимались такие ученые в области прикладной геодезии, как Брайт П. И., Брынь М. Я., Буюкян С. П., Васютинский И. Ю., Гуляев Ю. П., Волков В. И., Жуков Б. Н., Карлсон А. А., Карпик А. П., Кафтан В. И., Ключин Е. Б., Колмогоров В. Г., Конусов В. Г., Лебедев Н. Н., Левчук Г. П., Мазуров Б. Т., Ознамец В. В., Пискунов М. Е., Рязанцев Г. Е., Сердаков Л. Е., Симонян В. В., Соловицкий А. Н., Хорошилов В. С., Ямбаев Х. К. и многие другие.

Большой вклад в изучение геомеханических процессов внесли ученые горняки Борщ-Компониец И. А., Демин А. М., Ержанов Ж. С., Иофис М. А., Макаров А. Б., Машанов А. Ж., Мустафин М. Г., Низаметдинов Ф. К., Нурпеисова М. Б., Оглоблин Д. Н., Ожигин С. Г., Попов И. И., Трубецкой К. Н., Турчанинов И. А., Фисенко Г. Л., Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Шоломицкий А. А. и другие.

Целью исследований является совершенствование методики производства инженерно-геодезических измерений для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий, а также находящихся на них инженерных сооружений.

Основные задачи исследований:

– выполнить анализ существующих способов, методик и средств выполнения инженерно-геодезических измерений, предназначенных для определения деформационного состояния природных объектов, инженерных сооружений и соответствующего технологического оборудования;

– разработать технологическую схему построения геодезического обоснования для создания координатного пространства на подрабатываемых территориях горнорудных месторождений и расположенных на них инженерных сооружений;

– усовершенствовать методику производства высокоточных инженерно-геодезических измерений для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и находящихся на ней инженерных сооружений;

– с использованием результатов лазерного сканирования выполнить мониторинг деформационных процессов, протекающих на подрабатываемых территориях, с применением 3D-моделирования;

– выполнить совершенствование методики определения деформационного состояния системы «подрабатываемая территория – инженерное сооружение – подкрановые конструкции» с применением тахеометров;

– провести апробацию и внедрение предложенных методик производства инженерно-геодезических измерений при эксплуатации горнорудного месторождения «Кентобе» и находящихся на нем инженерных сооружений.

Объект научного исследования. Объектом исследования являются подрабатываемые территории горнорудных месторождений и расположенные на них инженерные сооружения (на примере месторождения «Кентобе»).

Предмет исследований – методика инженерно-геодезических измерений за деформационным состоянием подрабатываемых территорий и находящихся на них инженерных сооружений с применением тахеометров и технологии наземного лазерного сканирования.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

– разработана технологическая схема создания геодезического обоснования с учетом геологического строения подрабатываемых территорий и расположенных на них инженерных сооружений;

– разработана методика производства инженерно-геодезических измерений с использованием тахеометров и наземных лазерных сканеров, позволяющая выполнять определение деформационного состояния бортов карьеров горнорудного месторождения «Кентобе», а также подрабатываемых территорий и находящихся на них инженерных сооружений;

– усовершенствована методика выполнения инженерно-геодезических измерений, которая позволяет определить деформационное состояние инженерных со-

оружий и технологического оборудования, расположенных на подрабатываемых территориях, вследствие сдвижения земной поверхности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании методики определения деформационного состояния бортов карьеров и подрабатываемых территорий горнорудных месторождений, а также находящихся на них инженерных сооружений с применением тахеометров и наземных лазерных сканеров.

Практическая значимость заключается в возможности определять деформационное состояние подрабатываемых территорий горнорудных месторождений, а также находящихся на них инженерных сооружений и принимать соответствующие управленческие решения для их безопасной эксплуатации.

Методология и методы исследования включают в себя проведение теоретических исследований с использованием теории вероятности, математической статистики, а также теории ошибок измерений и методы реализации результатов измерений в лабораторных и производственных условиях.

Положения, выносимые на защиту:

– разработанная технологическая схема построения геодезического обоснования с учетом геологического строения подрабатываемых территорий горнорудных месторождений позволяет с требуемой точностью создать координатное пространство для выполнения 3D-моделирования;

– усовершенствованная методика инженерно-геодезических работ с применением тахеометров и наземных лазерных сканеров позволяет определять деформационное состояние подрабатываемых территорий, а также расположенных на них инженерных сооружений;

– разработанная методика определения пространственного положения подкрановых конструкций инженерных сооружений позволяет определять их деформационное состояние в зависимости от смещений подрабатываемой территории, определять условия их безопасного функционирования и выполнять прогноз их деформационного состояния на весь период эксплуатации горнорудного месторождения.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует областям исследования: 9 – Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры и ее поверхности, вызванного техногенными и природными факторами, в том числе в сейсмоопасных и вулканических районах, в областях разработки полезных ископаемых, на подземных хранилищах газа и др. Исследования атмосферы, ионосферы и космической погоды с использованием спутниковых геодезических наблюдений; 11 – Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования и других прикладных задач. Тематика диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.6.22. Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки РФ по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Результаты исследований прошли апробацию при участии автора на предприятиях АО «АрселорМиттал Темиртау». Основные положения диссертации обсуждались и были одобрены на международных научных конгрессах «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018», «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019», «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2020».

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 18 научных статьях, 5 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, и 5 публикаций – в журналах, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 171 страницу машинописного текста. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований, содержит 23 таблицы и 62 рисунка.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И РАСПОЛОЖЕННЫХ НА НЕЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1 Общие положения по определению деформационного состояния земной поверхности на подрабатываемых территориях

При разработке полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений (площадных и линейных) имеют место деформации земной поверхности, которые можно условно разделить на следующие виды по их происхождению [2, 8, 17, 30, 36, 39, 40, 41, 59, 113, 117]:

- деформации (сдвигения), вызванные разработкой горнорудных месторождений;
- деформации (прогибы), вызванные разработкой нефтегазовых месторождений;
- деформации (сжатие), вызванные весом инженерных сооружений при их строительстве и эксплуатации;
- оползни (смещение), вызванные нарушением структуры грунта вследствие землетрясения и деятельности человека.

Сдвигения и деформации горных пород и земной поверхности приводят к разрушению инженерных сооружений, находящихся на подрабатываемой территории. Наиболее заметные деформации земной поверхности происходят на подрабатываемых территориях, а также при разработке горнорудных месторождений открытым способом.

Поэтому для обеспечения нормальной работы предприятий, находящихся на подрабатываемых территориях, а также при разработке горнорудных месторождений выполняется определенный комплекс геодезических и маркшейдерских работ по определению сдвижений земной поверхности (деформационного состояния подрабатываемых территорий), а также находящихся на них инженерных сооружений.

Одним из основных видов работ, выполняемых при разработке рудных месторождений, являются маркшейдерские и геодезические работы, предназначенные для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и находящихся на них инженерных сооружений в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Технологические схемы их производства регламентируются соответствующими нормативными документами [17, 38–41, 58–60].

Кроме сдвижений земной поверхности, вызванных собственно добычей полезных ископаемых, имеют место и оползневые явления на склоновых участках, которые могут появиться в том числе и вследствие влияния указанного выше фактора. Оползневые процессы являются сложными природно-техническими явлениями, которые оказывают негативное воздействие, часто и катастрофическое, на природные и техногенные объекты. При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, которые были построены на территориях, подверженных оползневым процессам, имеется потенциально реальная угроза нарушения их прочности и устойчивости.

Поэтому одной из основных составляющих мониторинга сдвижений земной поверхности на подрабатываемых и оползневых территориях, а также расположенных на ней инженерных сооружений (техногенных объектов), является геодезический мониторинг, который позволяет в реальном режиме времени определять их пространственно-временное положение с необходимой точностью и периодичностью. Он также позволяет с большой достоверностью выполнить прогноз развития деформационных процессов.

Оперативность и достоверность полученных результатов измерений в значительной степени зависит от принятой технологической схемы выполнения данных работ. Кроме того, при создании и использовании геодезических и маркшейдерских планово-высотных сетей не учитываются величины ошибок исходных данных, к которым относятся, в первую очередь, перемещение (оседание, смещение) пунктов исходной основы; это перемещение обусловлено деформациями дневной поверхности.

Производство инструментальных наблюдений за деформационным состоянием земной поверхности позволяет решить две основные задачи инженерной геодезии:

- определение величин и направления сдвижения земной поверхности;
- мониторинг деформационного состояния находящихся на ней инженерных сооружений и технологического оборудования.

Инструментальные наблюдения за деформационным состоянием земной поверхности также являются неотъемлемой частью геодезического обеспечения горных работ на угольных шахтах, и они производятся практически на всем протяжении жизненного цикла горного предприятия. Полученные результаты геодезических измерений необходимы для решения следующих задач:

- установления параметров процесса сдвижения земной поверхности;
- установления связи между деформациями земной поверхности и возникающими вследствие этого деформациями инженерных сооружений, расположенных на подрабатываемой территории;
- разработки мер охраны зданий и инженерных сооружений от вредного влияния подземных работ;
- выбора наиболее рациональных способов добычи под объектами, расположенными на дневной поверхности;
- проведения прогноза сдвижений земной поверхности при ведении различных горно-геологических и горнотехнических работ.

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности производятся при открытых и подземных разработках полезных ископаемых. Эти наблюдения проводят на наблюдательных станциях, которые состоят из сети реперов, закладываемых по профильным линиям.

В зависимости от решаемых задач различают следующие типы наблюдательных станций [17, 39–41, 58–60]

- наземные наблюдательные станции, которые предназначены для определения величин сдвижения земной поверхности;

- подземные наблюдательные станции, которые предназначены для определения величин сдвига и деформаций толщи пород;
- специальные наблюдательные станции, которые предназначены для контроля за состоянием подрабатываемых объектов, а также определения их деформационного состояния.

Согласно п. 4.2 нормативного документа [40], специальные наблюдательные станции на земной поверхности закладываются при подработке инженерных сооружений, гражданских жилых и общественных зданий, технологического оборудования, железных дорог и транспортных сооружений (мостов, путепроводов) и других техногенных объектов. Также согласно п. 4.3 данного документа, на специальных наблюдательных станциях производятся измерения с целью определения сдвигов и деформаций земной поверхности, а также расположенных на ней инженерных сооружений (подрабатываемых объектов).

Целью наблюдений за деформационным состоянием подрабатываемых территорий и оползнями, а также расположенных на них инженерных сооружений, является:

- определение границ распространения деформаций, ее вида, а также скорости и величины;
- определение величин деформаций, расположенных на указанных территориях инженерных сооружений;
- разработка мероприятий по предотвращению (ослаблению) возможных опасных деформаций земной поверхности и инженерных сооружений;
- прогнозирование развития деформационных процессов и возможного их влияния на инженерные сооружения различной конструкции.

Для решения данных задач применяются маркшейдерские и инженерно-геодезические методы и средства измерений.

Обобщенная технологическая схема производства маркшейдерских и инженерно-геодезических работ приведена на рисунке 1.1.

Применительно к геодезической части выполняемых работ необходимо отметить следующее. К настоящему времени наиболее хорошо разработаны и широко применяются наземные методы выполнения маркшейдерских и инженерно-геодезических работ, требования к которым регламентируются научно-технической литературой и нормативными документами [2, 17, 31–33, 36–41, 56, 59, 60, 87].

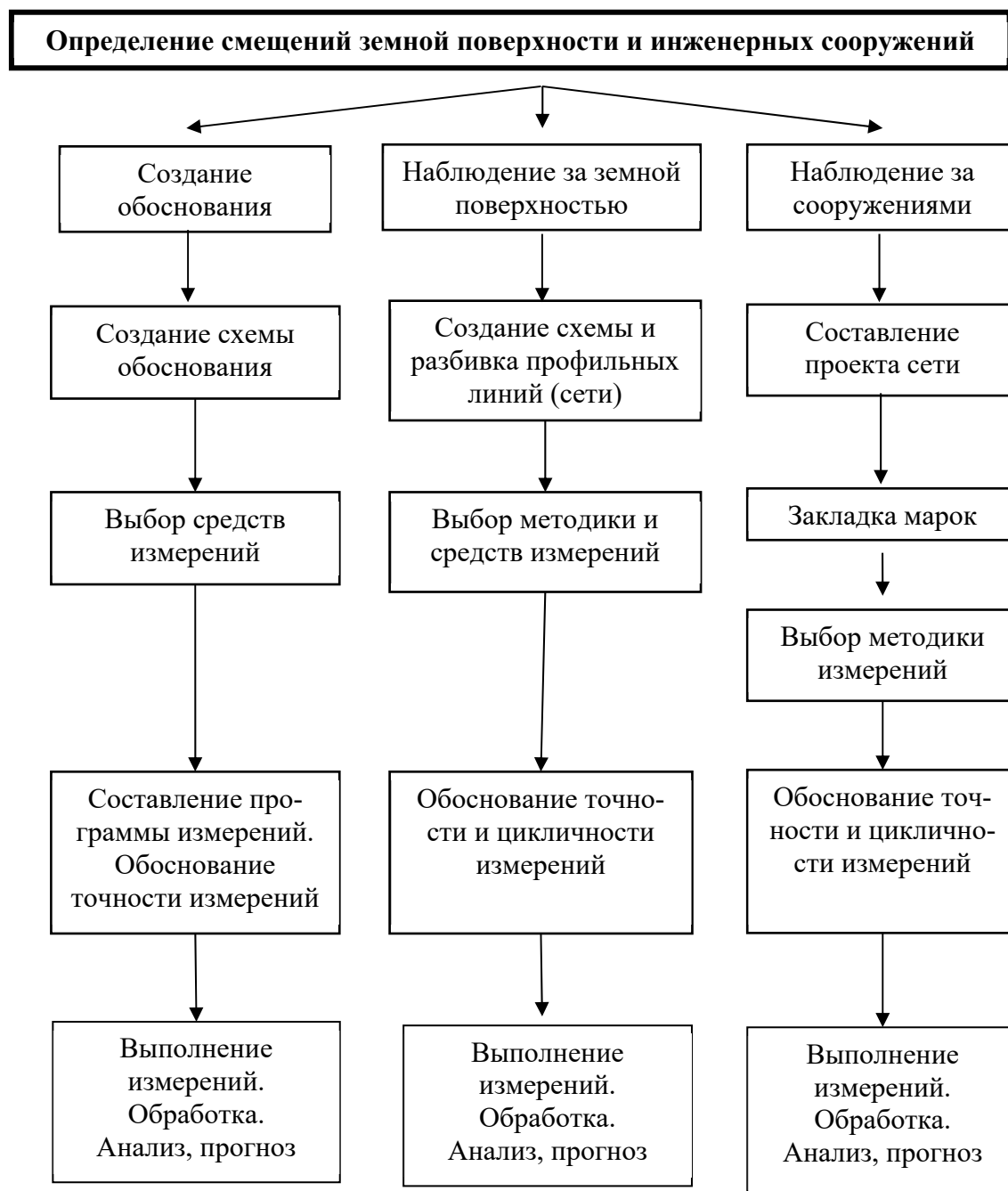


Рисунок 1.1 – Обобщенная технологическая схема производства инженерно-геодезических работ

В связи с этим необходимо отметить следующее. С точки зрения современного уровня развития геодезического приборостроения эти документы технологически устарели в части применяемых приборов. Появление в геодезическом и маркшейдерском производстве тахеометров, цифровых нивелиров, наземных и воздушных сканеров, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет существенно изменить технологическую схему производства работ, значительно повысить точность и производительность выполнения соответствующих видов измерений.

К настоящему времени при разработке месторождений начали широко применяться виды геодезических работ, приведенные на рисунке 1.2. Это относится к выполнению работ по определению деформационного состояния подрабатываемых территорий, а также к расположенным на них инженерным сооружениям и применяемому на них технологическому оборудованию.

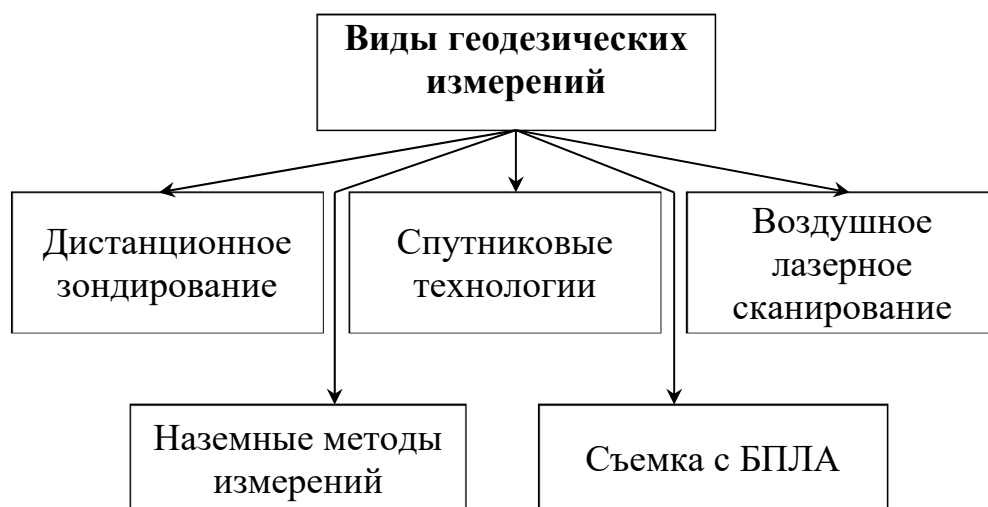


Рисунок 1.2 – Применяемые виды геодезических работ при мониторинге земной поверхности

В последние годы для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий начали применяться высокоточные тахеометры, наземные лазерные сканеры и съемка с применением БПЛА [50].

Поэтому на повестку дня встает научно-техническая задача по разработке и обобщению технологических схем производства маркшейдерских и инженерно-

геодезических работ с учетом технических возможностей современных геодезических приборов и технологий. К настоящему времени имеется значительное количество публикаций по данной тематике, а также практической реализации предлагаемых методик измерений. Обобщение опыта применения этих методик, а также разработка новых позволит создать новый нормативный документ, регламентирующий данную область производства маркшейдерских и инженерно-геодезических работ.

1.2 Анализ геодезических методов и средств определения деформационного состояния природных объектов, инженерных сооружений и технологического оборудования по высоте

Для определения геометрических параметров природных объектов, различных инженерных сооружений и применяемого технологического оборудования по высоте в зависимости от решаемых задач применяются различные способы и средства измерений.

Геометрическое нивелирование. Геометрическое нивелирование является наиболее распространенным способом определения высотного положения природных объектов, элементов строительных конструкций инженерных сооружений и частей применяемого оборудования по высоте [15, 20, 26, 37, 48, 77, 79, 89]. С его помощью производятся нивелирования для решения следующих задач:

- создания и обновления высотной сети страны;
- обеспечение монтажа элементов строительных конструкций на стадии строительства зданий и сооружений;
- обеспечения монтажа применяемого технологического оборудования;
- определения деформационного состояния различных природных объектов (наблюдение за оползнями, движениями земной поверхности на геодинамических полигонах, опусканием земной поверхности на подрабатываемых территориях и т. д.);
- определения деформационного состояния строительных конструкций инженерных сооружений и частей применяемого оборудования на стадии эксплуатации.

В зависимости от вида решаемых задач применяются разные методики выполнения геометрического нивелирования и схемы создания нивелирных сетей.

Таким образом, в общем виде нивелирная сеть подразделяется на государственную нивелирную сеть, нивелирные сети на геодинимических полигонах, сети местного назначения и локальные высотные нивелирные сети специального назначения, которые используются на промплощадках.

Государственное нивелирование I, II, III, IV классов. Государственная нивелирная сеть РФ (СССР) подразделяется (таблица 1.1) на нивелирную сеть I, II, III, IV классов [23]. Государственная нивелирная сеть создавалась по принципу перехода от общего к частному, т. е. на основе более точных нивелирных сетей развивались менее точные сети. В этом случае после создания нивелирной полигонов сети I класса на ее основе создается нивелирная сеть II класса, а на основе нивелирной сети II класса создаются нивелирные сети III с последующим созданием (сгущением) сетей IV класса [23].

Таблица 1.1 – Основные характеристики нивелирования I, II, III и IV классов

Наименование показателя	I класс	II класс	III класс	IV класс
СКО мм/км, не более	0,8	2,0	5,0	10,0
Допустимая невязка в полигонах и по линиям нивелирования, мм	3 мм \sqrt{L}	5 мм \sqrt{L}	10 мм \sqrt{L}	20 мм \sqrt{L}
Нормальная длина визирного луча, м	50	65	75	100
Максимальная длина визирного луча, м	50	75*	100**	150**
Допустимое неравенство плеч на станции, м	0,5	1,0	2,0	5,0
Допустимое накопление неравенства плеч по секции, м	1,0	2,0	5,0	10,0
Минимальная высота луча визирования над подстилающей поверхностью при нормальной длине визирного луча, м	0,8	0,5	0,3	0,2
Минимальная высота луча визирования над подстилающей поверхностью при укороченной длине визирного луча (до 25 м), м	0,5	0,3	–	–
Допустимая разность превышений по красной и черной сторонам реек (по основной и дополнительной шкалам), мм	0,5	0,7	3,0	5,0
Примечания				
* При увеличении зрительной трубы не менее 44 ^x и хорошей видимости.				
** При увеличении зрительной трубы не менее 35 ^x и хорошей видимости.				

Сети геометрического нивелирования I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории РФ, а также стран СНГ. В качестве системы счета высот в государственной нивелирной сети принята нормальная система высот, называемая Балтийской, а на промышленных площадках может использоваться условная система высот.

С помощью нивелирных сетей I и II классов решаются следующие научно-технические и производственные задачи [23]:

- изучение фигуры физической поверхности Земли и ее внешнего гравитационного поля;
- определение разности высот и наклонов среднеуровенных поверхностей морей и океанов, которые омывают территорию России;
- определение вертикальных перемещений отдельных участков земной поверхности на созданных геодинимических полигонах;
- создание высотной основы на промышленных площадках в период строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Создаваемые нивелирные на геодинимических полигонах сети I и II классов, например, на нефтегазовых промыслах, предназначаются для изучения движений земной поверхности на данной территории, обусловленных откачкой нефти и газа, выявления активных поверхностных и глубинных разломов земной коры. В этом случае для каждого месторождения разрабатывается схема создания нивелирной сети с размещением реперов, методика выполнения высокоточных нивелирных работ, устанавливаются периметры нивелирных полигонов, а также периодичность проведения циклов высокоточного нивелирования.

В состав нивелирных сетей I и II классов включаются также пункты плановой государственной спутниковой геодезической сети: фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), высотной геодезической сети (ВГС), а также спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1).

Нивелирная сеть I класса строится с наивысшей точностью, которую можно получить в настоящее время, применяя современные приборы и методики наблю-

дений [23]. Такая сеть представляет собой замкнутые полигоны с периметрами до 1 000–2 000 км в необжитых районах и до 400–1 200 км в обжитых районах. На геодинамических полигонах их периметр находится в пределах 35,0–40,0 км. Нивелирные ходы прокладываются преимущественно по твердым грунтам (с целью ослабления влияния оседания костылей): вдоль шоссейных, железных, автомобильных и грунтовых дорог, а в труднодоступных районах они прокладываются по берегам рек, озер, тропам и зимникам. Такие ходы прокладываются в прямом и обратном направлениях одновременно по двум парам костылей (или парам деревянных кольев), которые образуют две отдельные линии нивелирования: правую и левую. В этом случае при в нивелирном ходе I класса на нивелирной станции измеряется восемь превышений. Для нивелирования I класса нормальная длина визирного луча должна быть не более 50 м. Согласно требованиям данной инструкции прямой и обратный ходы прокладываются, преимущественно, по одной и той же трассе отдельными участками, секциями, общей длиной 25–30 км. С целью значительного ослабления влияния на результаты нивелирования вертикальной рефракции нивелирные ходы, как правило, прокладываются в разные половины дня.

Нивелирная сеть II класса создается внутри полигонов I класса в виде отдельных линий и полигонов с привязкой их к вековым и фундаментальным реперам нивелирования I класса. В отличие от нивелирования I класса, ходы II класса прокладываются в прямом и обратном направлениях по одной паре костылей (колева). Для нивелирования II класса нормальная длина визирного луча должна быть равной 65 м, а при благоприятных условиях ее можно увеличить до 75 м. Средний периметр полигона II класса в обжитых районах составляет 400 км, а в малообжитых 1 000 км. На геодинамических полигонах их периметр находится в пределах 15,0–20,0 км. Линии нивелирования I и II классов также прокладываются по трассам с наиболее благоприятными грунтовыми условиями: вдоль шоссейных или железных дорог, а в труднодоступных районах – по берегам рек, тропам и зимникам.

В соответствии с требованиями инструкции [23], нивелирование I и II классов должно выполняться высокоточными нивелирами с цилиндрическим уровнем типа

Н-05, Н1 и Ni004 с увеличением зрительной трубы не менее 40^{\times} и ценой деления уровня не более 12", а также нивелирами с компенсатором типа Ni002 – для нивелирования I класса и Ni007 – для нивелирования II класса. Их применение позволяет повысить производительность труда до 30–35 %, и поэтому они получили наибольшее применение. В настоящее время доля таких нивелиров составляет до 90 %.

В последние 10–15 лет для выполнения нивелирования I и II классов начали применяться цифровые нивелиры типа DiNi12, DiNi10. Однако к настоящему времени их использование регламентируется только временной инструкцией по нивелированию. Согласно ее требованиям, нивелирование I класса может выполняться по одной или двум линиям нивелирования в прямом и обратном направлениях. Если нивелирование выполняется по одной линии, то длина визирного луча не должна быть больше 45,0 м, а при выполнении нивелирования по двум линиям – не более 60,0 м. Для увеличения числа измеряемых на станции превышений нивелирование выполняется при двух горизонтах инструмента. Изменение горизонта необходимо производить подъемными винтами на 3,0–4,0 мм. В этом случае практически не нарушается устойчивость системы «штатив – цифровой нивелир». Если изменение горизонта нивелира выполнять ножками штатива, то нарушается стабилизация положения указанной системы.

Применение цифровых нивелиров по сравнению с нивелирами с визуальным отсчитыванием имеет целый ряд существенных преимуществ:

- электронное взятие отсчетов по штрихкодовой рейке и их запись, вычисление превышения;
- введение поправок в превышение за влияние величины угла i ;
- контроль допусков на неравенство плеч, СКО измерений при выполнении нивелирования на нивелирной станции;
- контроль установки нивелира и его положения в процессе выполнения измерений на станции.

Вместе с тем недостатком цифровых нивелиров является влияние засветок от солнечных лучей или искусственного освещения, которые попадают в объектив во

время взятия отсчета по штрихкодовой рейке. В этом случае происходит засветка ПЗС-линейки, что затрудняет работу процессора нивелира в распознавании кодовой комбинации штрихкодовой рейки. Для исключения этого влияния наблюдателю приходится выбирать нивелирную станцию с таким расчетом, чтобы визирный луч цифрового нивелира попадал на штрихкодovou рейку без наличия засветок. Это обстоятельство приводит к увеличению времени на выбор нивелирной станции, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени на выполнение измерений на станции и в нивелирном ходе в целом.

Другим недостатком цифровых нивелиров является тот факт, что для обеспечения взятия отсчета по штрихкодовой рейке необходимо наличие на ней видимого участка длиной не менее 320 мм. При выполнении нивелирования в условиях заселенной местности выполнение этого требования сопряжено со значительными трудностями.

Нивелирная сеть III класса образуется путем сгущения нивелирных сетей II класса. Исходными реперами для нее являются реперы II класса. Однако, в целом ряде случаев привязка ходов III класса производится и к реперам I класса. Нивелирные ходы могут прокладываться как отдельными линиями, так и в виде системы ходов. При этом каждый полигон нивелирования II класса должен состоять из 6–9 полигонов III класса периметром менее 150 км. Нивелирные ходы III класса также прокладываются в прямом и в обратном направлениях по одной паре костылей (деревянных кольев), по возможности с четным числом станций для каждой из секций. В результате этого при выполнении нивелирования III класса в ходе измеряется четыре превышения.

Длина визирного луча для нивелирования III класса не должна превышать 75,0 м, но при благоприятных условиях ее можно увеличить до 100,0 м.

Нивелирные сети IV класса прокладываются внутри полигонов нивелирования III класса. При этом каждая линия нивелирования IV класса должна опираться обоими концами на реперы высших классов, или на узловые реперы нивелирования IV класса. В этом случае также образуются замкнутые полигоны.

В отличие от нивелирных сетей I, II и III классов ходы нивелирования IV класса прокладываются только в одном направлении вследствие чего в ходе измеряется два превышения.

При выполнении нивелирования III и IV класса могут применяться нивелиры с уровнем или с компенсаторами, а также цифровые нивелиры. Нормальная длина визирного луча равна 100 м, а при благоприятных условиях она может быть увеличена до 150 м. Если нивелирование выполняется цифровым нивелиром, то для получения на станции два превышения измерения необходимо выполнять при двух горизонтах инструмента.

Общим для всех классов требованием является применение на станции симметричной программы наблюдений, т. е. ЗППЗ и ПЗЗП.

При выполнении высокоточного нивелирования на геодинимических полигонах с целью повышения точности измерений в целом ряде случаев длина визирного луча уменьшается до 25,0–30,0 м. Кроме того, нивелирование, как правило, производится по ранее забитым колышкам (колышкам), что значительно уменьшает систематическую ошибку за влияние их перемещения.

Другой важной областью применения высокоточного нивелирования является нивелирование, предназначенное для обеспечения строительства инженерных сооружений, в том числе и уникальных, а также монтажа применяемого технологического оборудования. По окончании их возведения высокоточное нивелирование применяется для определения деформационного состояния указанных инженерных сооружений.

Геометрическое нивелирование короткими лучами. В связи с тем, что условия выполнения высокоточного нивелирования на промплощадке значительно отличаются от полевых условий, на кафедре прикладной геодезии МИИГАиК [15, 52, 79], а также в Государственном специализированном проектном институте (ГСПИ) была разработана методика его выполнения с учетом особенностей его применения. Такими особенностями являются:

- длина визирного луча на промплощадке не превышает в среднем 15,0–25,0 м;

- при обеспечении монтажа технологического оборудования длина визирного луча может составлять 3,0–7,0 м;

- в целом ряде случаев средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения превышения на станции не должна превышать 0,07–0,12 мм.

Необходимо отметить, что в настоящее время высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами является самым распространенным методом определения осадок зданий, сооружений и оборудования. Необходимо отметить, что при благоприятных внешних условиях СКО определения превышения на станции может составить от 0,03 до 0,05 мм при длине визирного луча от 7,0 до 12,0 м [79].

Для обеспечения такой высокой точности измерений превышений на станции необходимо выполнять ряд следующих условий [79]:

- применять поверенные оптические высокоточные нивелиры без наличия повреждений (как правило оптического микрометра), а также цифровые с масштабным коэффициентом, равным единице;

- выполнять нивелирование на станции из середины с неравенством плеч не более 0,10 м;

- при выполнении измерений в условиях резкого перепада температур проводить дополнительную термоизоляцию нивелира с целью уменьшения ошибки за изменение угла i ;

- максимально уменьшать влияние возмущающих воздействий, таких как влияние вибрации основания, турбулентности воздуха, недостаточной освещенности рейки.

Технические допуски на выполнение нивелирования короткими лучами приведены в таблице 1.2.

В таблице 1.3 авторами [111] предлагается классификация разрядов инженерно-геодезического нивелирования с применением цифровых нивелиров.

Таблица 1.2 – Характеристики геометрического нивелирования при наблюдениях за осадками зданий и сооружений [26]

Условия геометрического нивелирования	Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования классов			
	I	II	III	IV
Применяемые нивелиры	Н-05 и равноточные ему		Н-3 и равноточные ему	
Визирный луч: – максимальная длина, м; – минимальная высота над препятствием, м	25 1,0	40 0,8	50 0,5	100 0,3
Неравенство плеч на станции не более, м	0,2	0,4	1,0	3,0
Накопление неравенств плеч в замкнутом ходе не более, м	1,0	2,0	5,0	10,0
Допускаемая невязка ($f_{\text{доп}}$) в замкнутом ходе (n – число станций), мм	$\pm 0,3\sqrt{n}$	$\pm 0,5\sqrt{n}$	$\pm 1,5\sqrt{n}$	$\pm 5,0\sqrt{n}$
СКО измерения превышения на станции $m_{\text{ст}} = f_{\text{доп}} / 2$, мм	0,15	0,25	0,75	2,50
Допускаемая ошибка измерения вертикальных перемещений, мм	1	2	5	10

Таблица 1.3 – Классификация разрядов инженерно-геодезического нивелирования с применением цифровых нивелиров

Разряд нивелирования	Предельная длина визирного луча, м	$m_{\text{ст}}$, мм	Число измеренных превышений на станции	Допустимая высота луча над препятствием и над пяткой рейки, мм	Неравенство расстояний, м		Увеличение зрительной трубы, не менее *	СКО самоустановки компенсатора m''_k
					на станции	в секции		
1	10	0,10	4	0,2 – 0,5	0,1	–	30	0,1"
2	25	0,20	4	0,2 – 1,5	0,3	2,0	30	0,1"
3	50	0,50	2	1,0 – 2,0	1,0	2,0	30	0,5"
4	75	1,00	2	1,0 – 3,0	2,0	5,0	25	0,5"
5	100	3,00	2	–	–	–	20	1,0"

С учетом того, что выполнению нивелирования в значительной степени мешает технологическое оборудование, высокоточное нивелирование производится способом «двух станций». При таком нивелировании оказывается невозможным выполнить указанное выше условие на станции

$$D_3 - D_{II} < \Delta D_{\text{доп}}, \quad (1.1)$$

где D – расстояние от нивелира до рейки.

В этом случае приходится выполнять нивелирование при значительном, до 3,0–15,0 м, неравенстве плеч и, следовательно, на результаты измерений значительное влияние будет оказывать нарушение главного условия нивелира (значение угла i). Для исключения этого влияния в МИИГАиК была разработана методика [79] измерения превышения на нивелирной станции, которая исключает влияние угла i на измеряемое превышение. При реализации данной методики измерение превышения между двумя марками производится нивелированием с двух станций. В этом случае в каждом измеренном превышении будет содержаться ошибка, обусловленная влиянием угла i . Однако в результатах среднего превышения, полученного из двух станций, это влияние будет практически отсутствовать. В результате измерения превышения на первой и второй станции будем иметь [79]

$$h_1 = h + (D'_3 - D'_{II}) \frac{i''}{\rho''} - D_{II} \frac{\Delta i''_1}{\rho''} \quad (1.2)$$

и

$$h_2 = h + (D''_3 - D''_{II}) \frac{i''}{\rho''} + D_3 \frac{\Delta i''_1}{\rho''} - D_{II} \frac{\Delta i''_2}{\rho''}. \quad (1.3)$$

После этого из этих двух превышений вычисляется среднее превышение, измеренное на нивелирной станции

$$h_{\text{ср}} = \frac{1}{2}(h_1 + h_2) = h \left\{ (D'_3 - D''_{II}) + (D''_3 - D'_{II}) \right\} \frac{i''}{2\rho''} + (D_3 - D'_{II}) \frac{\Delta i''}{2\rho} - D''_{II} \frac{\Delta i''_2}{2\rho''}. \quad (1.4)$$

Полученное значение среднего превышения будет содержать в себе только ошибку, вызванную перефокусированием зрительной трубы из двух установок нивелира на станции при визировании на марки.

Из этого следует, что перед началом применения нового нивелира (после его приобретения) необходимо определить величину хода фокусирующей линзы. Если величина хода фокусирующей линзы не приводит к изменению угла i при перефокусировании на величину более чем на $1,0''$, то такими нивелирами можно выполнять высокоточные измерения.

Тригонометрическое нивелирование короткими лучами. Первоначально тригонометрическое нивелирование применялось при следующих геодезических работах:

- определении высот пунктов в сетях триангуляции;
- прокладывании высотных ходов и тахеометрической съемке;
- передаче высот через водные и другие препятствия.

Измерение углов наклона (зенитных расстояний) ранее выполнялось, как правило, теодолитом ОТ-02 (ОТ-02М).

Наибольшее значение для теории и практики производства данного вида геодезических работ имеет определение высот пунктов в сетях триангуляции, так как в этом случае имеют место следующие факторы:

- значительное расстояние между пунктами триангуляции;
- значительное влияние на результаты измерений вертикальной рефракции.

В связи с этим проводились обширные исследования по величине и характеру ее влияния. Наиболее обширные такие исследования точности тригонометрического нивелирования, выполняемого с пунктов триангуляции разных классов, проводились в ЦНИИГАиК. Они были посвящены главным образом исследованию точности тригонометрического нивелирования с пунктов триангуляции высотой 5–30 м для расстояний от 6 до 20 км. В результате исследований было установлено, что наилучшим временем для выполнения тригонометрического нивелирования являются периоды, когда коэффициенты вертикальной рефракции наиболее устойчивы в течение всего дня. Было установлено, что такими периодами являются периоды дня между 9 и 17 часами. Однако также было установлено, что измерение углов наклона необходимо начинать не ранее, чем через три часа после восхода, и заканчивать не позднее, чем за три часа до захода Солнца.

Исследованиями и производственными работами было установлено, что СКО определения превышения между пунктами при расстоянии между ними 5–10 км находится в пределах от 10 до 20 см в зависимости от следующих основных факторов:

- выбора периода наблюдений;
- температуры воздуха;
- формы подстилающей поверхности.

Аналогичные результаты были получены и другими авторами в СССР и за рубежом.

Также были выполнены исследования возможности производства высокоточного тригонометрического нивелирования для измерения осадок и деформаций инженерных сооружений с применением высокоточного теодолита ОТ-02 [78]. При выполнении исследований длина визирного луча была равна около 41,0 м. Исследованиями было установлено, что СКО определения превышения составляет 0,2 мм.

Наибольшими трудностями при выполнении такого нивелирования было измерение расстояния до визирной цели с необходимой точностью. Поэтому данный способ нивелирования не нашел широкого применения при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

С появлением в геодезическом производстве высокоточных тахеометров появилась возможность выполнять высокоточное и точное нивелирование тригонометрическим способом. В связи с этим ряд авторов работ [6, 14, 16, 17, 33, 70, 71, 77, 85] разработали методику выполнения такого нивелирования, которая, в общем случае, может быть реализована тремя программами выполнения измерений на станции:

- а) первая программа: наблюдение по программе $Z_{кл}$, $P_{кл}$, $P_{кп}$, $Z_{кп}$;
- б) вторая программа: наблюдение по программе $Z_{кл}$, $P_{кл}$, $Z_{кп}$, $P_{кп}$;
- в) третья программа: наблюдения по программе $Z_{кл}$, $Z_{кп}$, $P_{кл}$, $P_{кп}$.

При реализации первой программы измеренное превышение на станции между двумя марками одним приемом не будет отягощено величиной оседания си-

системы «штатив – тахеометр» при ее равномерном опускании, так как данная программа является симметричной относительно времени наблюдений на отражатели. Она будет симметрична и в том случае, если измерения на станции начинать выполнять с первоначальным наведением на передний отражатель (отражательную пленку).

Если определять превышение на станции между двумя марками с использованием второй программы, то оно будет отягощено величиной оседания системы «штатив – тахеометр» на величину Δh между наблюдениями по кругам КЛ и КП независимо от первоначального наблюдения.

И, наконец, при определении превышения на станции между двумя марками по третьей программе одним приемом измеренное превышение будет отягощено величиной оседания системы «штатив – тахеометр» на величину $2\Delta h$.

Следовательно, из трех рассмотренных программ наблюдений одним приемом следует, что практически полностью компенсация величины оседания системы «штатив – тахеометр» происходит при применении первой программы. Однако третья программа наблюдений позволяет выполнить измерение превышения на станции быстрее. Ее применение целесообразно в том случае, когда перемещение системы «штатив – тахеометр» происходит незначительно.

Для повышения точности измерений превышения и их надежности на нивелирной станции можно увеличивать число приемов. Такое увеличение предлагается путем увеличения числа горизонтов инструмента на станции или выполнения ходов прямо и обратно. В этом случае все три программы наблюдений будут симметричными и остаточное влияние оседания системы «штатив – тахеометр» будет незначительным.

Для реализации тригонометрического нивелирования короткими лучами в условиях промплощадки на стадии строительства инженерного сооружения, а также последующей его эксплуатации авторами [55, 85] предлагается пять разрядов его выполнения (таблица 1.4)

Таблица 1.4 – Рекомендуемые разряды тригонометрического нивелирования

Разряды нивелирования	Длина визирн. луча, м	СКО угла наклона, "	СКО измер. расст, мм	Число приемов	Высота визир. над пяткой, м	Макс. угол наклона, °	m _{нст} , мм	Нерав. плеч, м
1	10	1,0–2,0	1,0–2,0	4	0,3	2	0,10	1,0
2	25	1,0–2,0	1,0–2,0	2	0,5	3	0,20	2,0
3	50	2,0	2,0	2	1,0	3	0,50	5,0
4	75	3,0	5,0	2	1,0	5	1,00	10,0
5	100	3,0	5,0	1	2,0	10	3,00	-

Из анализа таблицы 1.4 следует, что для выполнения нивелирования 1-го разряда измерения необходимо производить четырьмя приемами. Такое количество приемов может быть целесообразным в том случае, когда наблюдаемая точка (марка) находится в труднодоступном месте и наблюдение на нее возможно только в безотражательном режиме.

Учитывая высокую точность измерения расстояния и углов наклона современными тахеометрами, авторы работ [55, 110] предлагают выполнять нивелирование III и IV классов тригонометрическим способом. Достоинствами такого применения являются:

- увеличение длины визирного луча до 250,0 м;
- удобство в выборе нивелирной станции, так как применение тахеометра позволяет на пересеченной местности выбирать любую высоту визирования на отражатель (над пяткой рейки);
- значительно увеличивается допуск на неравенство плеч;
- имеется возможность уменьшить влияние рефракции путем увеличения высоты визирования.

Выполнение нивелирования на станции должно производиться из середины двумя приемами. При этом измерение расстояний может выполняться тремя способами:

- путем деления шашечной рейки в безотражательном режиме;
- на пленочный отражатель 50 × 50 мм;
- на призмный отражатель.

Наиболее удобным способом измерения расстояния и превышения является визирование на деление шашечной рейки в безотражательном режиме. В этом случае имеют место следующие преимущества:

- имеется возможность выполнять визирование на заднюю и переднюю точки (рейки) на одну высоту, что упрощает процесс вычисления превышения;
- применение реек вместо отражателей упрощает процесс их установки на точки, а также повышает точность визирования.

Производственные работы полностью подтвердили возможность выполнения нивелирования III и IV классов тригонометрическим способом.

1.3 Способы и средства определения деформационного состояния природных объектов, инженерных сооружений и оборудования в плане

Для определения деформационного состояния природных объектов, инженерных сооружений и оборудования в плане в настоящее время применяются следующие основные способы:

- с применением спутниковых технологий;
- способом полярных координат;
- решением обратной линейно-угловой засечки;
- створными способами.

Применение спутниковых технологий. Их реализация в зависимости от условий измерений и требуемой точности может производиться относительно координат постоянно действующей базовой станции (ПДБС), пунктов геодезического обоснования или координат выбранной исходной (твердой) точки, находящейся непосредственно на объекте наблюдений. Данная методика обеспечивает СКО определения координат 3,0–5,0 мм в зависимости от условий измерений и времени их выполнения. Затем по разности координат в циклах находятся величины смещения точек.

Достоинством технологии является универсальность ее применения независимо от вида природного или техногенного объекта. Недостатками технологии являются:

- сравнительно невысокая, для целого ряда решаемых задач, точность определения деформаций (смещений);
- трудности в фиксации определяемых точек объекта в каждом цикле выполнения измерений;
- невозможность применения внутри инженерного сооружения.

Способ полярных координат. Данный способ в настоящее время широко используется при выносе осей зданий и сооружений в натуру с пунктов обоснования промплощадки. Вынос точки K в натуру производится путем откладывания (измерения) от линии AB угла β_1 , а по полученному направлению AK откладывания горизонтального проложения S_1 (рисунок 1.3). Для контроля положения выноса точки K измерения необходимо повторить.

При необходимости контроль выноса точки K можно выполнить с пункта B путем откладывания от линии BA угла β_2 и горизонтального проложения S_2 . Тогда данный способ будет называться способом биполярных координат.

Данный способ применяется и для определения деформационного состояния объектов путем выполнения измерений в каждом цикле.

Достоинством способа является:

- высокая точность определения координат, выносимых (определяемых) в натуру точек, равная 0,30–1,50 мм, в зависимости от расстояния до них (как правило, не более 80–100 м) и 2,0–3,0 мм при расстояниях до 500 м;
- возможность применения при разбивочных работах внутри инженерного сооружения;
- удобство производства измерений;
- возможность производить вынос точки в безотражательном режиме.

Применительно к выполнению измерений на профильных линиях данный способ позволяет определять координаты пунктов в условиях значительного перепада высот. При этом тахеометр может быть установлен практически в любой точке [61].

Недостатком способа является:

- трудности в некоторых случаях центрирования тахеометра над исходным пунктом сети;
- влияние боковой рефракции и турбулентности воздуха на угловые измерения;
- влияние вибрации на систему «штатив – тахеометр» при выполнении измерений рядом с работающим оборудованием.

Для уменьшения ошибки в положении выносимой (определяемой) точки K необходимо уменьшить ошибку откладывания (измерения) проектного горизонтального проложения, а также измерения углов производить при благоприятных условиях. Уменьшить ошибку откладывания (измерения) расстояния можно путем использования светоотражающих пластин, минипризм, или визирование выполнять на хорошо отполированную поверхность.

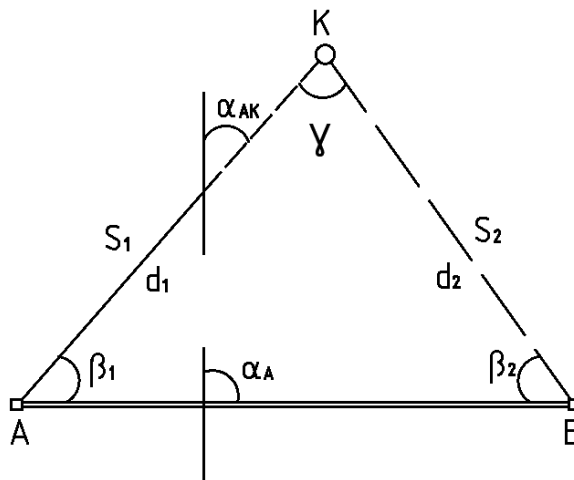


Рисунок 1.3 – Способы определения координат пунктов: полярных (биполярных) координат, прямой угловой засечкой и линейной засечкой

Для повышения точности выноса (определения) координат точки K можно использовать данный способ путем установки тахеометра на точке B . Тогда данный способ, основанный на выносе (определении) пунктов два раза полярной засечкой, называется способом биполярных координат.

Способ прямой угловой засечки. При реализации данного способа положение точки K определяется путем откладывания из концов A и B базиса AB проектных углов β_1 и β_2 (см. рисунок 1.3). Как правило, базисом AB является расстояние между пунктами обоснования промплощадки, а проектные углы β_1 и β_2 вычисляются по разности дирекционных углов сторон. Длины этих сторон определяются из решения обратной геодезической задачи по проектным (известным) координатам исходных пунктов A и B и определяемой точки K .

После откладывания углов β_1 и β_2 и выноса проектной точки K в натуру эти углы, с целью повышения точности их значений, могут дополнительно измеряться двумя-тремя приемами. Такое решение часто используется при выносе и дополнительном контроле осей ответственных инженерных сооружений, например, мостов, осей тепловых и атомных электростанций. Данный способ идентичен способу биполярных координат [95].

Величина СКО разбивки данным способом зависит от формы построения самой засечки, ошибки исходных данных (пунктов A и B) и собственно измерений (центрирования тахеометра и визирной цели, фиксации определяемой точки K).

При расстоянии до выносимой точки K , равном 150–200 м, СКО определения ее положения при благоприятных условиях выполнения измерений в среднем будет равна 1,0–1,5 мм.

Достоинством способа является:

- обеспечение необходимой точности измерений с возможностью контроля полученных результатов;
- возможность применения внутри инженерного сооружения.

Недостатки способа аналогичны предыдущему способу.

Способ обратной линейно-угловой засечки. Данный способ, способ «свободной станции», является развитием применявшегося ранее способа обратной угловой засечки, и он начал широко применяться в связи с внедрением в геодезическое производство высокоточных тахеометров. В настоящее время данный способ широко применяется на промплощадке, и он практически заменил применявшуюся

ранее строительную сетку. Для его применения необходимо иметь минимум два исходных пункта с известными координатами. Однако для уверенного его применения и получения требуемой точности измерений необходимо иметь в среднем три-четыре исходных пункта.

Принципиальное отличие способа обратной линейно-угловой засечки от рассмотренных выше способов заключается в том, что в качестве определяемого пункта здесь выступает ось вращения тахеометра. В связи с этим при выносе в натуру разбивочных точек на получаемую точность не будет влиять ошибка центрирования, которая в данном случае отсутствует. Однако, если предварительно в месте стояния тахеометра будет закреплена точка и над ней необходимо будет выполнять центрирование, то на получаемую точность выноса точки уже будет влиять ошибка центрирования.

Достоинством способа является:

- возможность установки тахеометра в удобном для выполнения измерений месте на промплощадке, в том числе и на крышах зданий, различных опорах;
- возможность определения своего положения, а также затем произведения выноса разбивочных точек при измерении расстояний в безотражательном режиме;
- как следствие этого, в качестве исходных пунктов могут использоваться светоотражающая пленка или фиксированные точки строительных конструкций, а также применяемого оборудования;
- высокая точность и надежность определения координат, равная, в зависимости от расстояния до определяемых точек, 1,0–3,0 мм.

В настоящее время данный способ применяется на промплощадке в подавляющем большинстве случаев.

Применительно к производству геодезических измерений для определения смещений земной поверхности и деформационного состояния инженерных сооружений применение данного способа позволяет определять координаты пунктов, которые произвольно располагаются на подрабатываемых территориях.

Также важным фактором, влияющим на достоверность получения деформационных характеристик земной поверхности и техногенных объектов, является вре-

менная разнородность результатов измерений, которая не позволяет в целом ряде случаев корректно выполнить прогнозирование развития деформационных процессов.

1.4 Постановка задач исследований

Исходя из рассмотренного выше анализа современного состояния вопроса выполнения инженерно-геодезических работ, выполняемых при определении деформационного состояния земной поверхности и находящихся на ней инженерных сооружений, произведем постановку вопросов исследований с учетом современного уровня развития геодезического приборостроения, которые будут рассмотрены в данной работе.

1 *Проектирование и создание опорной планово-высотной и деформационной сетей на исследуемой территории.* При решении данной задачи необходимо учитывать универсальность геодезических приборов, их высокую производительность производства геодезических измерений, высокую точность полученных результатов измерений, а также быстроту их обработки. Уровень развития геодезического приборостроения позволяет:

- уменьшать количество пунктов опорной планово-высотной сети;
- располагать эти пункты на достаточном расстоянии от зоны сдвижения земной поверхности, а также в удобных для дальнейшего использования местах;
- с целью более детального и достоверного проведения мониторинга величин и характера сдвижения земной поверхности, а также расположенных на ней инженерных сооружений имеется возможность значительно увеличить количество определяемых пунктов (деформационных марок);
- осуществлять выбор технологической схемы выполнения геодезических измерений в зависимости от технической оснащенности организации;
- выполнять геодезические измерения практически в любое время года и суток, а также практически не зависеть от технологического цикла работы промыш-

ленного предприятия (измерения можно выполнять без остановки работы его отдельных подразделений).

2 Обоснование необходимой точности производства геодезических измерений. Учитывая потенциально возможную точность современных геодезических приборов, измерения можно выполнять с СКО гораздо меньшими, чем рекомендуемые нормативными документами. Это позволяет определять сдвигения земной поверхности и расположенных на них конструктивных элементов инженерных сооружений величиной от 2,0–3,0 мм в горизонтальной плоскости и 1,0–2,0 мм в вертикальной. Тем самым значительно повышается достоверность получаемых деформационных величин наблюдаемых объектов. Вместе с тем, в целом ряде случаев потенциально возможная точность приборов может оказаться излишней и при применении излишне высокоточных приборов стоимость выполнения соответствующего комплекса геодезических работ может быть завышена из-за их стоимости.

3 Обоснование периодичности производства наблюдений. Учитывая высокую производительность измерений современными приборами, можно, с целью более детального определения характера развития деформационного процесса, увеличить количество циклов наблюдений. При этом также увеличивается и достоверность получаемых результатов. Особенно это является актуальным для территорий, на которых находятся инженерные сооружения и жилые дома.

4 Выбор приборов и технологической схемы производства измерений. Данный выбор в значительной степени зависит от технической оснащенности организации, выполняющей данный вид геодезических работ. Основными высокоточными геодезическими приборами и системами в настоящее время являются тахеометры, цифровые нивелиры, спутниковые и сканерные системы. Обоснованность применения каждого из них должна зависеть прежде всего от требуемой точности, периодичности и объема выполняемых измерений. В целом ряде случаев организация осуществляет аренду соответствующего геодезического прибора.

5 Совершенствование методики веерообразного тригонометрического нивелирования короткими лучами для выполнения нивелирования профильных линий

с необходимой точностью (условия, исследования, методика, использование отражательных пленок).

Необходимость в таких исследованиях обусловлена тем, что применение высокоточных тахеометров позволяет выполнять нивелирование III и IV классов. С учетом наличия на деформируемой земной поверхности инженерных сооружений имеется возможность с геодезических пунктов определять высотное положение точек земной поверхности, а также строительных конструкций инженерных сооружений с необходимой точностью.

6 Разработка методики выполнения створных измерений для определения величин смещений природных и техногенных объектов в горизонтальной плоскости (совместное применение ГНСС и полярной засечки).

Выполнение данного исследования преследует собой цель разработки методики створных измерений с применением тахеометров и спутниковых технологий для определения величин смещения природных и техногенных объектов в горизонтальной плоскости, находящихся в зоне подрабатываемых территорий.

7 Совершенствование методики определения устойчивости бортов карьеров с помощью наземного лазерного сканирования.

Необходимость в проведении таких исследований обусловлена возможностью более детального определения величин смещения бортов с необходимой точностью с выбранной периодичностью.

Необходимость в разработке таких вопросов обусловлена тем, что с учетом современного уровня развития геодезического приборостроения имеется возможность разрабатывать и применять комбинированные методики производства инженерно-геодезических измерений для определения деформационного состояния наблюдаемых территорий.

Апробация и реализация выполненных разработок была осуществлена на примере эксплуатации горнорудного месторождения Кентобе.

2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

2.1 Общие требования к проведению деформационного мониторинга земной поверхности и инженерных сооружений

Для организации и ведения деформационного мониторинга данного участка земной поверхности и находящихся на ней инженерных сооружений необходимо решить следующие основные задачи [15, 20, 37, 41, 49, 79]:

- установить вид техногенного воздействия на данный участок земной поверхности (подземные или карьерные разработки горнорудных месторождений, нефтегазовые площадки, деятельность на склоновых территориях или сильно сжимаемых грунтах), который будет причиной возникновения деформаций;
- выполнить проектирование схемы опорной сети и сети сгущения (деформационной) в местах выполнения геодезических измерений;
- выполнить обоснование точности и цикличности выполнения маркшейдерских и геодезических измерений;
- обосновать выбор методики и средств выполнения измерений;
- организовать собственно выполнение полевых работ;
- организовать сбор, хранение и обработку результатов измерений;
- выдавать научно обоснованные выводы и, если потребуется, рекомендации по ослаблению деформаций объектов наблюдения.

Вид техногенного воздействия исходит из характера деятельности на данном участке земной поверхности. Исходя из этого, согласно техническому заданию, в дальнейшем формируется объем выполнения маркшейдерских и геодезических измерений.

При проектировании схем построения геодезических сетей, с учетом уровня развития современных приборов, необходимо выполнять следующие требования:

- схемы построения должны быть простыми и обеспечивать возможность применения различных типов приборов, например, тахеометров, спутниковых приемников;

- места закладки пунктов и их конструкция должны выбираться с таким расчетом, чтобы обеспечивалась их сохранность (на определенный промежуток времени) и удобство при выполнении измерений;

- конструкцию пунктов (марок) желательно выбирать с таким расчетом, чтобы она позволяла определять деформационное состояние как земной поверхности, так и находящихся на ней инженерных сооружений; в этом случае должна быть обеспечена возможность связи внешнего обоснования с внутренней, деформационной, сетью инженерного сооружения;

- так как тахеометры позволяют измерять расстояния с СКО порядка 2,0–3,0 мм в пределах 1,0–1,5 км, то пункты опорной сети необходимо закладывать на значительном расстоянии от мест возможных деформаций земной поверхности; в этих случаях можно предусмотреть использование опор ЛЭП для закрепления пунктов сети, например, закрепление светоотражающих пленок;

- если к наземным средствам измерений планируется применение еще и спутниковых технологий, то пункты должны располагаться вне зоны влияния линий ЛЭП и препятствий, которые будут способствовать появлению многопутности сигнала.

Обоснование точности и цикличности выполнения маркшейдерских и геодезических измерений в настоящее время не вызывает особых затруднений. Это обусловлено тем, что современные геодезические приборы уверенно, и даже с некоторым запасом, обеспечивают СКО этих измерений, которая регламентируется существующими нормативными документами.

В связи с тем, что производительность выполнения работ с применением современных приборов в несколько раз превышает по сравнению с применявшимися ранее, время выполнения измерений и их стоимость значительно уменьшаются.

Обоснование выбора методики и средств выполнения измерений исходит из решаемых задач. В связи с тем, что современные приборы (каждый в отдельности) позволяют выполнить целый комплекс инженерно-геодезических и маркшейдерских работ, решение задачи может выполняться одним видом прибора, например, тахеометром с применением нескольких методик.

Организация собственно выполнения полевых работ также значительно упрощается с применением современных приборов, учитывая мобильность в их применении и увеличение диапазона измеряемых величин (расстояний, превышений) с сохранением необходимой точности.

Организация сбора, хранения и обработки результатов измерений с применением программного обеспечения позволяет создавать банк данных любого числа циклов измерений, производить обработку, моделирование, и прогнозирование деформационных процессов в зависимости от реальных (или задаваемых) условий их протекания и при этом учитывать целый ряд сопутствующих факторов.

Выдача научно обоснованных выводов и рекомендаций по характеру протекания деформационных процессов земной поверхности и ослаблению их влияния на объекты наблюдения (инженерные сооружения, технологическое оборудование) также, с учетом наличия банка данных и построения прогнозных моделей), позволяет с большей вероятностью констатировать реально происходящие в настоящее время процессы и процессы, которые будут происходить в будущем.

2.2 Краткая характеристика подрабатываемой территории горнорудного месторождения Кентобе

Одним из факторов, которые приводят к деформации земной поверхности, является разработка горнорудных месторождений открытым способом. Месторождение железных руд Кентобе расположено в Каркаралинском районе Карагандинской области. Оно было открыто в 1949 г., в 1950–1980 гг. проводилась разведка, а с 1983 г. началась непосредственная его эксплуатация. Разработка месторождения

ведется открытым способом по проекту, созданному АО «Институт Уралгипроруда» (г. Екатеринбург).

Рудник Кентобе – легкообогатимое сырье с хорошими магнитными свойствами. Применяемая система разработки месторождения Кентобе – транспортная с внешним отвалообразованием. Скальная вскрышная порода и руда разрабатывается с предварительным проведением буровзрывных работ.

Здесь добываются маритовые и магнетитовые руды, которые направляются на металлургический комбинат в г. Темиртау. Месторождение сложено преимущественно скальными образованиями, частично перекрытыми рыхлообломочными четвертичными отложениями и образованиями коры выветривания мощностью 3–5 м. В связи с разным составом и типом руд, а также тектоническими нарушениями в залегании, месторождение считается довольно сложным и неоднородным.

Угол откосов уступов карьера в коренных породах достигает 60–65°. Глубина карьера на данный момент составляет порядка 150 м (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Общий вид карьера Кентобе

В геологическом отношении месторождение Кентобе является составной частью Кентобе-Тогайского рудного поля, расположенного в экзоконтакте гранитоидов Топарского и Калдырминского комплексов северо-восточной части Кентского массива. Все рудные образования приурочены к верхнему рудоносному горизонту

фамена. Эти отложения совместно с перекрывающими их углисто-кремнистыми сланцами нижнего турне слагают Кентобе-Тогайскую синклинальную складку, находящуюся на южном крыле Акжальской антиклинальной структуры. Собственно, месторождение Кентобе расположено в восточной части структуры, причем основные запасы руд сконцентрированы в пределах южного крыла синклинали, где они ассоциируют со скарнами и метасамотитами. Характерно интенсивное проявление разновозрастных лайковых образований и серии разрывных нарушений. По условиям рельефа поверхности месторождение «Кентобе» в границах карьера представлено нагорной (выше горизонта +860 м) и глубинной частями.

Вскрытие глубинной части месторождения предусматривается системой капитальных автосъездов внутреннего заложения со спиральной формой трассы в наиболее глубокой восточной части карьера. Ширина транспортных берм – 25 м. Руководящий уклон автодорог – 0,080.

Вскрытие новых горизонтов и подготовка их к эксплуатации осуществляются проходкой съездных траншей, переходящих в разрезные, в глубинной части карьера. Ширина съездных траншей 25–30, длина – 125 м, разрезных 200–400 м.

В процессе разработки горизонтов применяются скользящие съезды, которые по мере отработки горизонта приходят в конечное положение.

Отработка ведется в нескольких областях (восточный и западный участки) с учетом качественных характеристик железной руды. Развитие горных работ подразумевает углубление западной части до 720 горизонта, восточной части до горизонта 660 с постановкой бортов в предельное положение.

Отработка рудного массива, содержащего породные прослои, осуществляется 10-метровыми уступами с разбивкой на подступы, поперечными заходками, горизонтальными слоями. Вскрышные породы выполняются отдельным комплексом, с разбивкой на 10-метровые уступы, поперечными заходками, горизонтальными слоями. Таким образом, обеспечивается достаточная степень концентрации оборудования в рабочей зоне карьера и отсутствие жесткой связи между добычным и вскрышным комплексом.

Основные параметры системы разработки приняты с учетом существующего состояния горных работ (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Основные параметры системы разработки

Параметр	Значения
Глубина карьерной выработки, м	до 220
Длина карьерной выработки по дну, м	140
Ширина дна карьерной выработки, м	40
Площадь дна карьерной выработки, тыс. м ²	5,2
Длина карьерной выработки по поверхности, м	1500
Ширина карьерной выработки по поверхности, м	500
Площадь карьерной выработки по поверхности, тыс. м ²	509,5
Угол откоса рабочего уступа, град	
– по вскрышным породам;	до 75
– по руде	до 60
Угол откоса уступов на конечном контуре, градусов	60
Высота уступов, м	до 10
Рабочих по вскрыше	до 10
Рабочих по руде	30
Ширина предохранительных берм, м	10
Ширина автотранспортных съездов, м	25

Технология горных работ предусматривается цикличной с предварительным рыхлением горной массы буровзрывным способом, методом скважинных зарядов. Бурение взрывных скважин ведется станками шарошечного бурения СБШ-250 МН с диаметром буримых скважин 190–250 мм.

Карьер располагается в центральной части месторождения, отвал плодородного слоя почвы – к юго-западу от карьера, отвалы вскрышных пород – с северной и южной сторон карьера; существующая промплощадка находится в юго-западной части земельного участка на расстоянии 400 м от западной части карьера.

Существующая промплощадка «Кентобе» оборудована всеми необходимыми зданиями и сооружениями.

Порядок отработки. В соответствии с заданием на проектирование горные работы предусматривается вести с учетом качественных характеристик железной

руды. Обработка ведется в нескольких областях (восточный и западный участки) с целью усреднения этих характеристик. Развитие горных работ подразумевает углубку западной части до 720 горизонта, восточной части до горизонта 660 с постановкой бортов в предельное положение.

Обработка рудного массива, содержащего породные прослои, осуществляется 10-метровыми уступами с разбивкой на подступы, поперечными заходками, горизонтальными слоями. Вскрышные породы выполняются отдельным комплексом, с разбивкой на 10-метровые уступы, поперечными заходками, горизонтальными слоями. Таким образом, обеспечивается достаточная степень концентрации оборудования в рабочей зоне карьера и отсутствие жесткой связи между добычным и вскрышным комплексом.

Конструкция борта и расчет устойчивости. Расчет устойчивости борта в конечном положении проводится с использованием разведочной линии I, так как на этой линии борт имеет самую большую высоту (рисунок 2.2). На разрезе четко видно рудное тело, проектный контур карьера на конец обработки (красным цветом) и контур карьера на момент обработки (оранжевым цветом).

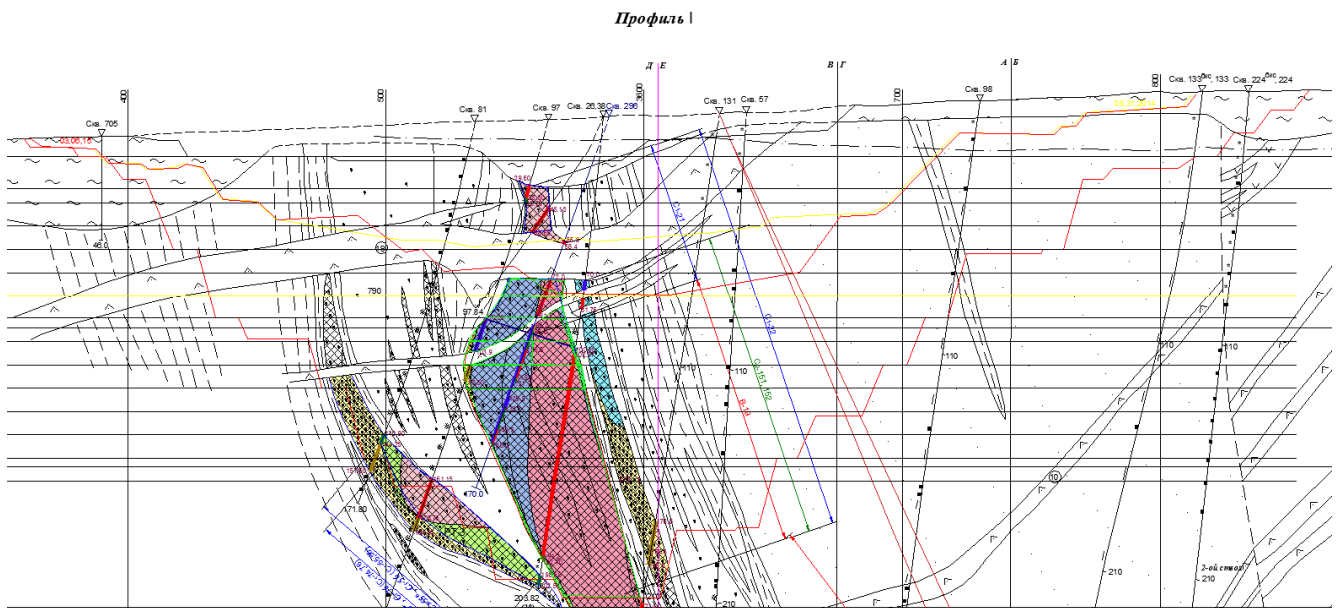


Рисунок 2.2 – Разрез по разведочной линии I

Борт карьера на рассматриваемом участке сложен роговиками, скарнами, углисто-кремнистыми сланцами. Физико-механические свойства пород представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Физико-механические свойства пород, слагающих борт карьера

Параметры	Тип пород		
	углисто-кремнистые сланцы	роговики скарнированные	роговики
Удельный вес γ , кг/м ³	2 740	2 990	2 700
Предел прочности на сжатие, МПа	255,2	242,1	228,1
Удельное сцепление C_0 , МПа	66,5	57,7	53,35
Угол активного внутреннего трения ϕ , град	35	39	40

Высота борта при отработке месторождения составляет 220 м, высота отдельных уступов составляет до 30 м. Значения устойчивых углов откосов бортов при таких высотах могут быть определены с помощью графика, предложенного Фисенко Г. Л. Для определения угла откоса борта по данной методике используются усредненные физико-механические свойства пород борта, с учетом коэффициента запаса устойчивости.

Коэффициент запаса устойчивости – это величина, показывающая относительное превышение прочности массива по сравнению со сдвигающими напряжениями. Для карьеров со сроком службы до 25 лет принимается $K_{3y} = 1,5$ для отдельных уступов и 1,3 для борта в целом.

Расчетные физико-механические свойства пород определяются по формуле:

$$C_p = \frac{C_M}{K_{3y}}, \quad (2.1)$$

где C_M – удельное сцепление пород в массиве, Па;

K_{3y} – требуемый коэффициент запаса устойчивости;

Расчетная величина высоты вертикального обнажения пород определяется по известной формуле:

$$H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg}\left(45^{\circ} - \frac{\varphi}{2}\right), \text{ м} \quad (2.2)$$

где γ – объемный вес пород, Н/м³.

Масштаб графика Фисенко Г. Л. определяется по формуле:

$$H' = \frac{H}{H_{90}}, \quad (2.3)$$

где H – высота откоса, м.

Результаты определения устойчивости углов откосов бортов и уступов в предельном положении, с учетом структурного строения массива и усредненных физико-механических характеристик различных литологических типов пород, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Определение расчетных параметров откоса, соответствующих коэффициенту запаса устойчивости

Показатели	Значение
Элемент карьерного пространства	Борт
Высота откоса, м	220
K_{3y}	1,3
Расчетное удельное сцепление, Мпа	57,1
Расчетный угол внутреннего трения, град	32
Фактическая высота вертикального обнажения усредненных пород массива	7,2
Масштаб графика Г. Л. Фисенко	30
Угол устойчивого откоса борта по графику Г. Л. Фисенко, градусы	39

2.3 Разработка технологической схемы производства геодезических работ на горнорудном месторождении Кентобе

Современные способы наблюдений за происходящими геомеханическими процессами в бортах карьеров весьма разнообразны. Наиболее перспективными из них являются способы с использованием современного геодезического оборудования, к которым относятся спутниковые приемники, тахеометры, цифровые нивелиры и наземные лазерные сканеры. Для выполнения таких работ применяются различные методики и средства измерений. Состав таких работ приведен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Предлагаемая технологическая схема инженерно-геодезических работ при деформационном мониторинге подрабатываемых территорий и расположенных на них инженерных сооружений

Инструментальный маркшейдерско-геодезический контроль состояния устойчивости карьерных откосов выполняется путем создания сети наблюдательных станций в виде профильных линий, представленных реперами, закладываемых в прибортовой полосе и на бермах уступов, перпендикулярно простиранию верхней бровки карьера на наиболее неблагоприятных по устойчивости участках карьера.

Определение мест заложения наблюдательных станций должно основываться на анализе геомеханической обстановки прибортовых массивов карьера с целью выявления наиболее опасных участков, где и производится закладка станций.

Анализ геологической характеристики и горнотехнических условий разработки месторождения Кентобе подтверждает необходимость проведения инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости откосов уступов и бортов карьеров.

Основанием для организации и проведения инструментальных наблюдений служит:

- наличие комплекса сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условий разработки месторождений;
- появление оползней и обрушений откосов, которым предшествуют длительно развивающиеся микродеформации прибортовых массивов;
- постановка бортов карьера на проектный контур при консервации и на конец отработки.

Регулярные инструментальные наблюдения за состоянием устойчивости откосов уступов и бортов карьеров позволят осуществлять контроль правильности принятых проектных решений.

Результаты инструментальных наблюдений в комплексе с инженерно-геологическими и гидро-геологическими исследованиями в процессе эксплуатации месторождений дают возможность установить характер деформаций горных пород откосов уступов и бортов карьеров и спрогнозировать развитие их во времени и пространстве, что, в свою очередь, позволяет наметить мероприятия по устранению причин их развития.

Выбор участков закладки реперов наблюдательных станций выполняется на основании анализа инженерно-геологических условий разработки месторождения, современного состояния и перспективы развития горных работ, с учетом следующих косвенных признаков возможных деформаций:

а) наличие на карьере вскрытых слабых пластичных, обводненных или сильно трещиноватых пород в горном массиве, формирующих борт или уступ;

б) возможность подрезки горными работами слабых контактов, поверхностей тектонических нарушений и обводненных пород, имеющих наклон в сторону выработанного пространства и простираение, близкое к простираению борта;

в) несоответствие фактических параметров уступов бортов и отвалов карьера проектным;

г) несоответствие технологии проведения массовых взрывов паспорту буровзрывных работ.

В результате проведенных исследований и анализа горно-геологической документации выявлены следующие области деформаций откосов на карьере: северный борт карьера (центральная и восточная части); деформации верхних уступов западного борта (осыпи в скальных породах и локальный оползень в глинистом откосе).

Исходные пункты располагаются в местах, обеспечивающих их неподвижность на все время существования наблюдательных станций. Исходными пунктами для наблюдательных станций служат пункты маркшейдерской опорной геодезической сети карьера.

Для контроля состояния устойчивости бортов карьера Кентобе заложены пункты наблюдательных станций в виде профильных линий на восточном борту и на западном борту и отдельно стоящих четырех марок-реперов для северного борта.

Расположение наблюдательных станций было принято (рисунок 2.4) с учетом горно-геологических условий разработки месторождений на участках, где фактически наблюдаются процессы деформирования откосов уступов. Сеть наблюдательных станций включает в себя исходные триангуляционные сети и опорные,

связующие и рабочие пункты профильных линий на карьере Кентобе. Плановое и высотное положение исходных реперов наблюдательных станций определяется в системе координат и высот, принятой для маркшейдерских работ на карьере Кентобе.

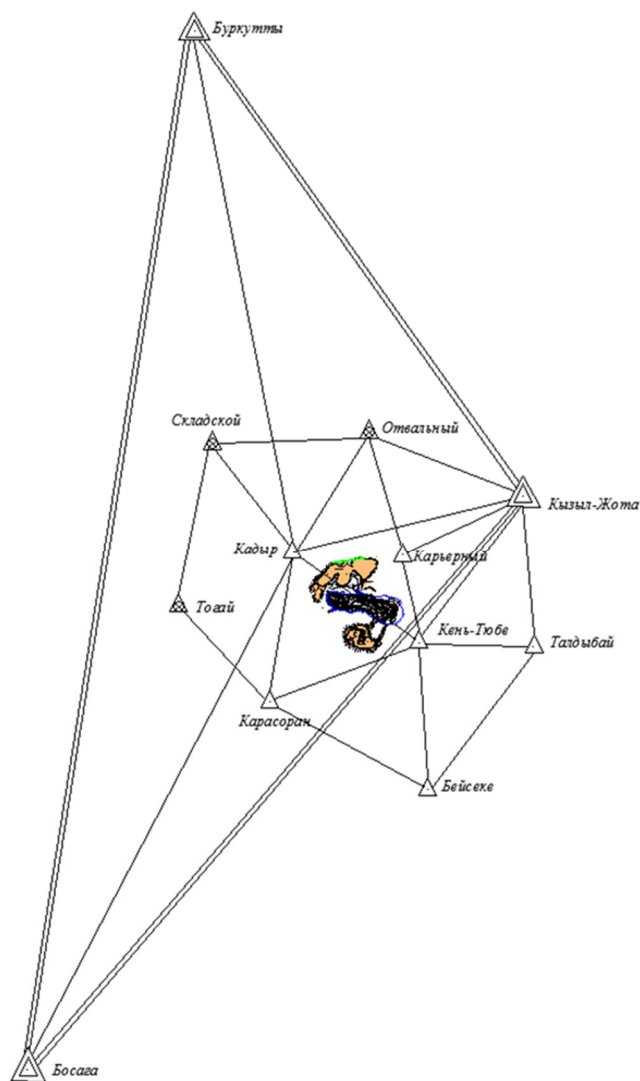


Рисунок 2.4 – Схема пунктов триангуляции

Исходные реперы располагаются в местах, обеспечивающих их неподвижность на все время существования наблюдательных станций. Исходными реперами для наблюдательных станций служат пункты маркшейдерской опорной геодезической сети карьера.

Каждая профильная линия состоит из двух опорных реперов и из 5–15 рабочих реперов. Расстояния между рабочими реперами, расположенными в пределах призмы возможного обрушения, принимаются равными 5–10 м, по мере удаления от нее – 20–30 м, а расстояния между опорными реперами – 40–50 м. При закладке рабочих реперов на предохранительных бермах расстояние между ними зависит от ее ширины.

При большой длине профильной линии или наличии недоступных для наблюдения зон с одной установки прибора (тахеометра) закрепляются связующие реперы. Опорные реперы закладываются вне зоны деформаций верхней площадки борта карьера.

Вынос наблюдательной станции в натуру производится путем построения на местности соответствующих углов и длин (способ полярной засечки). Разбивка реперов профильных линий производилась с помощью электронного тахеометра Leica TCR 1202. Места закладки реперов обозначаются деревянными колышками или арматурными обрезками диаметром до 10 мм и длиной 300–400 мм с отклонением от створа не более 50 мм.

После разбивки профильной линии производится закладка реперов. Конструкция реперов и способ их закладки должны обеспечивать:

- удобство и нормальные условия для производства работ при инструментальных наблюдениях за устойчивостью карьерных откосов в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- прочную связь с грунтом, позволяющую при возникновении сдвижений и деформаций массива горных пород перемещаться реперам профильной линии совместно с этим процессом;
- неподвижность влиянию сезонного промерзания и оттаивания грунта; надежную сохранность на весь период службы наблюдательной станции (гарантия от внешних повреждений);
- простоту конструкции и дешевизну изготовления.

Глубина закладки репера h относительно земной поверхности определяется по формуле

$$h = h_{\max} + a + b, \quad (2.4)$$

где h_{\max} – максимальная глубина промерзания грунта $h_{\max} \approx 1,5$ м;

a – высота якоря репера ($a = 0,4–0,5$ м);

b – запас на ошибку определения глубины промерзания, м.

Во избежание вертикальных смещений репера за счет деформаций грунта, вызываемых изменением его влажности, закладка реперов производится на глубину не менее 1,5 м в рыхлых породах и не менее 0,8 м в скальных.

Для наблюдательных станций на карьере исходные и опорные реперы заложены бетонированными, а рабочие реперы – забивными.

При развитии горных работ производится реконструкция наблюдательных станций и закладка новых, в случае необходимости, реперов опорной и рабочей части при неизменном положении исходных реперов.

Наблюдательные станции на карьере (рисунок 2.5) предназначены для производства геодезических наблюдений за состоянием устойчивости глинистых откосов верхних горизонтов восточного борта карьера.

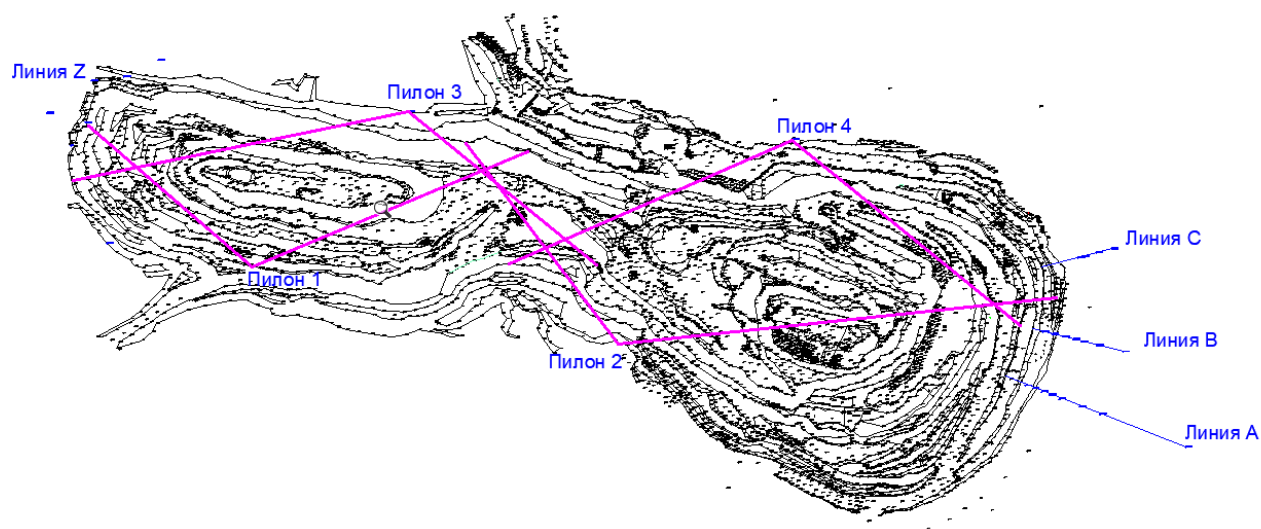


Рисунок 2.5 – План наблюдательных станций на карьере Кентобе

Наблюдательные станции *A*, *B*, *C* представлены 14 рабочими забивными реперами. Длина реперов составляет 1,2 м. Опорные реперы заложены на земной поверхности вне зоны возможных деформаций (рисунок 2.6).

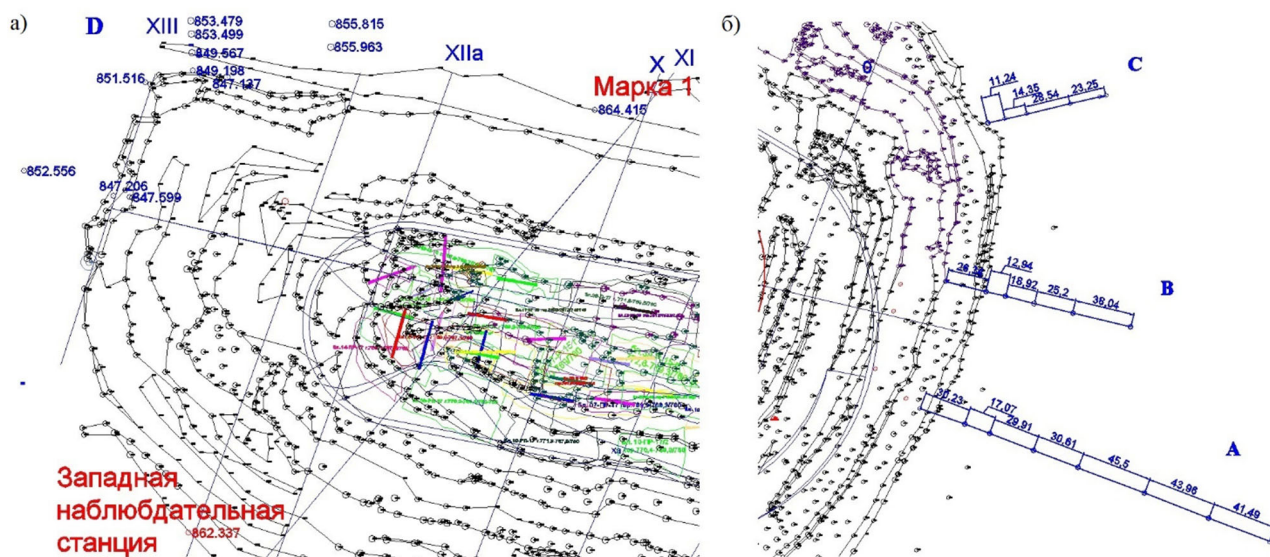


Рисунок 2.6 – Детальный план наблюдательных станций на карьере Кентобе:

a) на западном борту карьера; *б)* на восточном борту карьера

Наблюдательная станция *D* (см. рисунок 2.6) заложена в районе р. л. XIII–XII для производства инструментальных наблюдений за состоянием устойчивости западного борта карьера. Наблюдательная станция представлена пятью рабочими забивными реперами. Длина реперов составляет 1,2 м. Опорные реперы заложены на земной поверхности вне зоны возможных деформаций.

Следует отметить, что количество наблюдательных станций и место их расположения позволяют контролировать зоны техногенного влияния системы разработки карьера.

При развитии горных работ в случае необходимости производится реконструкция наблюдательных станций, закладка новых опорных и рабочих реперов при неизменном положении исходных.

Для каждой наблюдательной станции определены схемы привязки и ориентирования опорных реперов профильных линий, позволяющие, при производстве си-

стематических инструментальных наблюдений, быстро находить исходные пункты и придерживаться единой системы ориентирования в разных сериях наблюдений.

Уничтожение рабочих реперов наблюдательной станции может происходить при развитии горных работ, а также при развитии оползневых явлений или обрушений в районе наблюдаемой линии.

2.4 Разработка методики определения устойчивости бортов карьеров с применением наземного лазерного сканирования

2.4.1 Технология лазерного сканирования на подрабатываемых территориях

Наземное лазерное сканирование заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек объекта и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов), следовательно, измеряемые величины при наземном лазерном сканировании являются аналогичными, как и при работе с электронными тахеометрами. Однако принцип тотальной съемки объекта, а не его отдельных точек, характеризует НЛС как съемочную систему, результатом работы которой является трехмерное изображение, так называемый скан [32, 50, 56].

В основу работы лазерных дальномеров, используемых в НЛС, положены импульсный и фазовый безотражательные методы измерения расстояний, а также метод прямой угловой засечки. В качестве блока развертки в НЛС выступают сервопривод и полигональное зеркало или призма. Сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, при этом поворачивается вся верхняя часть сканера, которая называется головкой. Развертка в вертикальной плоскости осуществляется за счет вращения или качания зеркала. В процессе сканирования фиксируются направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта. Результатом работы НЛС является растровое изображение – скан, значения пикселей которого представляют собой элементы вектора со следующими компонентами: измеренным расстоянием, интенсивностью отраженного сигнала

и RGB-составляющей, характеризующей реальный цвет точки. Положение каждого элемента (пикселя) полученного растра отражает значения измеренных вертикального и горизонтального углов. Другой формой представления результатов НЛС является массив точек лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью и реальным цветом.

Как известно, система наземного лазерного сканирования (НЛС) состоит из наземного лазерного сканера и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением. Наземный лазерный сканер состоит из лазерного дальномера, адаптированного для работы с высокой частотой, и блока развертки лазерного луча. Пространственные координаты точек объекта в системе координат НЛС вычисляются по формулам [50]

$$X = R \cdot \cos\varphi \cdot \sin\theta, \quad Y = R \cdot \sin\varphi \cdot \sin\theta, \quad Z = R \cdot \cos\theta, \quad (2.5)$$

где R – измеренная дальность от точки стояния сканера до объекта;

φ – горизонтальный угол измеренного направления лазерного луча R ;

θ – вертикальный угол направления R , отсчитываемый от оси Z до вектора R .

Фактически точность определения координат точек местности с использованием наземных лазерных сканеров зависит в основном от характеристик прибора, то есть исключается ряд ошибок при наведении на марку, установке вешки, нумерации пикетов и т. п. Основные условия, которые необходимо соблюдать при проведении высокоточных лазерных измерений:

- сканирование производить с опорных точек, расположенных вне зоны деформации;

- расстояние до снимаемого приборного массива должно находиться на расстоянии 300–400 м;

- наблюдаемый участок борта карьера должен быть перпендикулярно к точке стояния лазерного сканера;

- сетка сканирования производится при минимальном угле отклонения лазерного луча равном $0,0025^\circ$.

На процесс сканирования существенно влияют три обстоятельства: состояние атмосферы, состояние сканируемой поверхности, т. е. присутствует ли на ней влага или нет, и расположение объекта сканирования в карьере.

По результатам сканирования составляется трехмерная цифровая модель, успешно конвертируемая в САД и ГИС-приложения. Используя ее, возможно создание любых сечений, отдельно взятых элементов и измерение любых геометрических параметров, а также появляется возможность составления обычных топографических планов и планов горных работ. При сканировании координаты точек вычисляются в системе координат самого сканера.

На основании выполненных с участием автора исследований [12, 42, 43, 51, 68, 76, 119] можно сделать следующие выводы.

1 На карьере Кентобе выявлены наиболее опасные участки с точки зрения их устойчивости, состоящие, в первую очередь, из глинистых отложений мощностью до 50 м на верхних горизонтах уступов восточного борта и до 30 м на западном борту.

2 Заложены опорные (6 штук) и рабочие (55 штук) реперы для производства инструментальных наблюдений за состоянием верхних глинистых откосов восточного и западного бортов карьера.

3 Разработана методика производства измерений с использованием роботизированного электронного тахеометра и оптических отражателей для восточного и западного бортов карьера с точностью измерений ± 10 мм.

4 Результаты наблюдений показывает наличие незначительных смещений реперов прибортовых массивов (по высоте до -29 мм, в плане до -49 мм).

5 Для определения деформационного состояния бортов предложено апробировать прогнозную оценку состояния северного борта, сложенного скальными и полускальными породами, на основе лазерного сканирования с помощью горного сканера HDS-8800, установленного на жесткий пилон, и сравнения двух сканов, полученных программным комплексом «Maptek I-Site Studio», позволяющим оценивать появление различного ряда деформаций.

б Сравнение полученных сканов показывает, что в целом прибортовый массив находится в устойчивом состоянии (отклонения в пределах точности измерений), появляются лишь отдельные локальные породные вывалы и осыпи в откосах уступов.

Применительно к верхним глинистым отложениям западного борта карьера необходимо сказать, то они подвержены, с одной стороны, постепенному выпору в карьер, а с другой – намоканию их водой от снега, таяние которого имеет место в весенний период (рисунок 2.7). В связи с этим размокшая глина смещается по западному борту в карьер. Результаты наблюдений по реперам, заложенным в глинистом теле, показывают, что происходит его опускание до (-58,0 мм) по высоте, а в плане в сторону карьера (до -23,0 мм). Результаты инструментальных наблюдений имеют подтверждение при наблюдениях с применением наземного лазерного сканирования. При наложении сканов, произведенных в определенный промежуток времени (рисунок 2.7, а), невооруженным глазом наблюдается выпор верхних глинистых уступов западного борта карьера в сторону карьера. На рисунке 2.7, б отчетливо видно, что при наложении двух съемок виден выпор серым цветом.



а)



б)

Рисунок 2.7 – Верхние глинистые отложения западного борта карьере Кентобе по результатам сканирования

При этом скорость смещения равна, соответственно, -3,0 мм/сут и эта величина не является критической, так как ее предельное значение не должно превы-

шать 10,0 мм/сут. Поэтому глинистый участок на западном борту находится в напряженном состоянии, но в целом устойчив.

При использовании технологии лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров на железорудных месторождениях, были выполнены наблюдения и произведен анализ полученных результатов на железорудном карьере. Задачей исследования является обобщение применяемых на горных предприятиях методов и технических средств для наблюдения и измерения деформаций в горных массивах [11, 12, 43, 51, 68]. Безопасность и эффективность работы железорудных карьеров во многом определяется используемыми методами наблюдения за деформационными процессами и расчета устойчивости бортов карьеров и отвалов. На основании анализа существующих подходов к решению этой задачи сделан вывод о целесообразности использования системы лазерного сканирования при оценках устойчивости. В результате выполненного анализа полученных результатов измерений, получена цифровая модель прибортовых массивов карьера, которая позволяет создать электронную базу, для дальнейшего использования в решениях маркшейдерских и геомеханических задач.

Производство инструментальных наблюдений на карьере имеет важное технологическое значение для безопасной отработки месторождения данного полезного ископаемого.

С 2015 г. производятся инструментальные наблюдения за устойчивостью бортов карьера (рисунок 2.8). Для этого на выявленных наиболее опасных двух глинистых участках по профильным линиям были заложены наблюдательные станции в виде металлических реперов: на восточном борту карьера в количестве 25 штук, а на западном борту в количестве 20 шт. Эти реперы служат основой для изучения процесса деформирования глинистых прибортовых откосов. Кроме этого, первая станция включает в себя четыре профильные линии, а вторая станция включает в себя площадную станцию, расположенную на оползневом массиве.

Высокоточные геодезические наблюдения за сдвигами бортов по заложенным профильным линиям выполняются с цикличностью четыре раза в год. При

этом методика высокоточных измерений основана на использовании тахеометра Leica TCR1202 в комплекте с отражателями и разработанной с участием автора схемой наблюдения [43, 51, 63].



Рисунок 2.8 – Выполнение инженерно-геодезических работ на карьере Кентобе

Порядок выполнения инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений состоит в следующем.

После установки тахеометра Leica TCA1202 на опорный репер наблюдательной станции и его привязки к существующей опорной сети определяются координаты опорных пунктов и рабочих пунктов. При разделении профильной линии связующими реперами на секции, съемка крайних рабочих реперов секций выполняется с обязательным контролем и уравниванием с последующего связующего репера. Максимальное удаление рабочих пунктов от опорных или связующих реперов не должно превышать 500 м. При этом для повышения точности угловых измерений и исключения грубых ошибок измерения выполняют шестью приемами при двух положениях вертикального круга. Один прием измерения включает в себя одно наведение на отражатель, при котором производится несколько измерений (два-три), а за окончательный результат принимают среднее значение измерений. При

этом разность между отдельными отсчетами не должна превышать точности прибора.

Закрепление отражателей производится на жестких отвесах, которые устанавливаются и центрируются над реперами по створу профильной линии.

При выполнении измерений производится обязательное измерение атмосферного давления с точностью до 1 мм рт. ст. с помощью барометра анероида и температуры воздуха. Также во время выполнения измерений производится систематический контроль положения опорных и связующих пунктов в каждой серии наблюдений;

Анализ данных смещений, полученных по результатам инструментальных наблюдений показывает, что на восточном борту верхние глинистые откосы в целом находятся в устойчивом состоянии, однако имеются незначительные деформации. Незначительные оседания приоткосной зоны находятся пределах 10,0–15,0 мм, а оползневое тело (внизу глинистого откоса) перемещается до -39,0 мм, что соответствует скорости смещения до 0,6 мм/сутки. Это связано, в основном, с появлением воды, вследствие выпадающих ливневых дождей. На это смещение также оказывает влияние характер рельефа местности – понижение отметки земной поверхности на данном участке. Одной из эффективных мер предупреждения смещения является изоляция прибортового массива от воды или отвода потоков собирающейся воды из этого района разработки. Для этих мер была создана нагорная канава со специальным заградительным валом, которая отводила основной поток воды, который образуется от таяния снега с гор и холмов.

Обработка данных (таблица 2.4) полученных результатов наблюдений заключается в определении изменения длин интервалов между реперами, т. е. горизонтальных проложений dS между реперами относительно исходных значений и смещении реперов относительно опорных реперов на каждой станции (ΔL). По этим смещениям можно судить об наличии смещений прибортового массива, сложенного глинистыми отложениями.

Таблица 2.4 – Сравнительные результаты инструментальных наблюдений

№	ΔY , мм	ΔX , мм	ΔZ , мм	dS , мм	ΔL , мм
По реперам профильных линии А					
VA OP II	-21	-17	-10		
VA-1	10	1	20	-22	-22
VA-2	-23	-8	-11	28	5
VA-3	-18	-10	-4	-5	0
VA-4	-18	-12	-8	-1	0
VA-5	-16	-12	-9	-2	-3
VA-6	-14	-8	-9	0	-3
VA-7	-8	-21	-9	-10	-13
По реперам профильных линии D					
ZD OP I	-11	-28	9		
ZD OP II	-10	-19	7	-1	-1
ZD-1	-14	-19	8	-4	-5
ZD-2	-13	-22	6	-2	2
ZD-3	-27	-21	6	-13	-11
ZD-4	-21	-22	7	-5	-6
ZD-5	-13	-19	14	3	4
ZD-6	-26	-20	-3	-1	-7
ZD-7	-49	-27	-2	-6	-28

Деформация массива подтверждаются наличием вертикальных смещений на станции «А» в пределах -10 мм; на станции «В» составляет -29 мм, а на станции «С» в пределах -26 мм. Также происходят смещения массива по координатам ΔX , ΔY относительно их исходного положения.

2.4.2 Методика наблюдений за состоянием бортов и отвалов с применением наземного лазерного сканера

В настоящее время проводятся маркшейдерские наблюдения за деформациями бортов карьеров с использованием наземного лазерного сканера для определения смещений приборного массива по облаку точек, полученному со снимаемого участка.

Для производства инструментальных наблюдений предусматривается создание на карьерах опорных пунктов, закладка которых согласуется с горно-геологи-

ческими условиями на карьере и видимостью геодезических пунктов. Опорные пункты должны располагаться в местах, обеспечивающих их неподвижность на все время проведения наблюдений, так как на них устанавливается лазерный сканер.

Систематические инструментальные наблюдения на карьерах заключаются в определении с помощью лазерного сканера положения приборного массива путем производства сканирования выделенного участка местности, полученное облако точек трансформируется в трехмерную модель и сравнивается с последующими сериями измерений [51, 67, 68].

Обеспечить высокую точность работ лазерным сканером возможно только при соблюдении определенной методики работ.

Закладка опорных пунктов для наблюдательных станций карьера. Конструкция реперов при наблюдениях за состоянием приборных массивов на карьерах должна обеспечивать следующие требования:

- а) прочную связь репера с горной породой, чтобы сдвиги репера точно соответствовали сдвигам пород;
- б) сохранность и неизменность положение реперов на весь срок их службы, а также удобство пользования ими;
- в) отчетливость отмеченного центра на головке (полусфере) репера для обеспечения точности наблюдений за сдвижением репера в горизонтальной плоскости;
- г) устойчивость репера в условиях сезонных изменений температуры и влажности пород и промерзания и оттаивания горных пород.

В зависимости от способа наблюдения на карьерах конструкция и закладка реперов будет разной.

Для месторождения Кентобе были заложены опорные реперы [51]. Для опорного репера длительного срока службы рекомендуется закладку репера осуществлять следующим образом: в пробуренную скважину диаметром от 160 до 220 мм, на глубину ниже зоны промерзания на 0,5 м, бетонируется металлический штырь диаметром от 20 до 30 мм. Цементный раствор заливается только в нижнюю часть

скважины на 0,5 м. Верхний конец металлического стержня репера обрабатывается на полусферу, на которую наносится центр в виде отверстия диаметром не более 2 мм и глубиной 4 или 5 мм. Пространство между стенками скважины и штырем выше бетонной подушки заполняется песком и утрамбовывается. При постоянном наблюдении нами рекомендуется установка опорного столба, который состоит из анкерного столба, стальной стойки и резьбы для крепления прибора [11, 51, 119].

Система наблюдений с использованием лазерного сканера должна устанавливаться на верхние бровки устойчивого (не деформируемого) борта карьера, чтобы гарантировать стабильность наблюдательного опорного пункта, а для тахеометра необходим еще один устойчивый ориентирный пункт. Однако на практике не всегда имеется возможность обеспечить данное требование. Опорный пункт может быть расположен на неустойчивом борту карьера в зоне возможных деформаций, тогда возникает необходимость его контроля (рисунок 2.9).



а)

б)

Рисунок 2.9 – Схема ведения наблюдений с использованием лазерного сканера:

а) пилон № 3 северо-западный борт; *б)* пилон № 4 северо-восточный борт

Для получения достоверных результатов разработана схема производства лазерного сканирования прибортового массива карьера.

Основные условия, которые необходимо соблюдать при проведении высокоточных лазерных измерений:

- а) сканирование производят с опорных точек, расположенных вне зоны деформации;
- б) расстояние до снимаемого приборного массива должно находиться на расстоянии 300–400 м;
- в) наблюдаемый участок борта карьера должен быть расположен перпендикулярно к точке стояния лазерного сканера;
- г) сетка сканирования производится при минимальном угле отклонения лазерного луча, равном $0,0025^\circ$.

По результатам сканирования составляется трехмерная модель, успешно конвертируемая в САД и ГИС-приложения. Используя такую модель, возможно создание любых сечений, моделей отдельно взятых элементов и измерение любых геометрических параметров и, конечно, составление обычных топографических планов.

Все управление работой прибора осуществляется с помощью портативного компьютера с набором программ или с помощью панели управления, встроенной в сканер. Полученные координаты точек из сканера передаются в компьютер и накапливаются в базе данных компьютера или самого сканера, создавая так называемое облако точек.

Горный лазерный сканер Leica HDS8800 применяется для маркшейдерии и горного дела. HDS8800 позволяет выполнять работы в условиях повышенной запыленности и при низких температурах окружающей среды. Максимальное расстояние 2 000 м. Частота сканирования до 8 800 точек в секунду. Специализированное программное обеспечение I-Site Studio специально разработано для горных работ и маркшейдерии.

Для повышения точности высокоточных инструментальных наблюдений предусматривается закладка на бортах карьера постоянных опорных пунктов. На карьере Кентобе были выбраны четыре места, где заложены опорные пункты

(пилоны). Для получения достоверных результатов разработана схема производства лазерного сканирования прибортовых массивов карьера и ведутся систематические инструментальные наблюдения за северным и южным бортами. С помощью лазерного сканера определяется положение прибортового массива путем производства сканирования выделенного участка местности, полученное облако точек трансформируется в трехмерную модель и сравнивается с последующими сериями измерений.

Инструментальные наблюдения за состоянием прибортовых и отвальных массивов на карьере с использованием лазерного сканера необходимо проводить не реже двух раз в год в соответствии с инструкцией. При обнаружении деформации массива инструментальные наблюдения должны выполняться ежедневно и впоследствии определяются скорости движения массива. Только скорость сдвижения может служить основанием пересмотра периодичности производства наблюдений.

Результатом лазерного сканирования является облако точек, полученное с пяти участков.

Анализ полученных данных сканов и их наложение друг на друга производилось с использованием программ Maptek I-Site Studio. На нижеприведенных рисунках можно увидеть наложение двух последних серий наблюдений (зеленым цветом – июнь 2022 г., серым цветом – август 2022 г.) [51].

Сравнивая две серии скановых снимков, можно сказать, что имеются незначительные осыпи. Сходности поверхности откосов уступов и в целом северного борта карьера находится в пределах точности создания скана.

На западном участке борта (рисунок 2.10) наблюдается сползание глинистых отложений, которые не представляют собой угрозы,

Сканы юго-западного борта карьера (рисунок 2.11) показывают наличие лишь осыпей на предохранительных бермах, а южный борт карьера в целом устойчив. Однако в юго-восточной его части наблюдается зарождение новых оползневых явлений на верхних глинистых откосах уступов.

Сканы северо-восточного и восточного борта карьера (рисунки 2.12, 2.13) показывают наличие лишь осыпей на предохранительных бермах, но в целом он устойчив. Однако в юго-восточной (рисунок 2.14) его части наблюдается зарождение новых оползневых явлений на верхних глинистых откосах уступов.

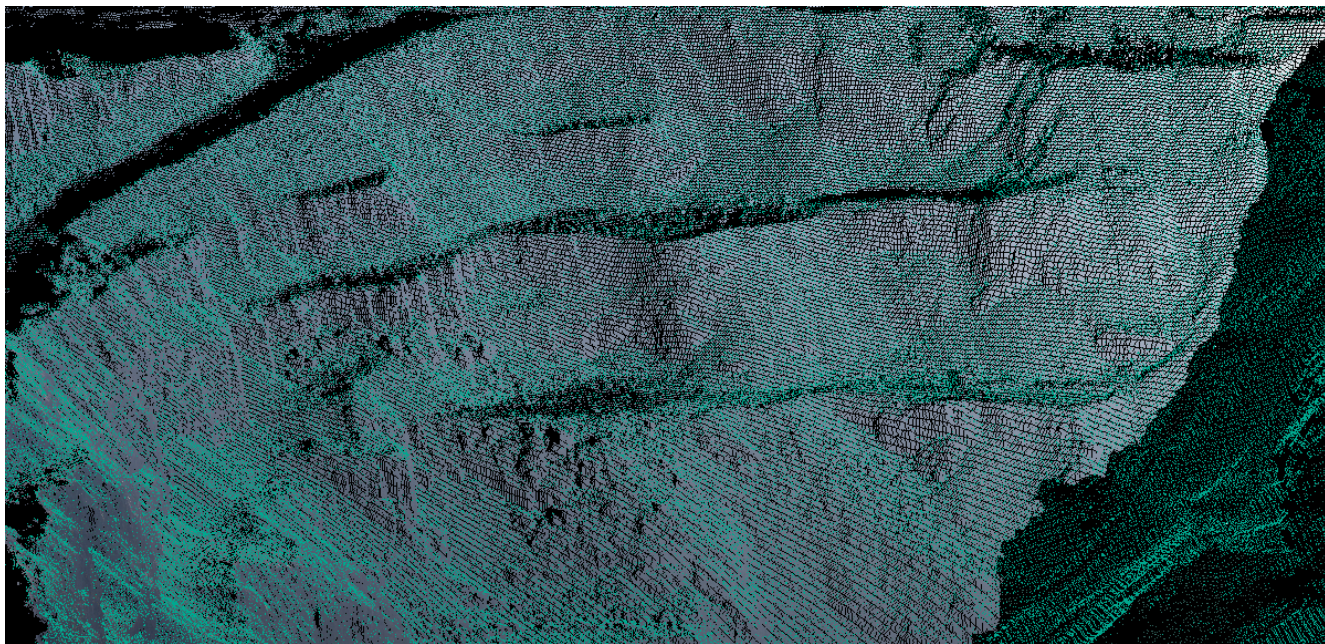


Рисунок 2.10 – Скановое изображение западного борта карьера

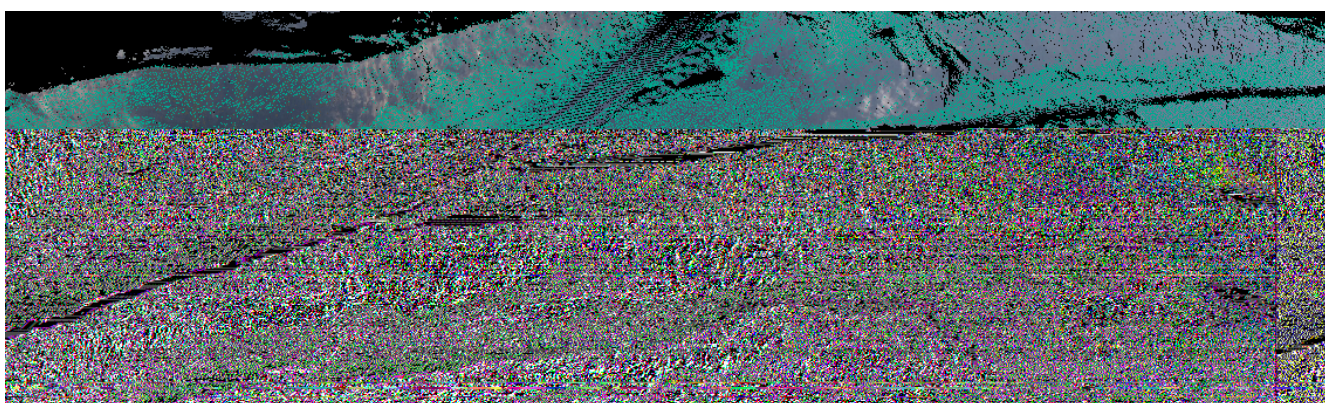


Рисунок 2.11 – Юго-западный борт карьера

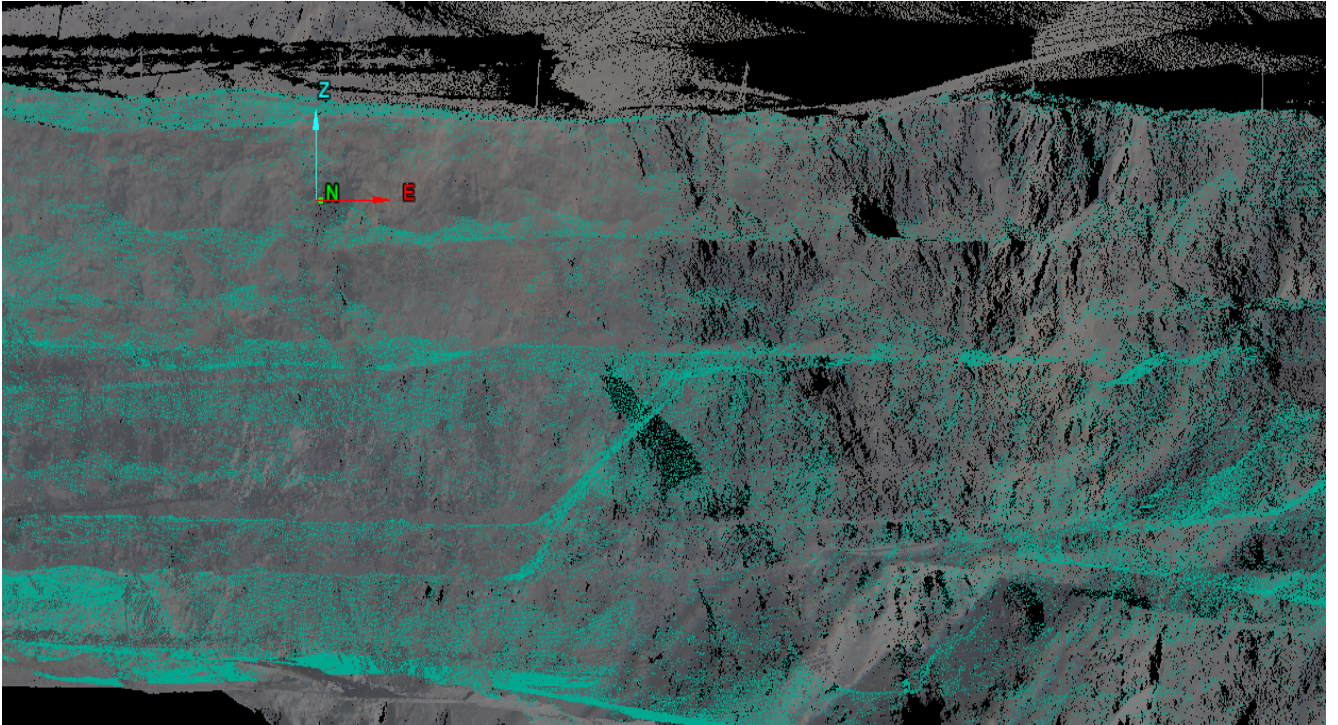


Рисунок 2.12 – Скановое изображение северо-восточного борта карьера

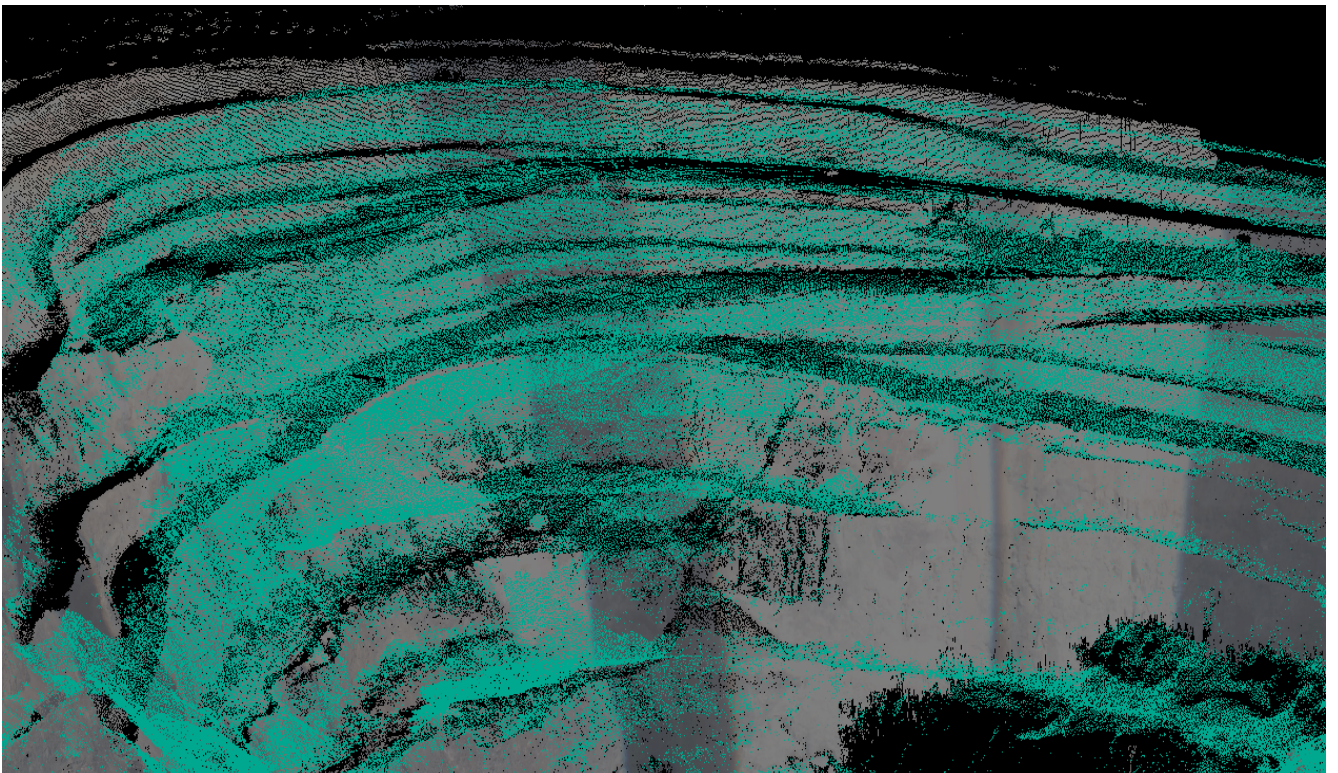


Рисунок 2.13 – Скановое изображение восточного борта карьера

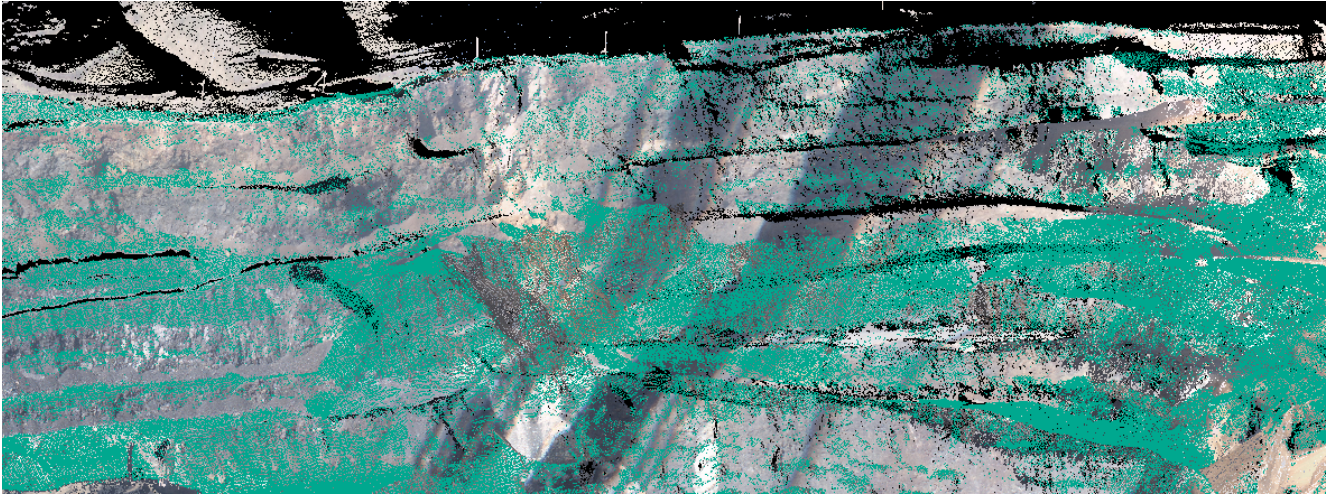


Рисунок 2.14 – Скановое изображение юго-восточного борта карьера

2.5 Методика мониторинга деформаций бортов карьера горным лазерным сканером

В настоящее время технология лазерного сканирования становится неотъемлемой частью проводимого комплекса геодезических работ с целью получения в кратчайшие сроки полной и достоверной информации о деформациях, оползнях и обрушениях на основе цифровой модели карьера.

Сущность наземного лазерного сканирования заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек, расположенных на бортах карьеров, и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов).

Необходимо отметить, что фактическая точность определения координат точек бортов карьеров с использованием наземных лазерных сканеров зависит, в основном, от технических характеристик прибора, структуры бортов и углов откосов уступов карьера. Практическое значение применения лазерного сканирования заключается в том, что результаты наблюдений используются в качестве исходного материала для оценки степени устойчивого состояния карьерных откосов. На основе полученных данных изучается характер протекания деформационных процессов, затрагивающих борта карьеров, делается соответствующий прогноз их деформационного состояния и составляются рекомендации по повышению устойчивости [11, 51, 119].

Особое значение инструментальные наблюдения, предусматривающие дистанционное сканирование поверхности карьеров или их участков, приобретают в случаях, когда имеют место активные деформации карьерных откосов, исключающие применение обычных методик наблюдений в отсутствие безопасного доступа к исследуемому участку. В нашем случае, с точки зрения техники безопасности выполнения геодезических работ, невозможен доступ на северный борт карьера и поэтому было принято решение применить лазерное сканирование. Точность получения параметров съемки определяется расстоянием между прибором и снимаемым объектом. Расстояние между прибором и снимаемым бортом карьера соответствовала нормальным параметрам съемки.

Система наблюдений с использованием лазерного сканера была установлена на верхней бровке устойчивого (не деформируемого) борта карьера, которая гарантирует стабильность наблюдательного опорного пункта. Если же применять электронный тахеометр, то необходим будет еще один устойчивый ориентирный пункт.

Для систематических высокоточных инструментальных наблюдений за состоянием бортов карьера месторождения на южном борту карьера были заложены и установлены два пилон. Пилоны предназначены для высокоточных инструментальных наблюдений за состоянием бортов карьера (рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Система наблюдений на карьере Кентобе
(пилон – юго-восточный борт)

На рисунке 2.16 приведена схема установки приборов при выполнении наблюдений на карьере.

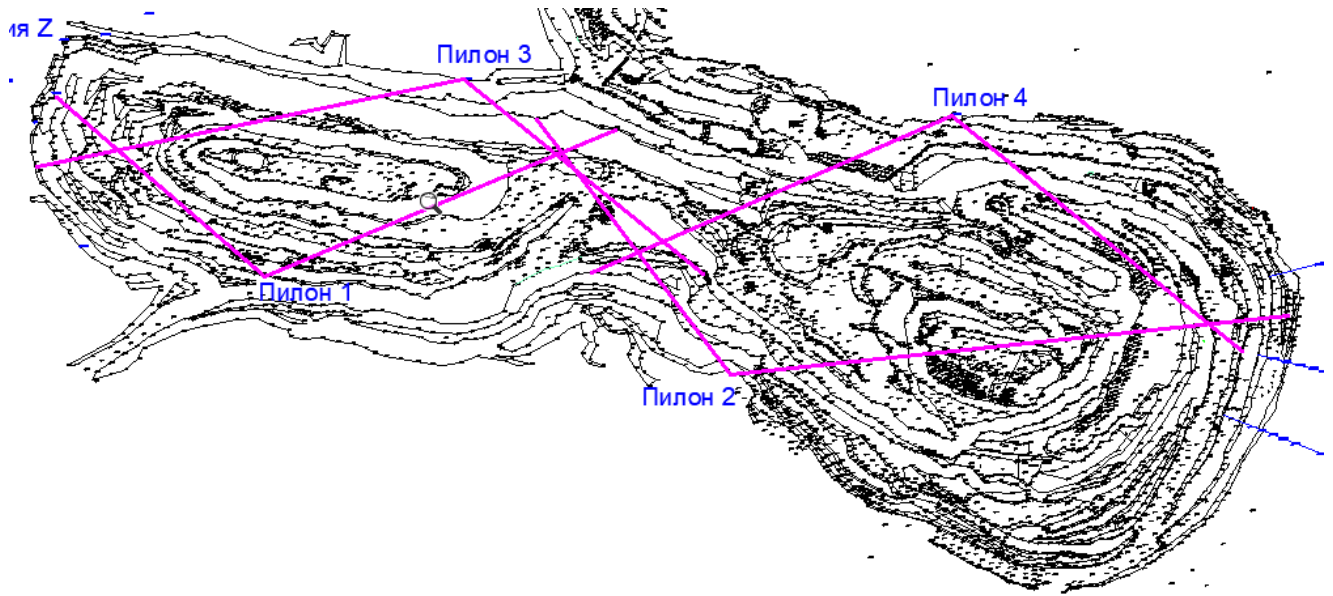


Рисунок 2.16 – Схема установки приборов при выполнении наблюдений на карьере

Сканирование производилось сканером Leica HDS-8800. Результатом лазерного сканирования является облако точек, полученное с двух участков борта карьера.

Анализ полученных данных сканов и их наложение друг на друга производилось с использованием программ Maptek I-Site Studio. На рисунках 2.17, 2.18 приведен результат наложения двух последних серий наблюдений северо-западного и северо-восточного участков [51, 119]. На рисунке 2.17 розовым цветом выделено облако точек, которые снято в марте, а серым цветом – серия произведена в октябре.

На рисунках 2.17, 2.19 видны розовые области, представляющие изменения положения откосов уступов в связи с ведением горных работ. Для более детального мониторинга состояния бортов необходимо усилить контроль за ведением горных работ на нижних горизонтах этих участков.

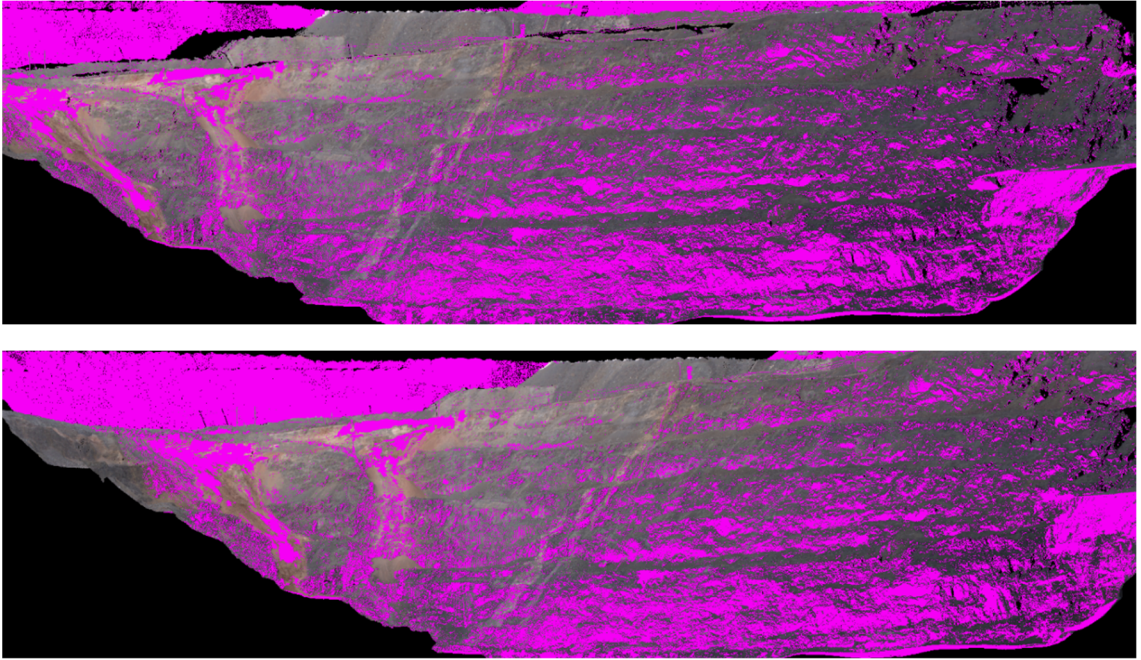


Рисунок 2.17 – Наложение двух сканов северо-западного участка борта карьера (март-октябрь), март – розовым цветом

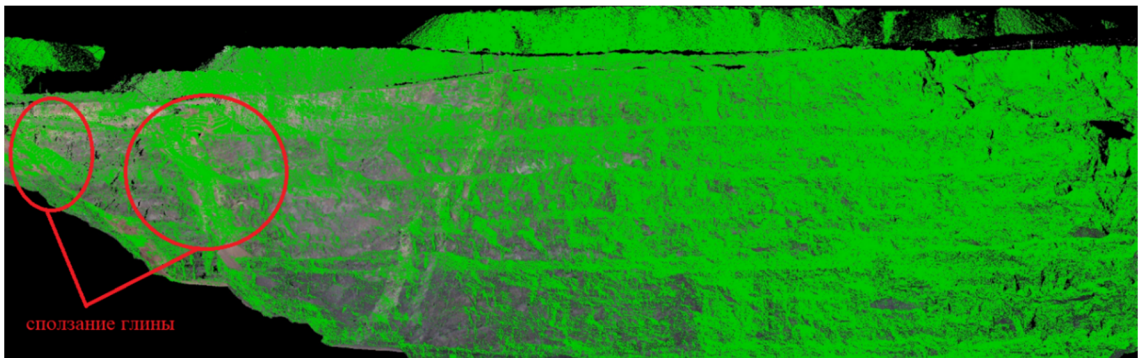


Рисунок 2.18 – Наложение двух сканов северо-западного участка борта карьера (август-октябрь), август – зеленым цветом

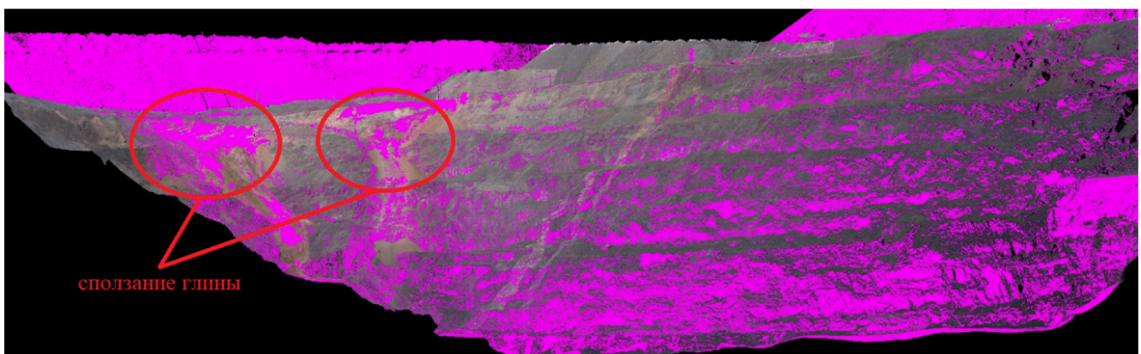


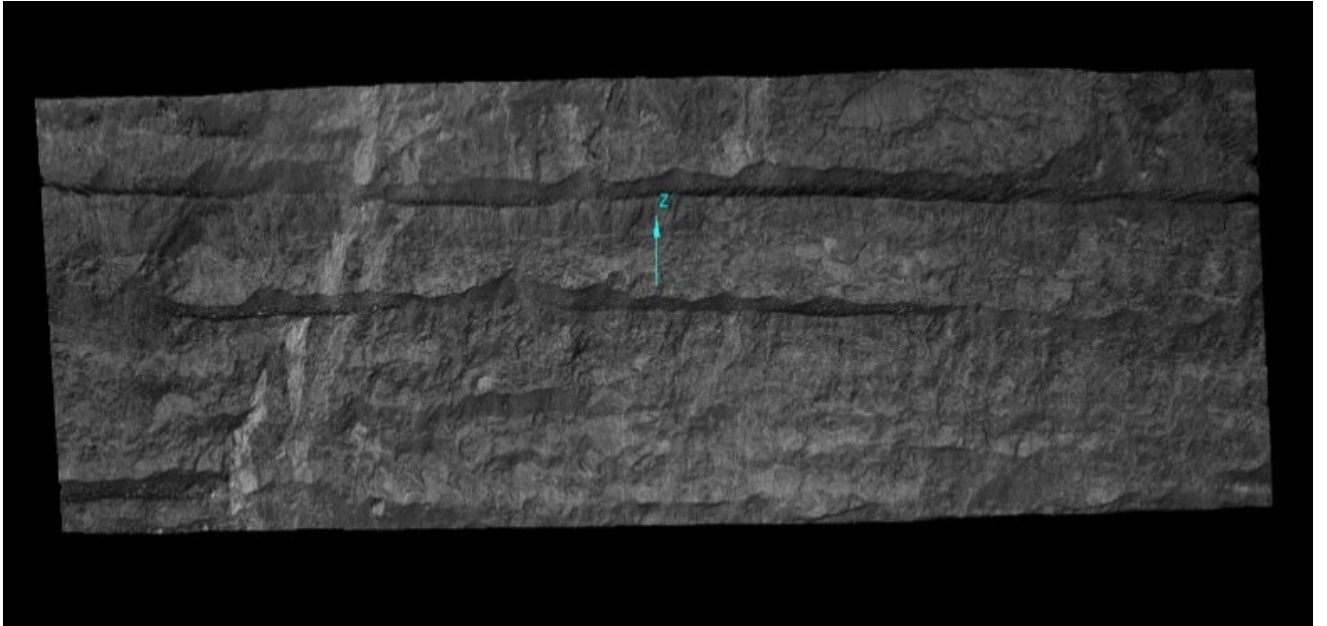
Рисунок 2.19 – Наложение двух сканов северо-восточного участка борта карьера (март-октябрь), март – розовым цветом

Сравнивая две серии скановых снимков, можно наглядно увидеть наличие незначительных осыпей, которые появились после массовых взрывов. Можно сказать, что сходимости поверхности откосов уступов и в целом северного борта карьера находятся в пределах точности измерения инструмента и в некоторых моментах можно увидеть сходства со старым снимком. Из-за ошибки инструмента большинство точек могут выйти на передний план и казаться выдвинутыми, но это не значит, что борт находится в движении. Поэтому можно утверждать, что северный борт карьера находится в устойчивом состоянии, а на северо-западном участке борта наблюдается сползание глинистых отложений, которые не представляют собой угрозы в виде оползня [43, 51, 67, 68].

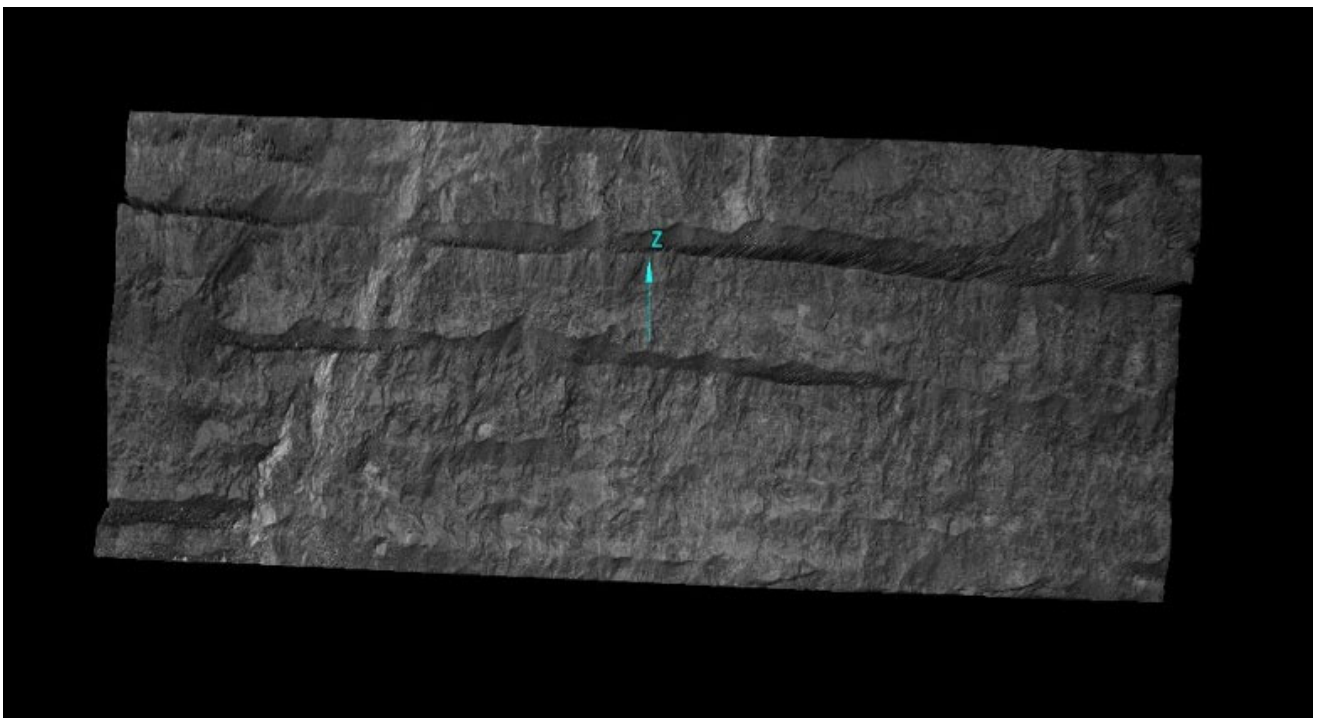
Для сравнения двух скановых изображений на северном борту карьера Кентобе были выбраны два участка. Выполнение визуального сравнения скановых изображений производилось в программном обеспечении 3DReshaper наложение (сравнение) (рисунок 2.20, *а, б*).

На рисунке 2.21 приведена сходимость двух серий наблюдений участка 1. Из проведенного цветового анализа северного борта карьера Кентобе следует, что темно-зеленая центральная зона – это область, где отклонение невелико. Это может быть интерпретировано как «хорошая» зона, не имеющая значительных деформаций и сходимость полученных результатов из нескольких циклов наблюдений составляет 94,2 %. Это процентное выражение и цветовые характеристики в шкаловом диапазоне говорят о хороших результатах при съемке борта карьера; борт карьера находится в стабильном положении.

Ранее мы сравнивали две серии наблюдений. Рассмотрим теперь четыре съемки одного и того же участка борта карьера. На каждом выбранном участке в течение года было выполнено по четыре серии наблюдений [43, 68]. Каждое облако точек было выстроено в модель (рисунки 2.22, 2.23) с целью выявления движения борта карьера в течение продолжительного периода времени (в течение года), сравнения были наложены друг на друга. Для удобства визуального сравнения все четыре серии наблюдений обозначены разными цветами.



a)



б)

Рисунок 2.20 – Результаты сканирования борта карьера

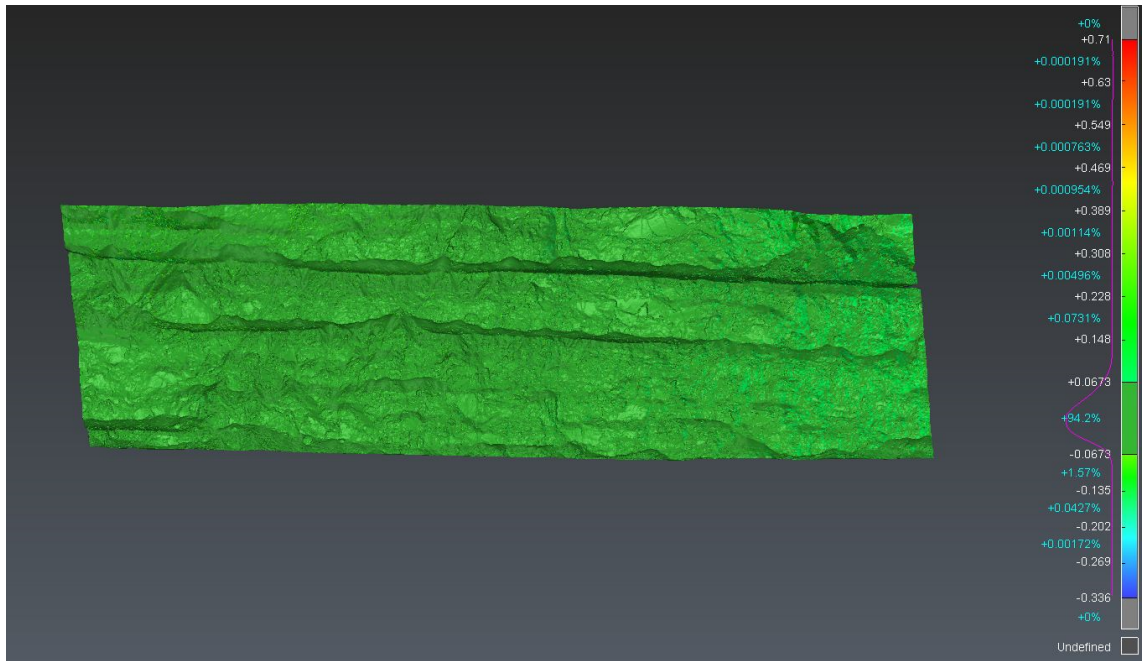


Рисунок 2.21 – Сравнительный анализ северного борта (участок 1)
в программном обеспечении 3DReshaper

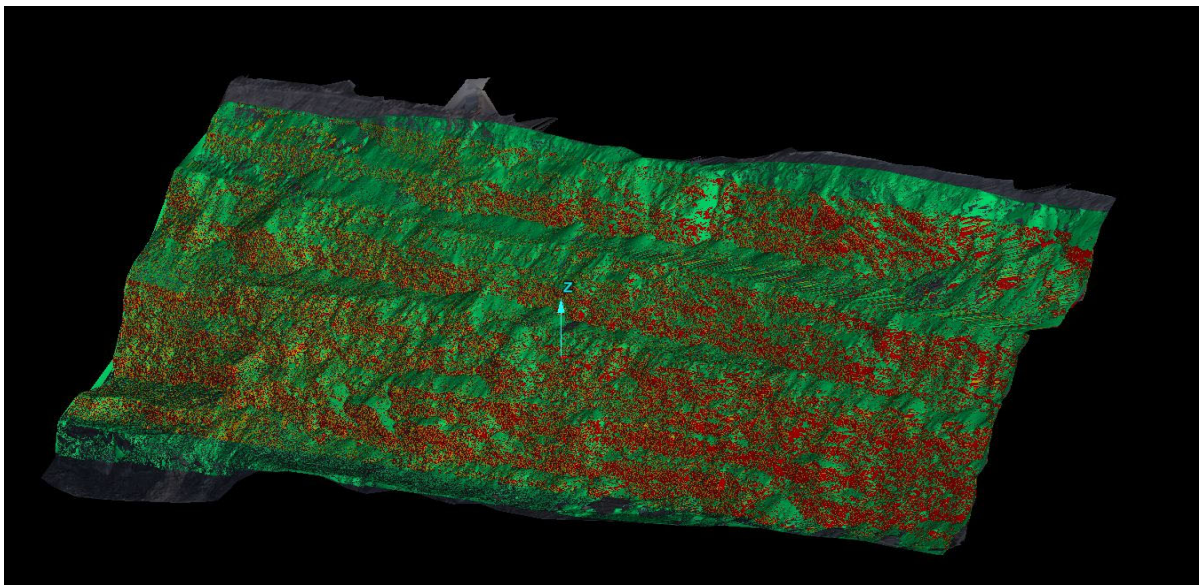


Рисунок 2.22 – Наложение моделей северо-западного участка борта карьера
(несколько серий)

На рисунке 2.23 показано наложение моделей северо-восточного участка борта карьера (несколько серий)

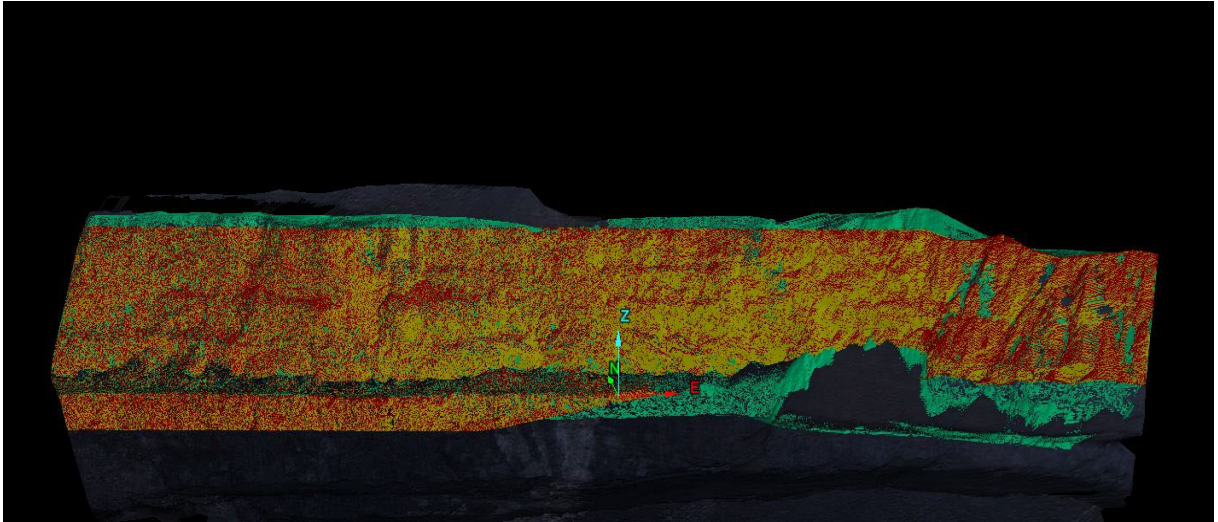


Рисунок 2.23 – Наложение моделей северо-восточного участка борта карьера
(несколько серий)

На рисунке 2.24 приведен анализ наложения моделей, сходимость составляет 86,7 %. При этом зона над центральной зоной – это область «сверх» допуска, а зона под центральной зоной – это область «под» допуском.

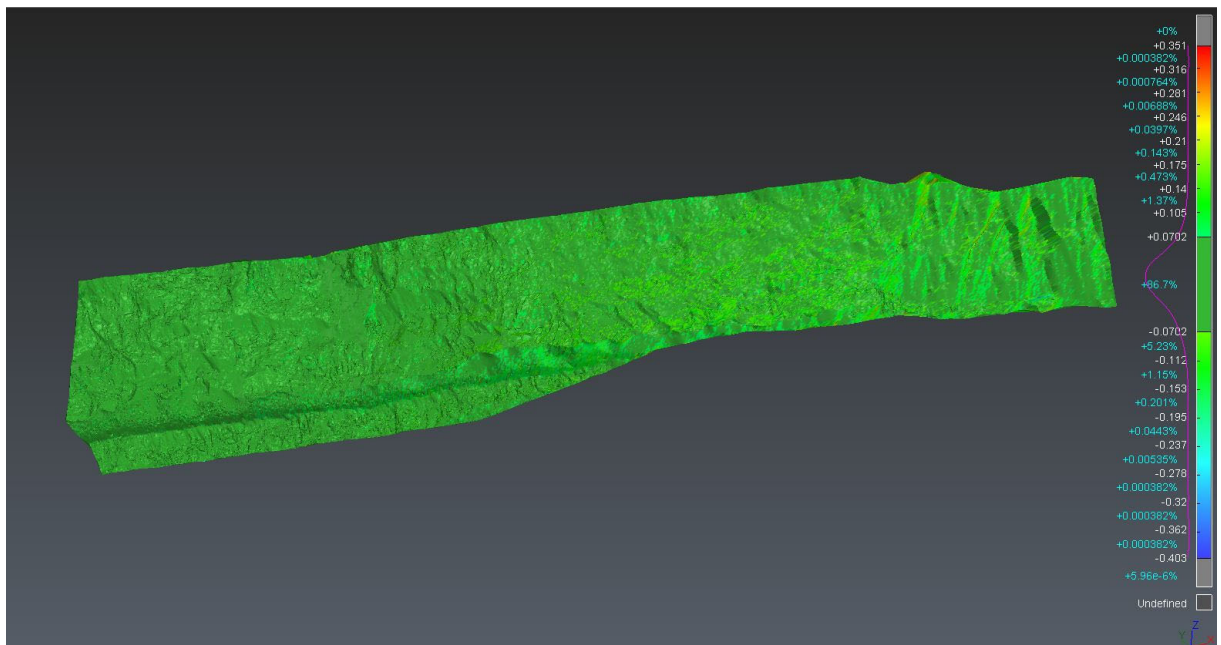


Рисунок 2.24 – Сравнительный анализ северо-восточного борта
в программном обеспечении

На рисунке 2.25 показан график зависимости длины борта карьера от расстояния между тремя циклами (сериями) сканирования. Из графика видно, что максимальное расхождение между первой и последней серией наблюдения составляет 28–29 мм.

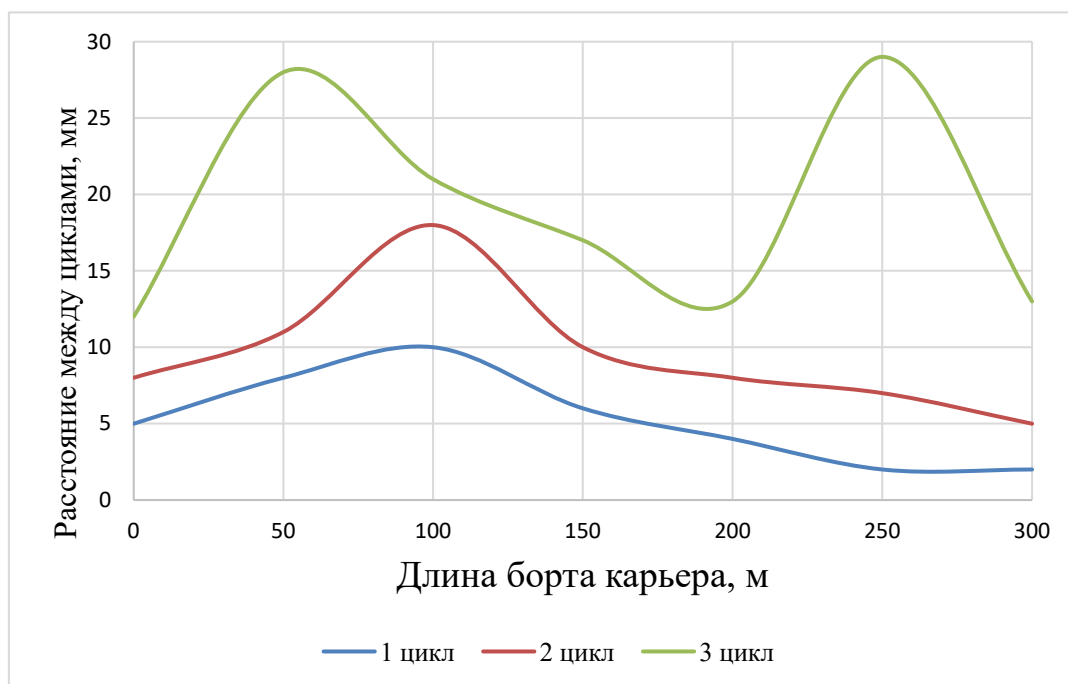


Рисунок 2.25 – Величины деформаций вдоль оси борта карьера

На рисунке 2.26 показан график зависимости высоты борта карьера от расстояния между тремя циклами (сериями) сканирования. Из графика видно, что максимальное расхождение между первой и последней серией наблюдения составляет порядка 20 мм.

В таблице 2.5 приведены результаты отклонения между сериями сканирования.

Получение цифровой модели прибортовых массивов карьера позволяет создать электронную базу, с использованием которой в дальнейшем, при необходимости, для решения маркшейдерских и геомеханических задач можно произвести определение геометрических параметров отдельных элементов откосов уступов и массива с помощью программного комплекса «Maptek I-SiteStudio» [68].

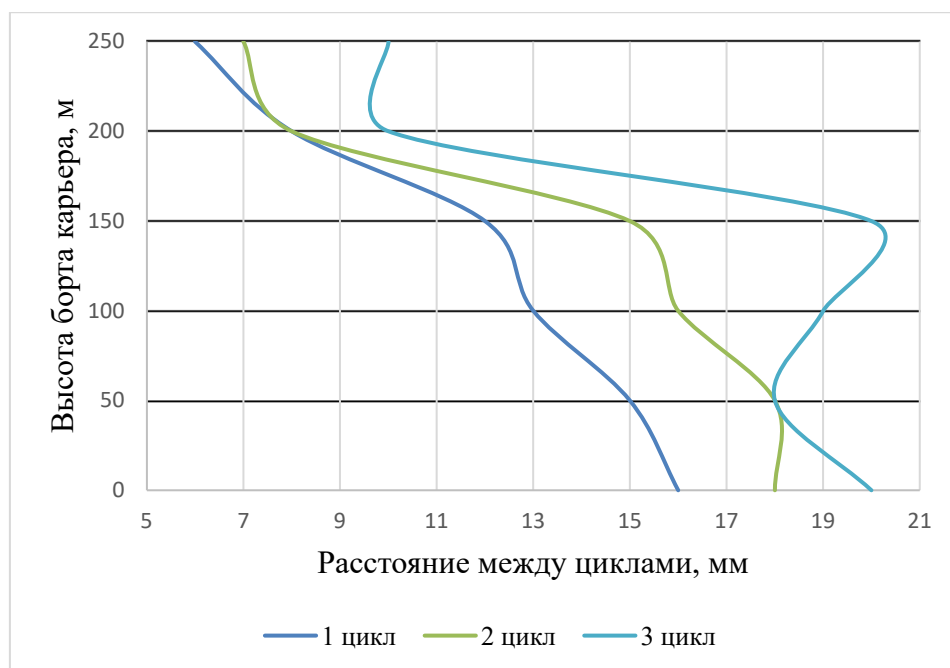


Рисунок 2.26 – Величины деформаций борта карьера по его высоте

Таблица 2.5 – Величины отклонений между сериями сканирования

Расст. между 1-й и 2-й сериям, м	Δ , мм	Σ , мм	Расст. между 2-й и 3-й сериям, м	Δ , мм	Σ , мм	Расст. между 3-й и 4-й сериям, м	Δ , мм	Σ , мм	Расст. между 1-й и 4-й сериям, м
0,005	0	0	0,006	1	1	0,009	3	4	0,005
0,006	0	0	0,008	2	2	0,012	4	6	0,007
0,007	0	0	0,009	2	2	0,010	1	3	0,014
0,008	0	0	0,009	1	1	0,009	0	1	0,011
0,010	0	0	0,012	2	2	0,014	2	4	0,015
0,008	0	0	0,006	-2	-2	0,007	1	-1	0,014
0,007	0	0	0,006	-1	-1	0,007	1	0	0,015
0,010	0	0	0,008	-2	-2	0,008	0	-2	0,012
0,010	0	0	0,010	0	0	0,012	2	2	0,013
0,015	0	0	0,018	3	3	0,020	2	5	0,016
0,006	0	0	0,008	2	2	0,010	2	4	0,009
0,012	0	0	0,012	0	0	0,015	3	3	0,016
0,018	0	0	0,016	-2	-2	0,012	-4	-6	0,011
0,017	0	0	0,015	-2	-2	0,010	-5	-7	0,014
0,020	0	0	0,017	-3	-3	0,015	-2	-5	0,012
0,009	0	0	0,008	-1	-1	0,007	-1	-2	0,003
0,007	0	0	0,005	-2	-2	0,004	-1	-3	0,006
0,010	0	0	0,011	1	1	0,014	3	4	0,015
0,015	0	0	0,017	2	2	0,018	1	3	0,019
0,013	0	0	0,015	2	2	0,017	2	4	0,017

Окончание таблицы 2.5

Расст. между 1-й и 2-й серией, м	Δ , мм	Σ , мм	Расст. между 2-й и 3-й серией, м	Δ , мм	Σ , мм	Расст. между 3-й и 4-й серией, м	Δ , мм	Σ , мм	Расст. между 1-й и 4-й серией, м
0,002	0	0	0,005	3	3	0,005	0	3	0,008
0,004	0	0	0,007	3	3	0,009	2	5	0,005
0,006	0	0	0,010	4	4	0,013	3	7	0,010
0,008	0	0	0,012	4	4	0,012	0	4	0,009
0,010	0	0	0,010	0	0	0,015	5	5	0,004
0,012	0	0	0,013	1	1	0,016	3	4	0,010
0,016	0	0	0,017	1	1	0,022	5	6	0,017
0,024	0	0	0,028	4	4	0,032	4	8	0,029
0,028	0	0	0,032	4	4	0,025	-7	-3	0,012
0,025	0	0	0,028	3	3	0,023	-5	-2	0,028
0,020	0	0	0,023	3	3	0,023	0	3	0,025
0,015	0	0	0,017	2	2	0,012	-5	-3	0,015
0,008	0	0	0,010	2	2	0,015	5	7	0,008
0,010	0	0	0,012	2	2	0,018	6	8	0,010
0,008	0	0	0,010	2	2	0,015	5	7	0,004
0,007	0	0	0,006	-1	-1	0,010	4	3	0,050
0,005	0	0	0,004	-1	-1	0,006	2	1	0,007
0,009	0	0	0,007	-2	-2	0,009	2	0	0,009
0,008	0	0	0,007	-1	-1	0,010	3	2	0,012
0,005	0	0	0,003	-2	-2	0,007	4	2	0,008

В результате проведенных инструментальных геодезических измерений на исследуемых постах наблюдательных станций и последующей камеральной обработке полевого материала были получены данные о деформационном состоянии земной поверхности.

С целью дальнейшего проведения деформационного мониторинга прибортовых массивов планируется создать на карьере опорное обоснование, предназначенное для выполнения следующих работ:

- сканирования бортов карьеров и построения цифровой модели существующего карьера;
- обеспечения по существующим наблюдательным станциям высокоточного инструментального контроля состояния откосов, уступов и бортов карьера, а также отвала;
- разработки мер с целью ликвидации оползневых явлений в глинистых породах.

2.6 Методика наблюдений за просадками земной поверхности в результате ведения горных работ

Координирование реперов профильных линий проводилось с использованием электронного тахеометра Leica MS50 и жестких отвесов, на которые устанавливался призмный отражатель на стойке (рисунок 2.27). При выполнении инструментальных наблюдений вводились поправки за температуру, давление, влажность атмосферы.



Рисунок 2.27 – Полевые работы

При наблюдении за сдвигами земной поверхности в районе карьеров расстояния в среднем равны 100–1 500 м. В этом случае при применении высокоточного тахеометра СКО определения координат точки стояния не будут превышать 2–3 мм.

Инструментальные наблюдения за просадками земной поверхности в результате ведения горных работ проведены методом высокоточного геометрического нивелирования с использованием цифрового нивелира DNA 03 [63].

На рисунке 2.28 представлен совмещенный план земной поверхности и горных выработок, на котором нанесены воронки и провалы.



Рисунок 2.28 – Совмещенный план поверхности и горных выработок

Геометрическое нивелирование было выполнено методом двойного нивелирования профильных линий, при котором получаемые ошибки ходов соответствуют точности нивелирования II класса. Были проведены четыре серии инструментальных наблюдений по реперам двух профильных линий, результаты которых приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты инструментальных наблюдений по второй профильной линии

№ п/п	Абсолютные отметки реперов профильной линии, м				Осадки реперов, мм				
	1-я серия июль, м	2-я серия август	3-я серия сентябрь	4-я серия октябрь	2-1 серия, мм	3-2 серия, мм	3-1 серия, мм	4-3 серия, мм	4-1 серия, мм
1	476,505	476,505	476,505	476,505	0	0	0	0	0
2	475,680	475,692	475,692	475,692	12	0	12	0	12
3	475,091	475,097	475,101	475,097	6	4	10	-4	6
4	474,910	474,914	474,916	474,913	4	2	6	-3	3
5	474,764	474,768	474,769	474,766	4	1	5	-3	2

Окончание таблицы 2.6

№ п/п	Абсолютные отметки реперов профильной линии, м				Осадки реперов, мм				
	1-я серия июль, м	2-я серия август	3-я серия сентябрь	4-я серия октябрь	2-1 серия, мм	3-2 серия, мм	3-1 серия, мм	4-3 серия, мм	4-1 серия, мм
6	473,642	473,652	473,659	473,651	10	7	17	-8	9
7	474,052	474,061	474,076	474,061	9	15	24	-15	9
8	473,025	473,037	473,044	473,036	12	7	19	-8	11
9	472,670	472,683	472,688	472,680	13	5	18	-8	10
10	476,682	-	476,522	-			-160	поврежден	
11	472,172	472,177	472,179	472,178	5	2	7	-1	6
12	471,293	471,310	471,311	471,310	17	1	18	-1	17
13	471,104	471,122	471,124	471,123	18	2	20	-1	19
14	470,320	470,340	470,341	470,340	20	1	21	-1	20
15	470,245	470,264	470,266	470,266	19	2	21	0	21
16	468,336	468,353	468,352	468,354	17	-1	16	2	18

Анализ результатов инструментальных наблюдений показал, что проведенные наблюдения не выявили деформаций земной поверхности в результате ведения подземных горных работ. Однако необходимо отметить, что сроки проведения серий наблюдений не могут отразить возможные деформации земной поверхности, так как весь период наблюдений составил всего четыре месяца [12, 119].

С целью наблюдения за состоянием горного массива в шахте закреплены реперы наблюдательной станции в боковой стенке главного откаточного штрека гор. +44 м. Профильная линия проложена по откаточному штреку гор. +44 м от Главного ствола до Восточно-Вентиляционного ствола и включает в себя 12 ственных реперов. Металлические реперы длиной 40 см диаметром 38 мм заложены в шпурь и зацементированы. Первая серия наблюдений выполнена в сентябре 2018 г. до массового взрыва, вторая серия проведена в конце октября после взрыва. Инструментальные наблюдения проводились с использованием электронного тахеометра Leica MS50 и жестких призмных отражателей на штативах (рисунок 2.29).

По выработке прокладывался полигонометрический ход от пунктов маркшейдерской сети по методике «потерянных точек» с таким расчетом, чтобы тахеометр устанавливался напротив каждого репера, закрепленного в стенке выработки.



Рисунок 2.29 – Наблюдения по реперам на откаточном штреке гор. + 44 м

Реперы в шахте координировались методом безотражательной съемки прямым наведением на центр при двух положениях вертикального круга. Положение рабочих реперов в пространстве определялось с фиксированием горно-геологических факторов. Все измерения тахеометра Leica MS50, для повышения точности и исключения грубых ошибок, выполняются при двух положениях вертикального круга шестью приемами. Прием измерения включает одно наведение на репер, при котором производится несколько измерений (2-3). За окончательный результат принимается среднее значение измерений, при этом разница между отдельными отсчетами не должна превышать 2,0 мм [12].

С помощью тахеометра определяются координаты начального положения реперов профильных линий, координаты тех же реперов при последующих наблюдениях, горизонтальные проложения и превышения между реперами и их смещения.

По разности координат реперов ΔX , ΔY , ΔZ относительно их исходного положения можно определить направление в пространстве вектора смещения в цифровом виде, а также по разнице горизонтальных проложений ΔS между реперами относительно исходных значений можно судить об устойчивости (сдвигении) горного массива.

При использовании тахеометра обработка результатов инструментальных измерений производилась в программе Excel. При обработке инструментальных наблюдений значения смещений и отклонений в горизонтальной и вертикальной плоскости удобно определять через координаты реперов как разность координат между начальными и последующими измерениями ΔX , ΔY , ΔZ .

Дополнительным контролем за смещениями реперов в горизонтальной и вертикальной плоскостях являлся расчет dS – изменения длины интервала, ΔL – определения смещения репера, а также суммы ΣdS и $\Sigma \Delta Z$ за период наблюдений.

При проведении серии инструментальных маркшейдерско-геодезических измерений выполняется однотипная ориентировка направлений для привязки профильной линии наблюдательной станции к пунктам маркшейдерской сети п. 522 и п. 552 с целью повышения точности визирования и соблюдения единой методики измерений в каждом цикле наблюдений.

Результаты сравнительного анализа между сериями наблюдений приведены в таблице 2.7.

Анализ результатов инструментального мониторинга реперов профильной линии в шахте на горизонте + 44 м показал, что горизонтальные деформации интервалов не превышают 38,0 мм, а величина суммарного горизонтального смещения реперов на конце профильной линии равна 6,0 мм. Инструментальные измерения, проведенные в два цикла (до и после массового взрыва) показали, что при данных условиях разработки на глубине 435 м проведение взрывов не оказывает значительного влияния на устойчивость горного массива откаточного штрека гор. + 44,0 м [63].

Для мониторинга состояния горного массива при отработке запасов нижележащих горизонтов необходимо продолжить серии инструментальных наблюдений по реперам, выполнять изучение структуры и производить замеры трещиноватости горного массива (рисунок 2.30).

Таблица 2.7 – Результаты инструментального мониторинга реперов профильной линии в шахте

№ точки	1-й цикл (сентябрь 2020 г.)		2-й цикл (ноябрь 2020)		Горизонтальные деформации ΔS , мм	Горизонтальное смещение ΔL , мм
	Расстояние между реперами S , м	Суммарная длина интервала от исходного маркшейского пункта до репера L , м	Расстояние между реперами S , м	Суммарная длина интервала от исходного маркшейского пункта до репера L , м		
M11						
M10	104,160	104,160	104,166	104,166	7	7
M9	108,951	213,106	108,979	213,141	28	35
M8					Репер утрачен	
M7	134,579	347,685			Репер утрачен	
M6	223,526	436,660	223,495	436,627	-30	-33
M5	104,925	104,925	104,924	104,924	-1	-1
M4	100,074	204,997	100,074	204,996	0	-1
M3	162,824	367,817	162,786	367,780	-38	-38
M2	108,794	476,548	108,774	476,551	-20	3
M1	50,223	526,771	50,226	526,776	3	6

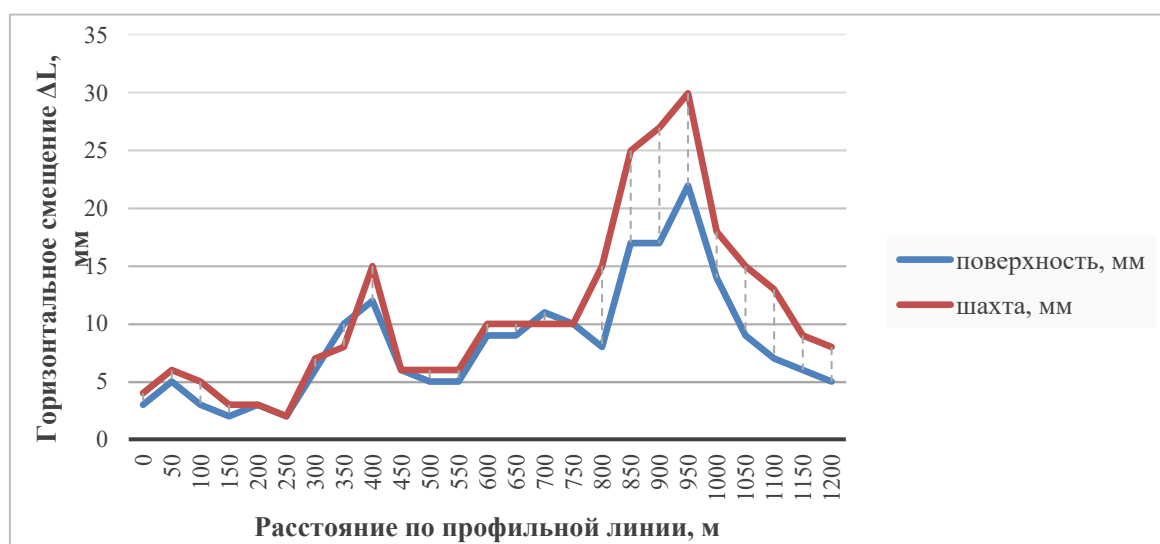


Рисунок 2.30 – Анализ результатов инструментального мониторинга реперов профильной линии на поверхности и в шахте

Как показано на рисунке 2.30, инструментальные измерения, проведенные в два цикла: до и после массового взрыва, на поверхности и в шахте – показали, что

при данных условиях разработки на глубине 435 м проведение взрывов также не оказывает значительного влияния на деформационные процессы.

В программу наблюдений было включено проведение лазерного сканирования участка откаточного штрека гор. + 44 м. Сканирование было выполнено с использованием тахеометра Leica MS50, который снабжен функцией лазерного сканирования (рисунок 2.31).

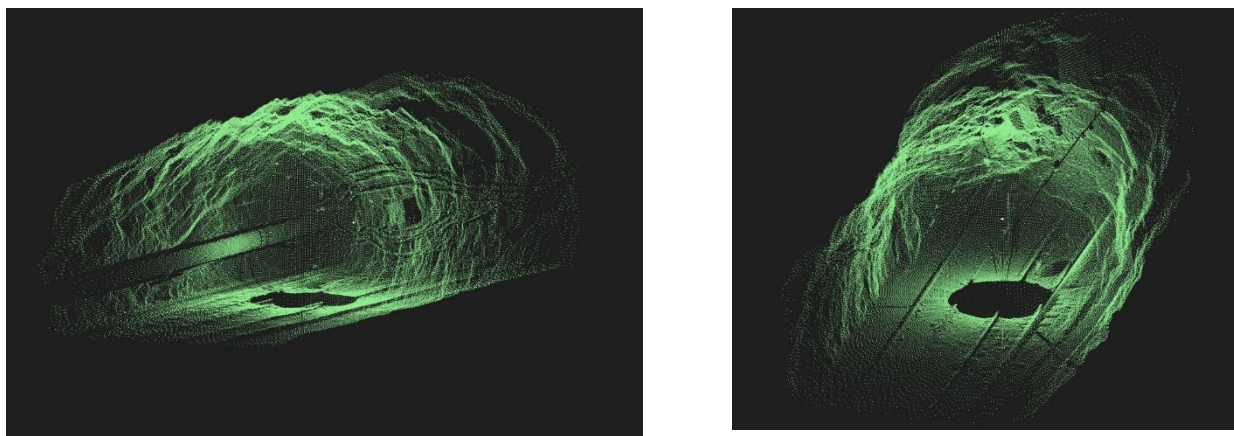


Рисунок 2.31 – Сканирование горной выработки

В дальнейшем для исследования горного массива и наблюдения за деформациями предлагается прокладывать в шахте ходы лазерного сканирования, которые позволят создать объемную 3D-модель горной выработки и получить детальное изображение структуры массива.

2.7 Мониторинг деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях

Наиболее важными по интенсивности и опасности проявлениями в пределах территории Карагандинской области являются процессы оседания земной поверхности за счет шахтной подработки и, частично, за счет осушения водоносных комплексов при шахтном водоотливе, а также подтопления г. Караганды, формирующиеся под действием комплекса природных и техногенных факторов.

Проведение горных выработок влечет за собой изменение напряженного состояния массива горных пород, вызывает деформации и перемещения их в сторону выработанного пространства, что обуславливает возникновение и развитие процесса сдвижения. Захватывающие толщу горных пород, а также и земную поверхность, сдвижения и деформации могут оказаться опасными для расположенных на поверхности сооружений, природных и хозяйственных объектов, в том числе и проведенных в толще пород горных выработок.

При выборе районов наблюдения за оседанием поверхности руководствовались однородностью геологического строения толщ пород, залегающих выше каменноугольных отложений. На этом основании для выполнения наблюдений были выбраны два района – Карагандинский и Шерубайнуринский [63].

В Карагандинском районе в геологическом строении надугольной толщи участвуют мезозойские образования (юрские слабосцементированные континентальные накопления), а также рыхлые четвертичные отложения аллювиально-делювиально-пролювиального генезиса. В Шерубайнуринском районе надугольная толща представлена рыхлыми отложениями палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов.

Таким образом, выделились два принципиально различных по условиям района, в которых возможна различная активность проявления процесса. При выборе опорных участков основное внимание уделялось горно-геологическим условиям подработки.

При выборе районов наблюдения за оседанием земной поверхности руководствовались следующими факторами:

- однородностью геологического строения толщ пород, залегающих выше каменноугольных отложений;
- глубиной шахтной подработки в зависимости от мощности вышележащих комплексов пород;
- общностью геоморфологических условий;
- общностью гидрогеологических условий;

- временным фактором проявления процессов, в зависимости от продолжительности шахтной деятельности;
- состоянием шахтного производства (действующее, законсервированное, ликвидированное).

Карагандинские шахты вскрыты вертикальными клетьевыми, скиповыми и вентиляционными стволами, а также капитальными квершлагами, применяется столбовая система разработки выемочных блоков по падению или по простиранию пласта. Особенностью Карагандинского угольного бассейна является наличие свиты пластов, т. е. одни и тех же участки земной поверхности могут быть многократно подработаны.

При исследовании технологических особенностей на шахтах Карагандинского угольного бассейна была выявлена идентичность систем разработки, технологии и механизации ведения горных.

На основании анализа всех условий залегания и отработки выемочных блоков выделены девять участков (постов) на территории бассейна, которые находятся в зоне подработки. На выделенных девяти постах была создана система наблюдательных станций, заложенных с целью получения основных параметров сдвижения земной поверхности при многократной ее подработке, с таким условием, чтобы период наблюдений был не менее трех лет [12, 46, 63].

Каждая профильная линия включает в себя систему опорных и рабочих реперов. Опорные реперы закладывались на концах профильных линий вне зоны возможного влияния подземной подработки. На каждом конце профильной линии закладывалось не менее двух опорных реперов.

При закладке наблюдательной станции кроме опорных и рабочих реперов было выбрано три исходных репера, от которых проверяли неподвижность опорных реперов по высоте. Для этой цели использовали существующие пункты маркшейдерской опорной сети, расположенные вне зоны сдвижения земной поверхности [12, 63]. Для определения координат реперов и скважин для трех постов Шерубайнуринского каменноугольного района были использованы координаты пунктов триангуляции

государственной геодезической сети, которые представлены на рисунке 2.32. Наблюдательные станции были заложены в виде «конверта». Рабочие реперы были заложены через 200 м между опорными реперами. Всего на девяти постах было установлено 195 реперов. Во избежание вертикальных смещений репера за счет деформаций грунта, вызываемых сезонным изменением его влажности, была проведена их закладка на глубину более 1,8 м, т. е. ниже глубины промерзания грунтов.

В разработанной технологической схеме основной технологической процедурой является создание геодезического обоснования (ГО), которое необходимо для построения координатного пространства подрабатываемых территорий (см. рисунок 2.32). Исходной основой для создания ГО являются пункты государственных геодезических сетей (ГГС), координаты которых приведены в государственной системе координат СК-42. Учитывая высокую ответственность инженерно-геодезических работ, выполняемых на подрабатываемых территориях, измерения были выполнены с использованием ГНСС-технологий со средней квадратической ошибкой определения взаимного положения пунктов 10–15 мм. Дальнейшее сгущение сети и определение координат бортов карьеров производилось применением обратной линейно-угловой засечки и способа полярных координат.



Рисунок 2.32 – Схема построения геодезического обоснования на участках № 6, № 7 и № 8 Карагандинского угольного бассейна

Высотная составляющая геодезического обоснования включает в себя геометрическое нивелирование II, III и IV классов, которое применяется при наблюдении за деформационными процессами бортов карьеров, а также подрабатываемых территорий. Для наблюдения за деформационным состоянием инженерных сооружений должно применяться геометрическое или тригонометрическое нивелирование короткими лучами, обеспечивающее СКО измерения превышения на станции (в зависимости от решаемых задач) 0,15–0,50 мм.

Конструкции пунктов и способы их закладки обеспечивают:

- удобство наблюдений за сдвижением реперов в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- прочную связь пунктов с грунтом;
- надежную сохранность пунктов в течение намеченного срока службы наблюдательной станции.

Разбивка наблюдательных станций проводилась инструментально от пунктов геодезической сети. При этом была выполнена корректировка проекта станции, а также определялись окончательные места расположения профильных линий и закладки реперов с учетом особенностей рельефа местности, инфраструктуры, характера использования земельных угодий и других условий.

Наблюдения на поверхностных наблюдательных станциях состоят из привязки опорных (грунтовых) реперов станции к существующей маркшейдерско-геодезической сети, первичных наблюдений на реперах станции в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также в повторных систематических наблюдений.

Полная серия инструментальных наблюдений включает в себя:

- нивелирование всех реперов;
- измерение расстояний между реперами вдоль профильных линий;
- съемку трещин, образовавшихся на поверхности;
- замеры деформаций находящихся объектов.

Первое наблюдение на станции проводилось через 10 суток после закладки реперов.

Привязка опорных реперов профильных линий к пунктам опорной геодезической сети и определение их координат (X, Y, Z) выполнялась с помощью электронного тахеометра.

Для повышения точности и исключения грубых ошибок все измерения тахеометром выполнялись при двух положениях вертикального круга шестью приемами. Прием измерения включает одно наведение на отражатель, при котором производится несколько измерений (2-3). За окончательный результат принимается среднее значение, при этом разница между отдельными отсчетами не должна превышать 2,0 мм. С помощью тахеометра могут быть определены все необходимые данные: координаты реперов наблюдательных станций, которые позволяют определить расстояния между реперами и суммарную длину интервалов. Высотные отметки реперов профильных линий определялись нивелированием III класса. На рисунках 2.33, 2.34 представлены наблюдательные станции, закрепленные в виде «конверта» на участках № 6 и № 7. Участок № 6 расположен на восточной окраине пос. Долинка, участок № 7 расположен на севере от центрального ствола шах. Абайская в пределах шахтного поля Шерубайнуринского района.

Камеральная обработка результатов наблюдений производилась непосредственно по окончании каждой серии измерений и заключалась в следующем [12,43, 63]:

- а) вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции;
- б) вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий;
- в) определение расстояний от опорного репера до каждого из реперов профильной линии станции;
- г) составление по каждой профильной линии ведомостей:
 - вертикальных смещений реперов;
 - горизонтальных смещения реперов вдоль профильных линий;
 - горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий);
- е) составление графических материалов.

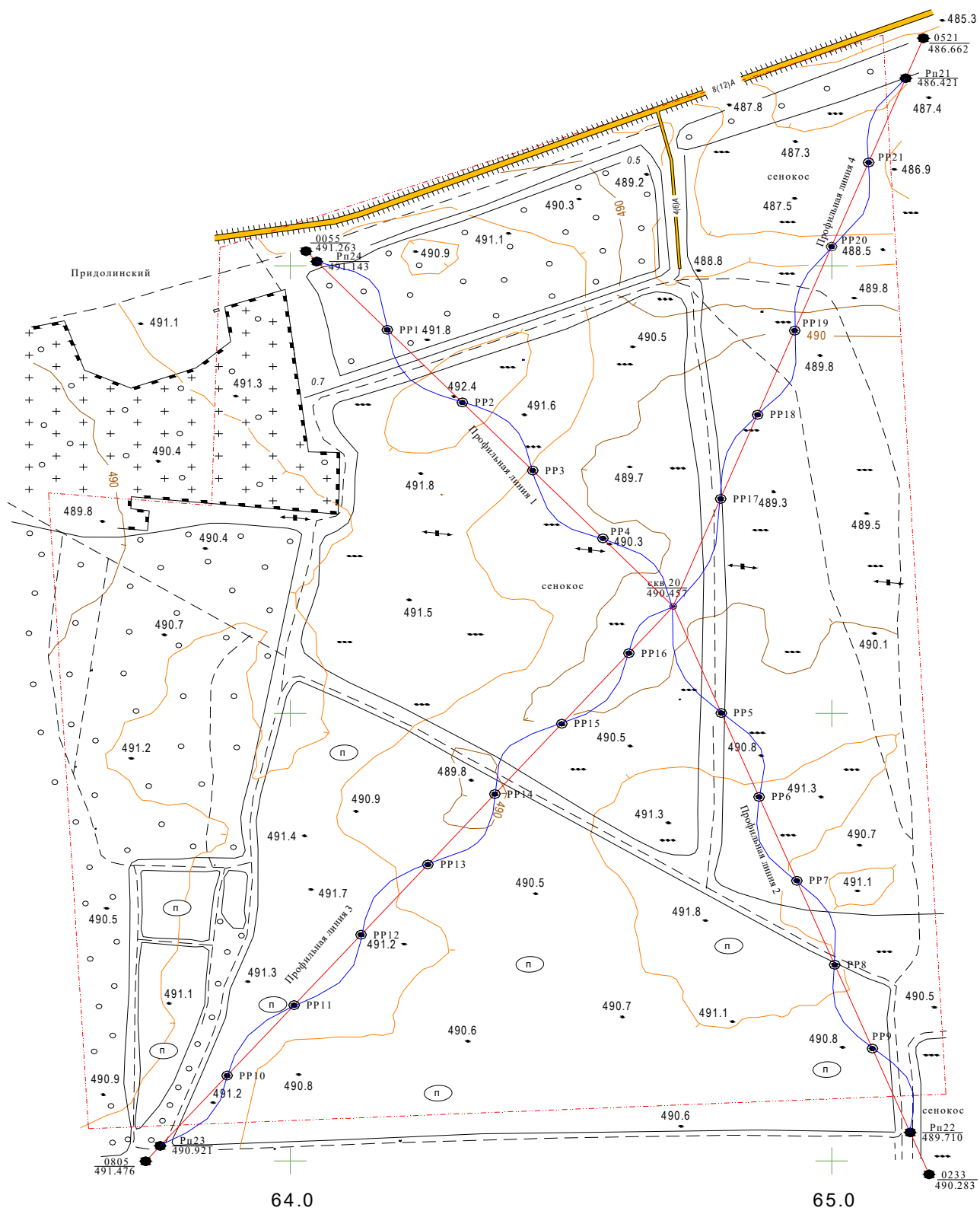


Рисунок 2.33 – Схема ходов нивелирования III класса по реперам участка № 6
 Карагандинского угольного бассейна

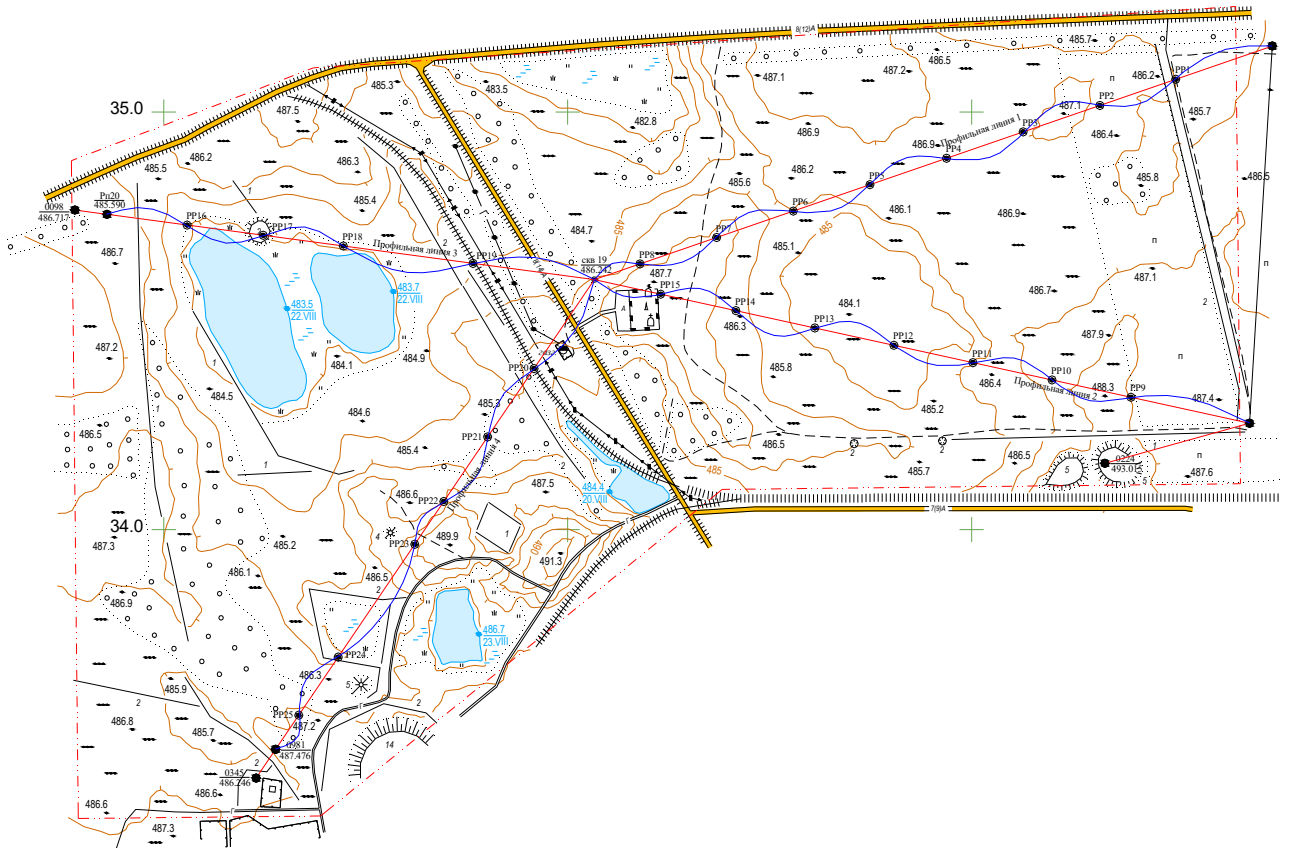


Рисунок 2.34 – Схема ходов нивелирования III класса по реперам участка № 7
 Карагандинского угольного бассейна

Отметки реперов после обработки каждой серии наблюдений заносилась в ведомости вертикальных смещений.

После контрольных проверок полевых измерений производились вычисления сдвижений и деформаций поверхности и построение их графиков согласно требованиям нормативных документов [40, 41].

По разности координат реперов ΔX , ΔY , ΔZ относительно их исходного положения можно определить направление в пространстве вектора смещения в цифровом виде, а также по разности горизонтальных проложений ΔS между реперами относительно исходных значений можно судить о сдвигении (сжатии или растяжении) участка земной поверхности.

Использование электронного тахеометра и формирование базы данных измерений в цифровом виде существенно сократило срок камеральной обработки результатов измерений.

На девяти участках Карагандинского угольного бассейна нами в течение четырех лет проводились систематические инструментальные наблюдения за подрабатываемыми участками земной поверхности с целью выявления изменения величины сдвижения с течением времени.

Периоды инструментальных наблюдений на созданных опорных пунктах геомониторинга:

- 1-й цикл – ноябрь 2011 г.;
- 2-й цикл – май 2012 г.;
- 3-й цикл – декабрь 2012 г.;
- 4-й цикл – февраль 2013 г.;
- 5-й цикл – август 2013 г.;
- 6-й цикл – март 2014 г.;
- 7-й цикл – октябрь 2014 г.

Наблюдения первых четырех циклов показали равномерные оседания земной поверхности по мере увеличения площади выработанного пространства при отработке выемочного блока.

Максимальная величина оседания рабочих реперов в основном зафиксирована в период 4-го – 6-го циклов наблюдений на участках № 1, 6, 7, 8 [12, 43, 63]. По состоянию на октябрь 2014 г. максимальные оседания рабочих реперов по девяти участкам по сравнению с 1-м циклом достигли следующих величин:

- Участок № 1 – 0,238 м;
- Участок № 2 – 0,124 м;
- Участок № 3 – 0,093 м;
- Участок № 4 – 0,223 м;
- Участок № 5 – 0,220 м;
- Участок № 6 – 0,431 м;
- Участок № 7 – 0,440 м;
- Участок № 8 – 0,344 м;
- Участок № 9 – 0,068 м.

Наибольшие смещения реперов и скважин в плане между первым и седьмым циклами выявились на участках № 6 и № 7 (рисунки 2.35, 2.36). Так, оседания реперов достигли 431 мм на PP22 участка № 6 и 440 мм на PP18 участка № 7.

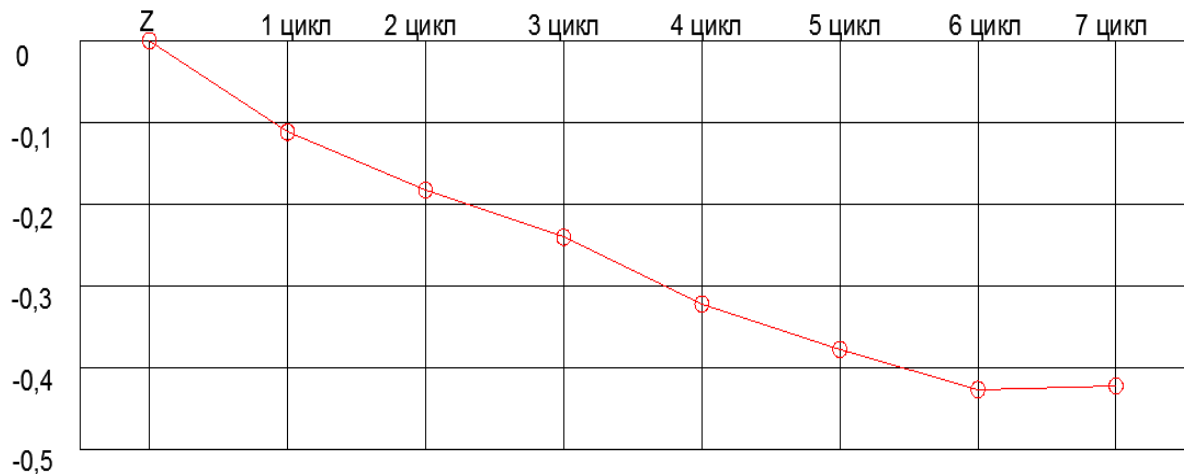


Рисунок 2.35 – График оседания участка № 6

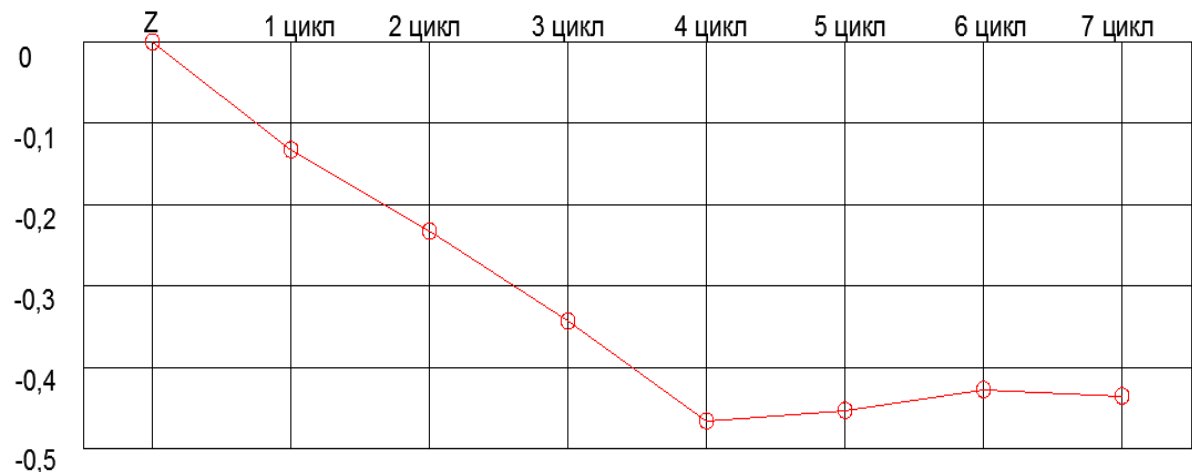


Рисунок 2.36 – График оседания участка № 7

В результате анализа графиков оседаний по всем реперам профильных линий было установлено, что после достижения максимальной величины оседания происходит стабилизация процесса сдвижения земной поверхности, обусловленная полной отработкой очистной лавы и заполнением выработанного пространства обрушенными горными породами кровли.

Также на основании результатов анализа полученных результатов семи циклов мониторинга на девяти участках Карагандинского угольного бассейна можно сделать выводы, что интенсивность оседания земной поверхности напрямую зависит:

- от показателей крепости, плотности горных пород;
- сопротивления на сжатие и растяжение вмещающих пород горного массива;
- глубины подработки горного массива;
- мощности вынимаемого пласта или породного массива;
- системы отработки выемочного участка;
- типа крепления выработанного пространства.

Из этого следует, что чем выше показатели крепости вмещающих пород горного массива, тем медленнее происходит процесс оседания земной поверхности.

При подработке горного массива на значительной глубине процесс оседания земной поверхности проходит медленно (есть понятие о безопасной глубине разработки, которая превосходит сумму высот зон обрушения и оседания). При очистных работах с вынимаемой мощностью пласта 3,5–4,0 м, выработкой на погашение процесс оседания земной поверхности проходит интенсивно. При очистных работах с вынимаемой мощностью пласта 2,2–3,2 м процесс оседания земной поверхности проходит медленнее [12, 63].

Для исследования деформации земной поверхности на подрабатываемых территориях Карагандинского угольного бассейна в 2014 г. ТОО «KazGeoScan» проводил спутниковый мониторинг. Целью исследования являлось сопоставление результатов комбинированного инструментального мониторинга с результатами спутникового мониторинга.

Для реализации проекта ТОО «KazGeoScan» был приобретен программный комплекс ENVI для расчета оседаний земной поверхности. Были выбраны радарные космические снимки с итальянского спутника COSMO Sky Med. Полученные космические снимки обрабатывались программным комплексом ENVI, с помощью которого были подсчитаны значения оседаний [63] и построены графики оседаний участков по пяти циклам наблюдений (рисунки 2.37, 2.38).

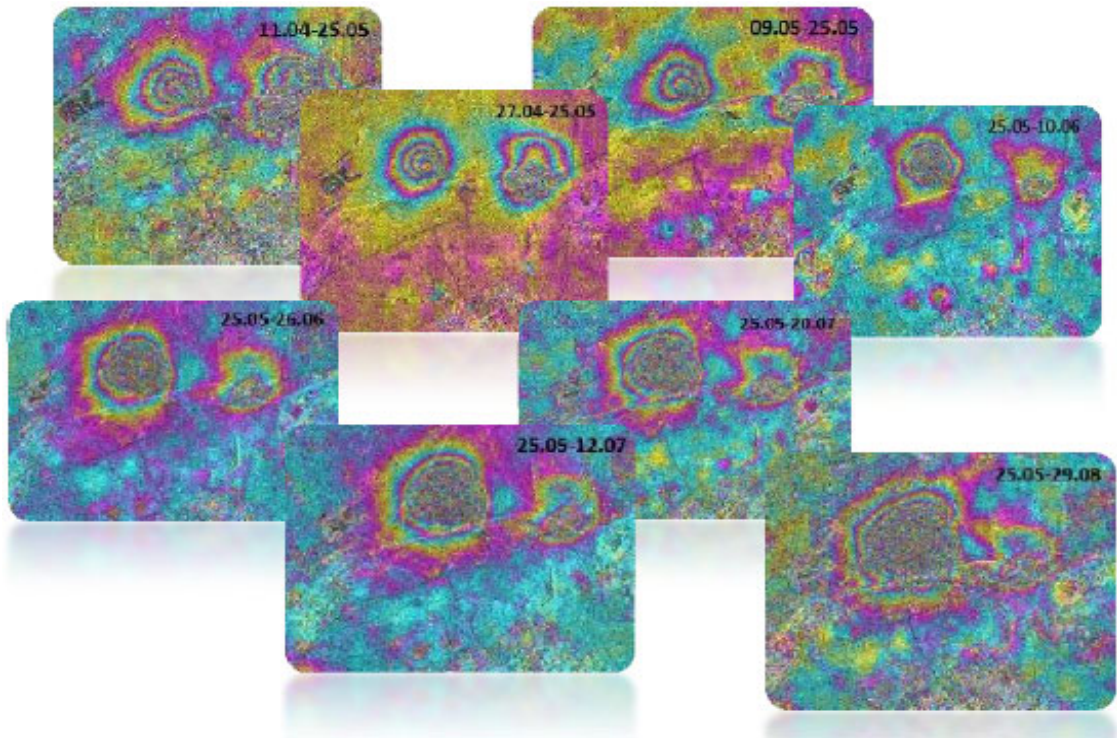


Рисунок 2.37 – Космические снимки участка № 6

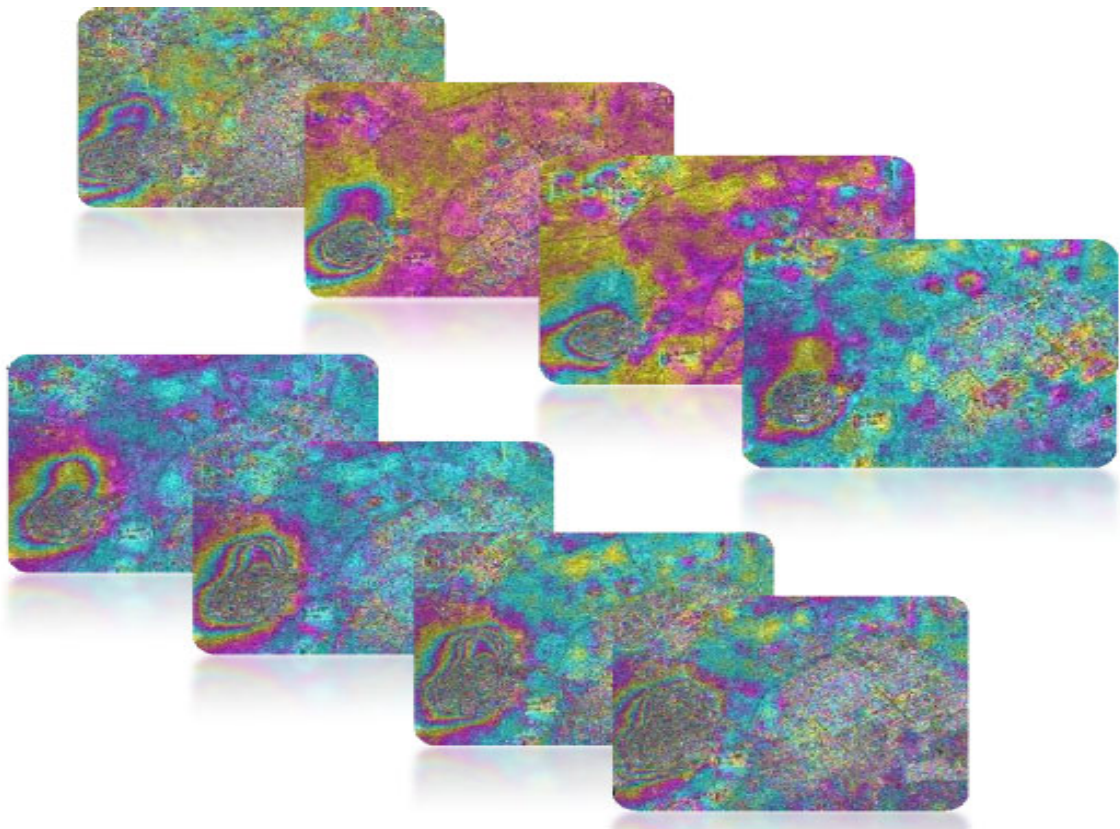


Рисунок 2.38 – Космические снимки участка
№ 7 Карагандинского угольного бассейна

Анализ результатов наблюдений за рассматриваемый период показал, что происходит систематическое сдвигание и оседание земной поверхности на участках подработки. При отработке выемочных столбов подработка производилась по бесцеликовой схеме с полным обрушением кровли в очистных забоях. Отрабатываемые лавы попадали в зоны сдвижения горных массивов от подработанных вышележащих горизонтов, что непосредственно повлияло на интенсивность оседания земной поверхности.

Использование методики спутникового мониторинга сдвижения подработанной земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна целесообразно, так как после обработки материала можно судить о степени сходимости результатов современного состояния земной поверхности с проведенными высокоточными инженерно-геодезическими измерениями.

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы.

1 По результатам наблюдений за сдвиганиями и деформациями земной поверхности на подрабатываемой территории Карагандинского угольного бассейна рассмотрен процесс формирования и развития мульды этих сдвижений в динамике [12, 51, 63].

2 Выявлены закономерности максимальных скоростей вертикальных (оседаний) и горизонтальных сдвижений в зависимости от многих факторов, таких как мощности вынимаемого пласта, системы отработки выемочного участка, глубины подработки горного массива.

3 Полученные результаты динамики оседания земной поверхности на участках Карагандинского угольного бассейна необходимы при разработке мер защиты объектов и сооружений на подрабатываемых территориях.

2.8 Исследование процесса деформации прибортового массива Карачарского карьера

Обеспечение безопасности при разработке рудных месторождений открытым способом в сложных геологических условиях на глубоких горизонтах требует рационального планирования ведения горных работ с учетом изменения физико-механических характеристик горных пород и проведения дополнительных гидрогео-

логических изысканий [45, 88]. Исследования показали, что для горных пород (метасоматитов), слагающих юго-западный борт Качарского месторождения, характерны процессы гипергенезиса. Температурные колебания поверхностных горизонтов горных пород, особенно сильное переохлаждение зимой, приводят к объемно-градиентному напряжению и образованию морозобойных трещин, которые в дальнейшем разрабатываются замерзающей в них водой. В этих условиях выветривание связано главным образом с расклинивающим действием замерзающей воды в трещинах, и при выходе на поверхность метасоматиты оказываются малоустойчивыми и сильно трещиноватыми.

Устойчивость карьерных и отвальных откосов определяется двумя основными факторами: напряженным состоянием прибортового (отвального) массива и физико-механическими (прочностными) свойствами горных пород. При этом напряженное состояние определяет действующие нагрузки, а физико-механические свойства – прочность пород по потенциальной поверхности скольжения. Для предотвращения оползневых явлений на Качарском месторождении необходимо выполнить расчет устойчивости откосов с учетом измененных прочностных характеристик горных пород. Не допускается принимать в расчеты физико-механические свойства горных пород, в которых не учитывается временной фактор.

Современный этап развития открытых разработок месторождений полезных ископаемых в Казахстане характеризуется увеличением их глубины до 500 м и выше, модернизацией технических средств и интенсификацией горного производства. Возникает необходимость в создании полномасштабного маркшейдерского геомеханического мониторинга состояния прибортовых массивов глубоких карьеров с корректировочной оценкой их устойчивости, учитывающей фактическое положение горных работ, уточненные значения прочностных характеристик горных пород и структурных особенностей прибортовых массивов.

Проведенный анализ способов наблюдений и расчетов устойчивости техногенных сооружений показывает, что исследования в этой области позволили разработать и внедрить в практику надежные инженерные методы расчета устойчивости

прибортовых массивов. Однако, несмотря на достаточно большой объем работ по оценке их устойчивости, не полностью рассмотрены вопросы учета изменяющихся во времени физико-механических свойств горных пород, геометрических параметров сооружения, существует неполный учет влияния их обводненности и тектонической нарушенности на устойчивость прибортовых массивов. В соответствии с вышеизложенным целью работы является прогнозирование состояния устойчивости прибортовых массивов путем совершенствования методики проведения инструментальных маркшейдерских наблюдений, выполнения расчетов устойчивости откосов с учетом изменившихся физико-механических свойств горных пород для предотвращения опасных деформаций и обеспечения их безопасной эксплуатации.

Наиболее опасными видами деформаций бортов карьеров и откосов уступов, нарушающими нормальный технологический процесс, приводящими к потерям готовых к выемке запасов полезного ископаемого и представляющих опасность для работающих в разрезе людей и техники являются обрушения и оползни.

Задача горных предприятий по обеспечению устойчивости бортов карьеров заключается в предотвращении активной стадии развития оползней и обрушений, т. е. в ограничении деформаций бортов карьеров, откосов уступов и отвалов до допустимых величин. Для управления процессом устойчивости откосов уступов карьеров и отвалов необходимо проводить систематические инструментальные наблюдения согласно требованиям нормативного документа [40].

Изменение напряженного состояния горных пород в процессе ведения горных работ приводит к тому, что практически при любых коэффициентах запаса устойчивости бортов они деформируются.

При напряжениях для всех слоев пород более предела ползучести затухающие деформации бортов с течением времени могут смениться деформацией с постоянной скоростью, которая со временем может перейти в деформацию с возрастающей скоростью, заканчивающуюся обрушением или оползанием борта.

Завершение активной стадии деформирования зависит главным образом от геологического строения борта, механических и деформационных свойств пород, слагающих борт.

На деформируемом участке откосы уступов юго-западного борта Качарского карьера с горизонта –30 м сложены сильнотрещиноватыми и ослабленными процессами выветривания метасоматитами, которые к тому же находятся в зоне влияния водоносного горизонта. Характер процесса деформирования данного участка борта карьера показал, что в апреле 2012 г. появились первые деформации на транспортной берме горизонта –30 м, которые представляли собой оползень в районе разреза XXIII, охвативший два уступа.

Работы по возведению железобетонных конструкций привели к увеличению нагрузки на оползневом участке. Вследствие вышеуказанных причин, в октябре 2015 г. возобновился процесс деформирования на том же участке, что и в 2012 г., со скоростью смещения оползня более 10 мм в сутки [45, 88].

Для наблюдений за состоянием деформируемого участка еженедельно проводились инструментальные измерения по стационарным призмам, установленным по границам оползня на горизонтах –30,0 м и –95,0 м с использованием высокоточной электронной съемки, а также были выполнены три цикла лазерного геосканирования исследуемого участка, последнее из которых было выполнено в мае 2016 г.

На геологическом разрезе и на локальных разрезах, построенных на оползневом участке, прослеживается наличие потенциальной поверхности скольжения (рисунок 2.40).

Установлено значительное снижение прочностных характеристик метасоматитов во времени и ослабление их структурных связей при увеличении влажности пород и их трещиноватости, что приводит к потере устойчивости пород в откосах и является существенным фактором развития оползней различных типов [45, 67].

Наблюдения, проведенные тахеометром и лазерным сканером с апреля по сентябрь 2016 г., показали характер процесса деформирования и увеличение интенсивности процесса деформации горного массива на оползневом участке. Результаты наблюдений тахеометром представлены в таблицах 2.8, 2.9

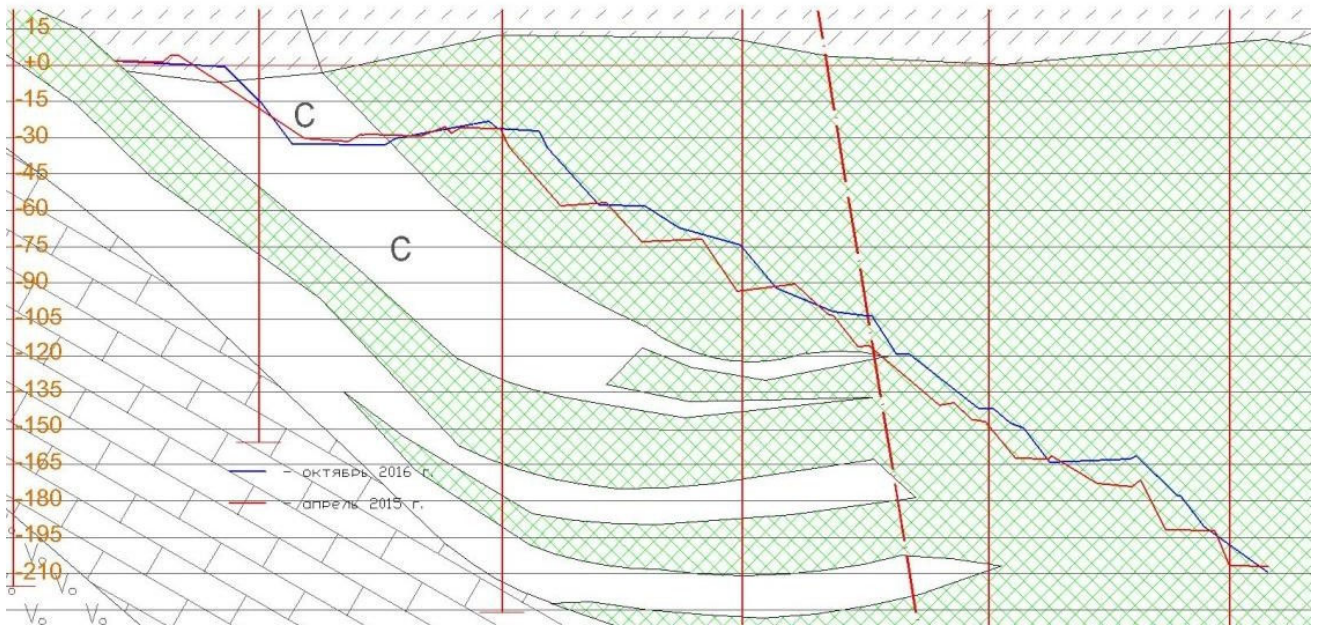


Рисунок 2. 40 – Геологический разрез

Таблица 2.8 – Результаты наблюдений по границам оползневого блока Качарский карьер (горизонт –30 м).

№ стационарной призмы	Разность от предыдущего цикла измерений (м)						Разность от начального цикла измерений: 05.11.15 г.–10.10.16 г. (м)			
	ΔX	ΔY	ΔH	$\Delta H/\text{сутки}$	ΔL	$\Delta L/\text{сутки}$	ΔX	ΔY	ΔH	ΔL
1	-0,011	0,059	-0,003	-0,003	0,060	0,060	0,209	1,809	-1,733	1,821
2	-0,008	0,051	0,004	0,004	0,052	0,052	0,202	1,499	-1,115	1,513
3	-0,013	0,036	0,006	0,006	0,038	0,038	1,093	1,070	-1,949	1,530
4	0,002	0,048	0,000	0,000	0,048	0,048	0,778	0,329	-1,359	0,845
5	0,002	0,073	0,001	0,001	0,073	0,073	0,102	0,863	-0,861	0,869
6	0,001	0,054	-0,001	-0,001	0,054	0,054	-0,009	0,064	-0,028	0,065
7	0,004	0,056	-0,009	-0,009	0,056	0,056	0,737	0,564	-2,770	0,928
8	-0,001	0,044	0,006	0,006	0,044	0,044	0,008	0,054	-0,009	0,055
9	-0,009	0,061	0,005	0,005	0,062	0,062	-0,047	0,009	-0,083	0,048
10	-0,011	0,058	0,012	0,012	0,059	0,059	-0,065	0,099	-0,248	0,118
11	0,013	-0,040	-0,014	-0,014	0,042	0,042	-0,007	-0,050	-0,014	0,050

Таблица 2.9 – Результаты наблюдений по границам оползневого блока Качарский карьер (горизонт –95 м)

№ стационарной призмы	Разность от предыдущего цикла измерений (м)						Разность от начального цикла измерений: 05.11.15 г.-10.10.16 г.(м)			
	ΔX	ΔY	ΔH	$\frac{\Delta H}{\text{сутки}}$	ΔL	$\frac{\Delta L}{\text{сутки}}$	ΔX	ΔY	ΔH	ΔL
1	-0,009	0,022	0,002	0,001	0,023	0,012	-0,199	3,225	0,221	3,231
2	0,003	0,036	-0,007	-0,003	0,036	0,018	0,126	3,483	-0,196	3,485
3	0,003	0,021	-0,015	-0,008	0,021	0,011	0,521	2,324	-1,274	2,382
4	-0,009	0,009	-0,010	-0,005	0,013	0,006	-0,058	2,594	-1,053	2,594
5	-0,008	0,007	-0,009	-0,004	0,010	0,005	0,321	2,674	-1,007	2,694
6	-0,003	0,007	0,004	0,002	0,008	0,004	0,709	2,858	0,025	2,945
7	0,002	0,026	-0,001	0,000	0,026	0,013	0,480	3,192	-0,006	3,228
8	0,011	0,025	-0,005	-0,003	0,028	0,014	0,246	0,616	-0,050	0,663
9	-0,002	-0,010	-0,009	-0,005	0,010	0,005	0,017	0,013	0,003	0,022
10	-0,004	0,025	-0,004	-0,002	0,026	0,013	0,004	1,130	-0,336	1,130
11	-0,004	-0,005	-0,003	-0,001	0,006	0,003	0,003	0,007	-0,010	0,008
12	-0,009	0,005	-0,012	-0,006	0,010	0,005	0,055	2,618	-1,287	2,619
13	-0,003	0,009	-0,002	-0,001	0,009	0,005	0,328	1,189	-0,031	1,233
14	-0,004	0,001	-0,006	-0,003	0,004	0,002	0,323	1,031	-0,147	1,081
15	-0,001	0,022	0,003	0,001	0,022	0,011	0,039	0,183	-0,009	0,188

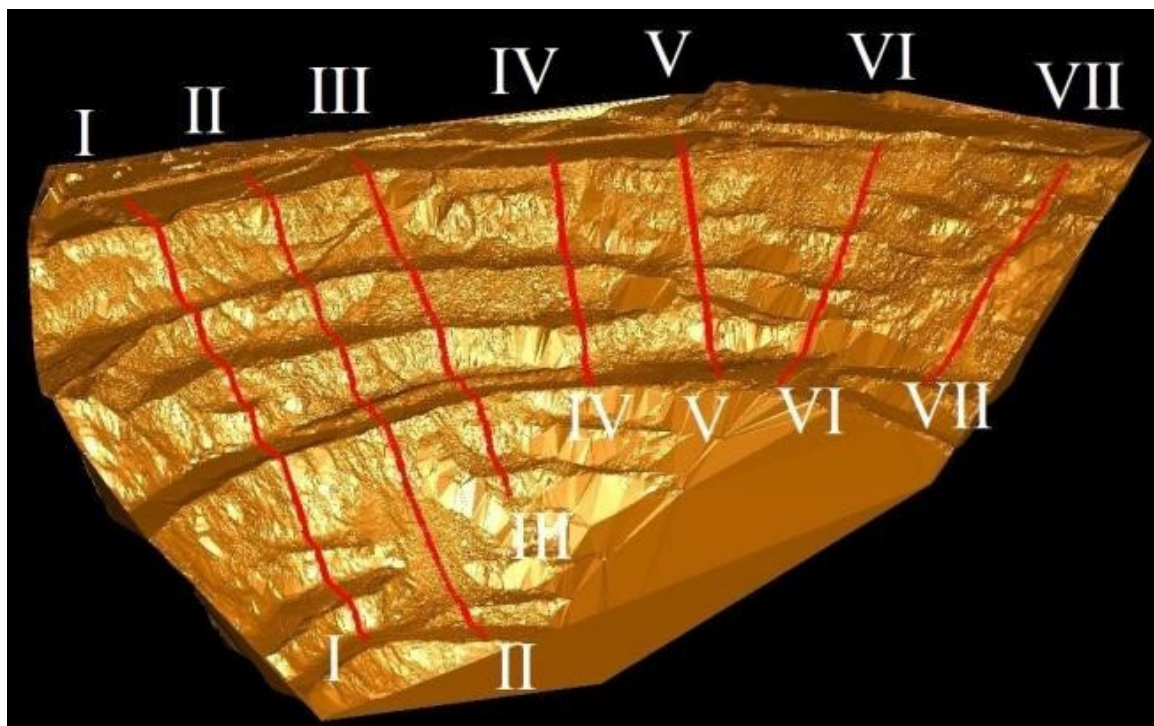
Для получения полной картины механизма деформирования оползня была внедрена технология лазерного сканирования, которая позволяет с помощью программного обеспечения построить 3D-модели массива и отследить изменения и структуру целостности массива.

Результаты лазерного сканирования представлены в виде 3D-модели исследуемого участка с VII сечениями в период с ноября 2015 г. по май 2016 г. (рисунок 2.41, а, б).

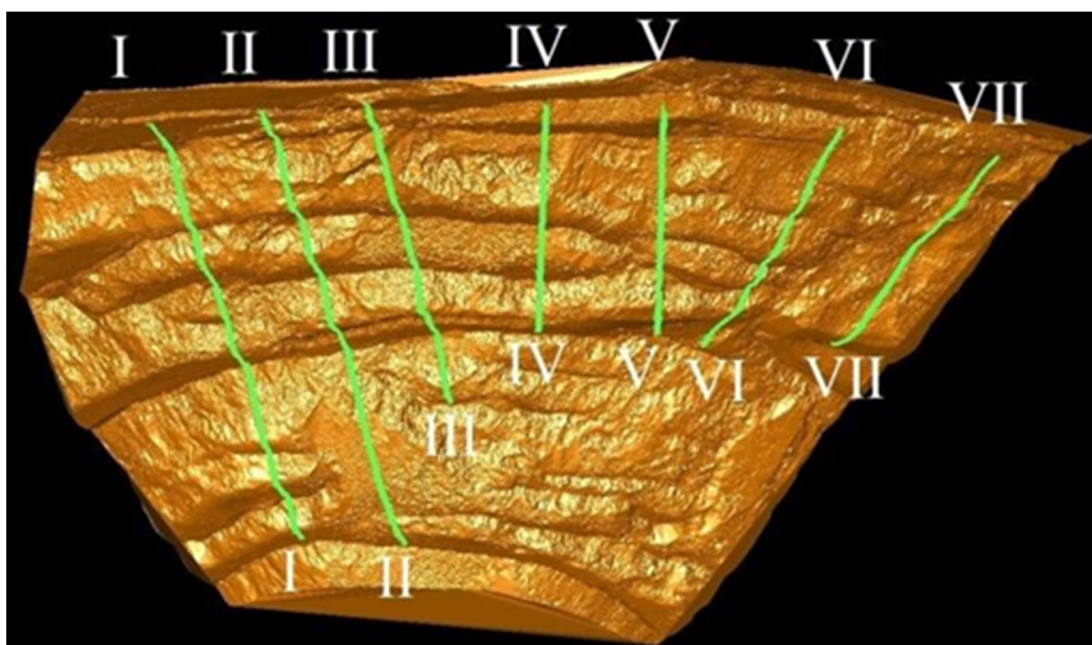
На рисунке 2.42 приведена 3D-модель горных пород с низкими прочностными характеристиками.

По результатам систематических наблюдений с использованием высокоточных тахеометра ТА 1202 и горного сканера HDS 8800 фирмы Leica установлено увеличение скорости смещения до 17,0 мм в сутки в его центральной части и развитие трещин отрыва по флангам оползня. Формирование трещин отрыва зависит

от наличия возможных контактов ослабления, структурных особенностей массива, физико-механических характеристик горных пород, инженерно-геологических и горнотехнических условий.



а)



б)

Рисунок 2.41 – 3D-модель оползневого участка

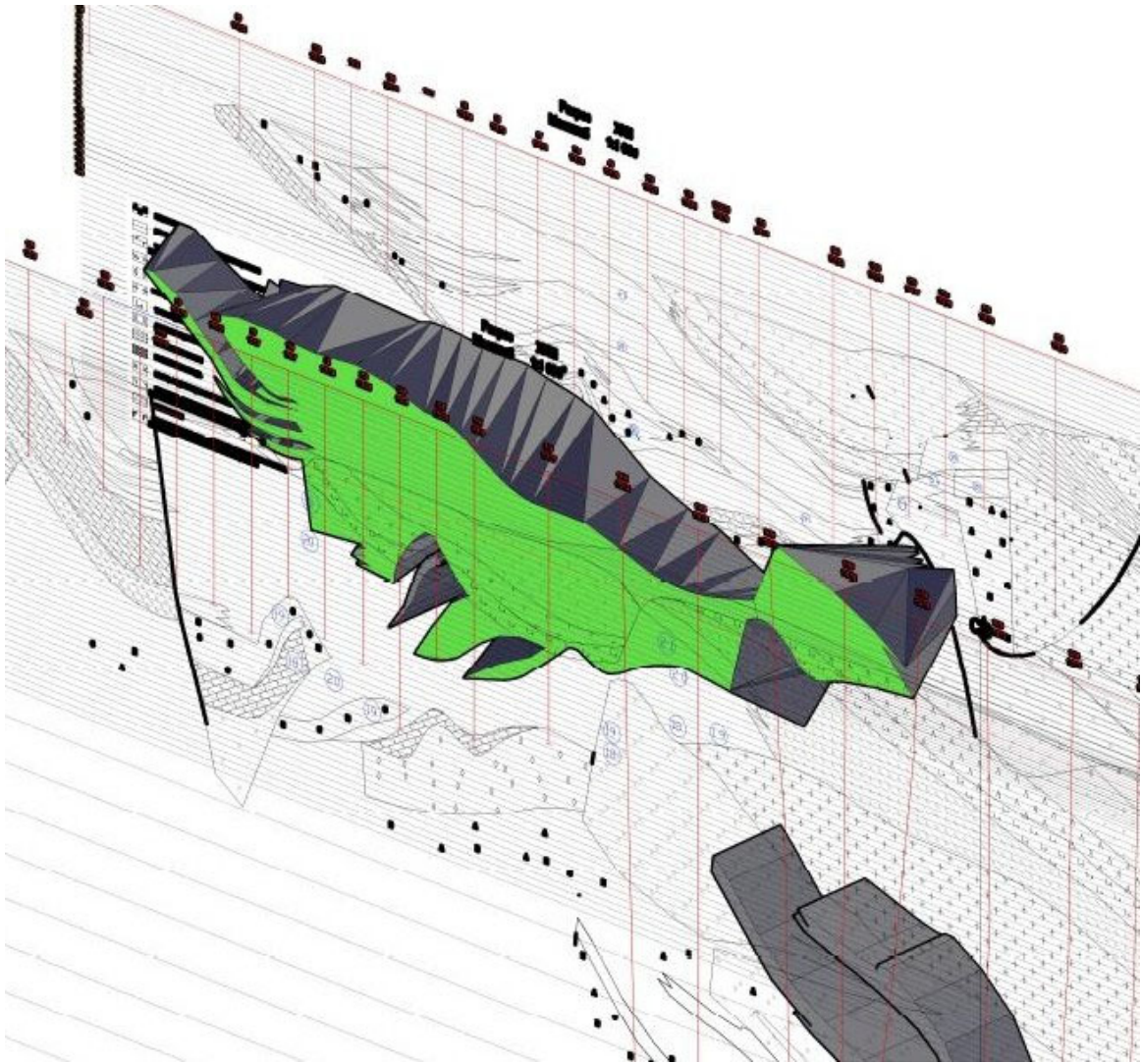


Рисунок 2.42 – Построение 3D-модели для выделения горных пород с низкими прочностными характеристиками и рудного тела

Величина и направление вертикальных и горизонтальных смещений позволили сделать вывод о том, что образование трещин отрыва на транспортной берме горизонта -30 м привело к деформированию оползневой призмы и оползанию массива, например, оползневые процессы зафиксированы по линии II с горизонта -30 м по горизонт -141 м. На плане (рисунок 2.43) юго-западного участка карьера показаны трещины, оконтуривающие оползневую призму по простиранию красным цветом.

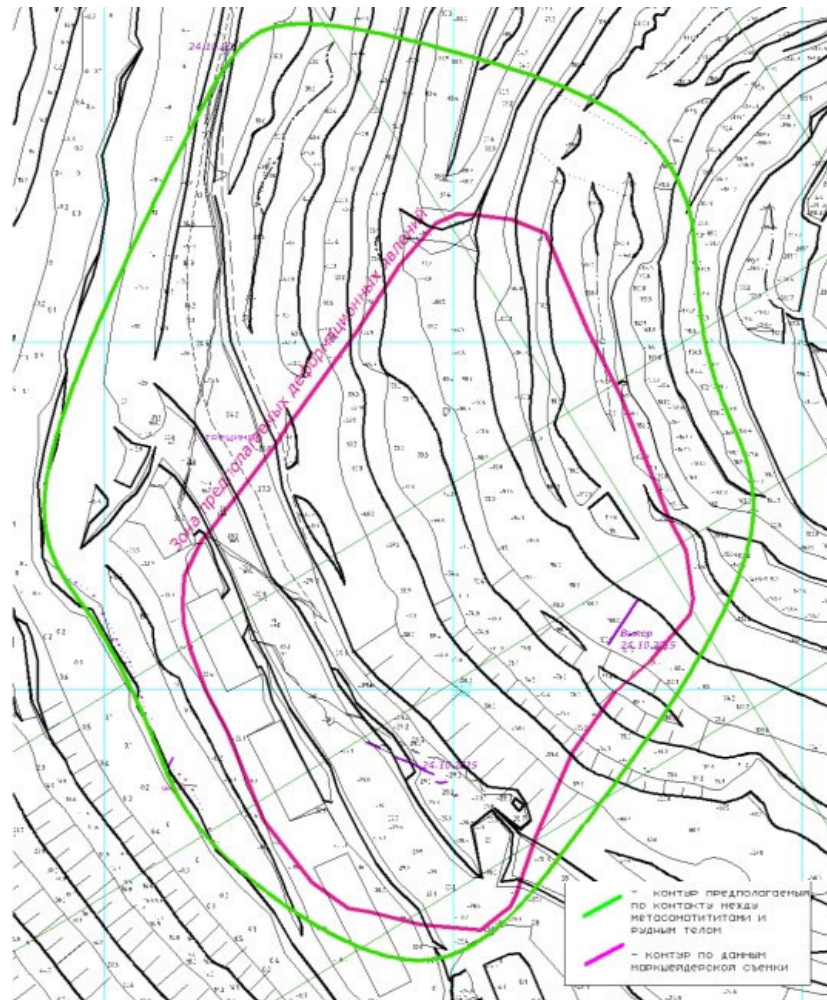


Рис. 2.43 – План горных работ масштаба 1 : 500 с предполагаемыми контурами оползневой призмы

Проведенные в дальнейшем исследования оползневой участка методом лазерного сканирования, анализа физико-механических свойств горных пород, наличия поверхностей ослабления позволили выявить наличие микротрещин отрыва на плане горных работ с корректировкой контура зоны деформирования горного массива, которая выделена зеленой линией [45].

2.9 Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера Кентобе

Эффективность и полнота отработки месторождений во многом зависят от того, насколько предельные параметры бортов карьеров и отвалов соответствуют климатическим, геологическим, гидрогеологическим, технологическим и безопас-

ным условиям эксплуатации. Практика показывает, что отсутствие учета любого из этих условий приводит к нарушению устойчивого состояния откосов и развитию деформаций на всех этапах строительства и эксплуатации карьеров, последствия от которых приносят значительный материальный ущерб [8, 31, 36, 65, 75, 81].

Все элементы геомеханической модели, представляющей собой борт карьера или откос уступа, находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. С точки зрения системного подхода каждая подсистема (структурная модель, механическая модель и физико-механические свойства пород) должна быть рассмотрена с детальностью, обеспечивающей надежную оценку поведения всей системы геомеханической модели массива, в которую она входит как составной элемент. Ряд количественных и качественных признаков породного массива позволяет охарактеризовать месторождение для оценки устойчивости откосов уступов и бортов карьеров. К числу основных признаков следует отнести изменчивость показателей пространственного размещения структурных элементов, различных генетических типов горных пород, их физических и механических свойств. Решающее значение при оценке устойчивости приобретает обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород месторождения.

По значениям пределов прочности горных пород баритового месторождения Кентобе на одноосное сжатие и растяжение, найденным по результатам лабораторных испытаний, построены паспорта прочности пород по классической схеме, которые отражают прочностные характеристики основных типов горных пород в образце. Для использования их в расчетах по оценке устойчивости откосов уступов и бортов карьера необходимо иметь значения прочностных характеристик в массиве с учетом влияния трещиноватости, размеров структурных блоков, влажности горных пород и других факторов [119].

Для условий рассматриваемого месторождения, на основании данных о классификации скальных пород по степени трещиноватости и содержанию крупных кусков, о величине средних размеров структурных блоков l , отдельных разностей в массиве, определены значения коэффициента структурного ослабления λ_0 основных типов горных пород, слагающих прибортовой массив (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения основных типов пород месторождения Кентобе

Порода	Сцепление в образце $k_{обр}$, кПа	Коэффициент λ_0	Сцепление в массиве k , кПа	Сцепление расчетное $k_{расч}$, кПа при $n_3 = 1,3$	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$, град
Песчаники трещиноватые выветрелые	8 000	0,057	456	350	33
Известняки темно-серые до розовато-серых, иногда слоистые	8 700	0,044	383	294	31
Переслаивание песчаника с алевролитами и углисто-кремнистыми аргиллитами	12 100	0,039	472	363	25
Песчаники баритизированные и окварцованные	16 100	0,040	644	495	30

Коэффициент запаса n_3 должен учитывать ошибки определения прочностных характеристик горных пород в массиве и по трещинам, элементов залегания неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления, составляющих призмы возможного обрушения [25, 39]. Кроме того, n_3 может учитывать погрешности методов расчетов, которые, составляют 3–5 %, влияние динамических нагрузок при массовых взрывах, снижение прочности пород с течением времени под влиянием выветривания и набухания [73].

Для определения расчетных прочностных свойств горных пород в массиве карьера использован программный комплекс RocLab, обеспечивающий реализацию критерия разрушения Хоека – Брауна. Данный критерий позволяет получать надежные оценки свойств массива горных пород и в интерактивном режиме отслеживать характер их изменения, огибающих разрушения (кривых прочности) при изменении параметров [73] (рисунок 2.44).

На основании выполненных построений, огибающих разрушения основных типов горных пород, слагающих прибортовые массивы, определены расчетные прочностные характеристики (сцепления и угла внутреннего трения), которые приведены в таблице 2.11.



Рисунок 2.44 – Кривые огибающих разрушения известняков

Таблица 2.11 – Прочностные характеристики горных пород массива баритового карьера, определенные с использованием программного комплекса RocLab

Порода	Предел прочности на растяжение МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	Прочность на сжатие, МПа	Геологический индекс прочности GSI	Сцепление $k_{расч}$, кПа	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$, град
Песчаники трещиноватые выветрелые	-0,006	45	0,168	30	334	22
Известняки темно-серые до розовато-серых, иногда слоистые	-0,005	50	0,113	30	277	18
Переслаивание песчаника с алевролитами и углисто-кремнистыми аргиллитами	-0,007	50	0,187	35	349	22
Песчаники баритизированные и окварцованные	-0,008	80	0,299	35	472	28
Аральские глины	-0,005	2	0,033	25	79	8.43

Для оценки принятых расчетных значений прочностных характеристик горных пород выполнено сравнение результатов двумя способами: по методике

ВНИМИ и с использованием компьютерной программы RocLab (таблица 2.12).

Анализ проведенных исследований показал хорошую сходимость результатов определения значений прочностных характеристик горных пород, которая лежит в пределах 3–5 %.

Оценка устойчивости бортов карьера по баритовому месторождению выполнена с использованием компьютерной программы «Устойчивость карьерных откосов». Программа просчитывает от 100 до 1 000 поверхностей возможного обрушения и осуществляет выбор наиболее опасной с минимальным коэффициентом запаса устойчивости откосов.

Таблица 2.12 – Значения расчетных прочностных характеристик горных пород

Порода	Программа RocLab		Метод ВНИМИ		
	Сцепление, $k_{расч}$, кПа	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$, градусы	Коэффициент структурного ослабления λ_0	Сцепление расчетное $k_{расч}$, кПа при $n_3=1,3$	Угол внутреннего трения $\rho_{расч}$, градусы
Песчаники трещиноватые выветрелые	334	22	0,057	350	24
Известняки темно-серые до розовато-серых, иногда слоистые	277	18	0,044	294	20
Переслаивание песчаника с алевритами и углисто-кремнистыми аргиллитами	349	22	0,039	363	21
Песчаники баритизированные и окварцованные	472	28	0,040	495	30

Для детализации и уточнения параметров обрушения в программе предусмотрена пошаговая выборка ширины бермы и определение поверхности возможного обрушения с минимальным коэффициентом запаса устойчивости откосов. На рисунке 2.45 представлено окно программы, которая учитывает неоднородность приобтового массива, наличие поверхностей ослабления, глубину разработки, проектные значения углов наклона уступов и ширину берм, общий угол наклона всего борта карьера.

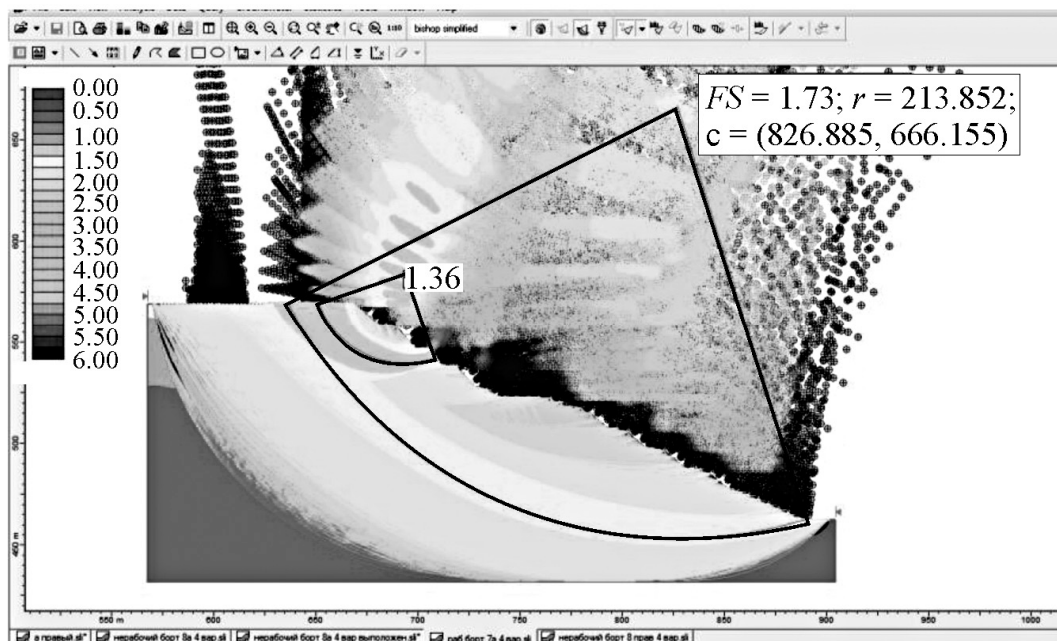


Рисунок 2.45 – Окно расчетной программы «Устойчивость карьерных откосов» по определению коэффициента устойчивости

При проведении расчетов устойчивости бортов карьера на плане горных работ (рисунок 2.46) выделены наиболее ответственные направления (разрезы А – А и VIIIa – VIIIa), проходящее по максимальной глубине разработки карьера [62, 105], и разрезы, перпендикулярные к линии простирания откосов уступов (VIa – VIa, VIIa – VIIa, VIII – VIII).

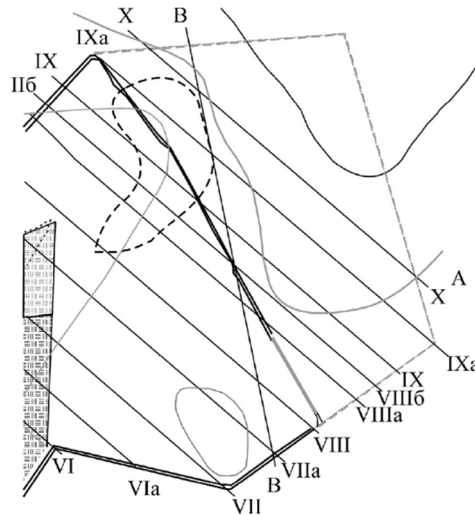


Рисунок 2.46 – План горных работ карьера барита с расчетными профилями

Оценка устойчивости бортов карьера выполнена на основании расчетных значений физико-механических свойств горных пород по выделенным геологическим разрезам, а также по линиям А – А по простиранию и В – В вкрест простирания рудного тела. Результаты оценки по разрезам представлены на расчетных схемах (рисунок 2.47) и в таблице 2.13.

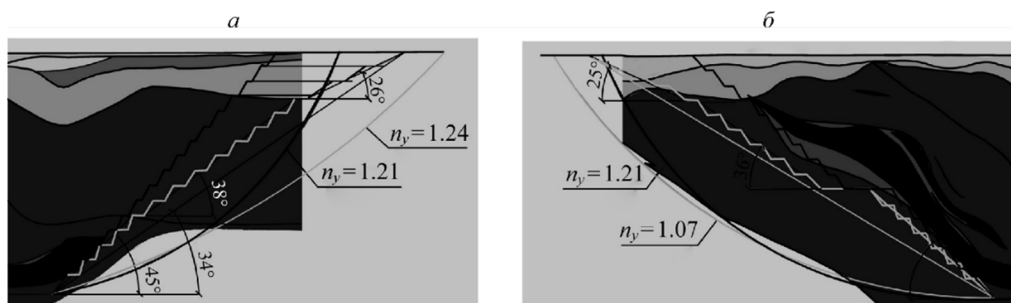


Рисунок 2.47 – Рекомендуемый профиль юго-западного (а) и северо-восточного (б) борта карьеров по линии VIIIa – VIIIa

Таблица 2.13 – Результаты расчетов по оценке устойчивости бортов баритового карьера

Геологический разрез, борт	Глубина разработки, м	Угол наклона борта карьера, град	Коэффициент запаса устойчивости КЗУ
VIa – VIa Северо-западный	64,3	28	Верхних уступов – 1,25 Нижних уступов – 2,19
Юго-восточный	57,1	20	Верхних уступов – 2,08 Всего борта – 3,41
VIIa – VIIa Юго-восточный	103,8	-	Всего борта – 1,2
VIII – VIII Северо-западный	135,4	36	Всего борта – 1,21
Юго-восточный	132,8	41	Верхних уступов – 0,77; Всего борта – 1,23
VIIIa – VIIIa			
			Верхних уступов – 1,41;
Северо-западный	161,2	39	Нижних уступов – 1,42
			Всего борта – 1,07
Юго-восточный	160,9	47	Всего борта – 1,01 (без учета тектонического нарушения)
Юго-восточный	160,9	47	Всего борта – 0,97 (с учетом тектонического нарушения)
			Всего борта – 0,77
Юго-восточный	160,9	47	(поверхность скольжения построена по контакту тектонического нарушения)
По линии А – А Восточный	160,0	46	Всего борта – 1,0
По линии Б – Б Южный	160,9	39	Всего борта – 1,47; Верхних уступов – 1,67;
Северный	160,9	41	Нижних уступов – 1,68; Всего борта – 1,24

Расчеты устойчивости по разрезам, а также по линии А – А показали, что заданные параметры углов откосов уступов, берм безопасности и угла откоса борта карьера при постановке их на проектный контур не обеспечивают устойчивое положение [76]. При постановке северо-западного и юго-восточного бортов на проектные контуры коэффициенты запаса устойчивости при максимальной глубине разработки карьера колеблются от 0,77 до 1,07, т. е. борт карьера будет находиться в неустойчивом состоянии [45, 76, 115].

Для обеспечения устойчивости бортов карьера необходимо предусмотреть выполаживание:

а) по геологическому разрезу VIIIa – VIIIa генерального угла юго-западного борта до 34° и северо-восточного борта до 31°. Рекомендуемые профили устойчи-

вых бортов карьера, коэффициенты запаса по которым, соответственно, равны 1,24 и 1,21, генерального угла наклона бортов при максимальной глубине разработки (см. рисунок 2.47):

- юго-восточный нерабочий борт (разрез VIII – VIII, глубина 132.8 м): для верхних глинистых пород до 21° , для нижних скальных пород — до 40° ;
- северо-западный рабочий борт (разрез VIIIa – VIIIa, глубина 161.2 м) – до 34° ;
- юго-восточный нерабочий борт (разрез VIIIa – VIIIa, глубина 160.9 м) – до 31° ;
- восточный борт (разрез A – A, глубина 160.0) — до 33° .

В процессе отработки карьера следует детально изучить физико-механические свойства горных пород, слагающих прибортовой массив. Для оценки устойчивости откосов уступов и бортов необходимо проводить съемку трещиноватости, линейных элементов структурных блоков, протяженность и взаимную направленность трещин, состояние их поверхностей, вид заполнителя и ориентирование поверхностей ослабления относительно простирания откосов.

Таким образом, выполненные расчеты устойчивости по выделенным разрезам показали, что при постановке северо-западного и юго-восточного бортов на проектные контуры коэффициенты запаса устойчивости при максимальной глубине разработки карьера колеблются от 0,77 до 1,07, т. е. борт карьера будет находиться в неустойчивом состоянии. Для обеспечения устойчивости бортов карьера Кентобе рекомендуется предусмотреть выполаживание генерального угла соответственно юго-западного борта до 34° и северо-восточного борта до 31° .

Для наблюдения за состоянием земной поверхности и прибортового массива южного борта карьера выполнены разбивка и закрепление реперов профильных линий наблюдательной станции в зоне деформации дорожного полотна [76, 88, 119].

Проведены три серии геодезического мониторинга по закрепленным реперам и инструментальная съемка системы трещин. Первая система трещин располагается в настоящий момент около верхней бровки южного борта, а третья система трещин, формирующая призму деформации, – в непосредственной близости от дорожного полотна. Первая и вторая системы трещин сформировались в зоне от-

сыпки первого яруса глинистыми породами вскрыши в процессе усадки отвального массива. Выполненные инструментальные наблюдения по заложенной станции и съемка трещин на борту карьера позволили определить контуры зоны деформации и размеры оползневой призмы (рисунок 2.48).

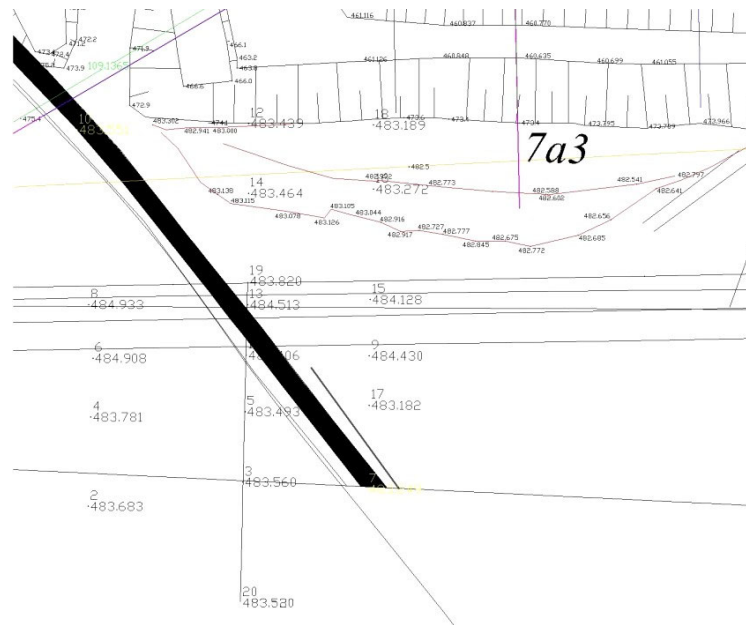


Рисунок. 2.48 – Станция на борту карьера

Результаты геодезического мониторинга состояния земной поверхности в районе дорожного полотна и борта карьера показали, что участок земной поверхности находится в стадии стабилизации.

Крайние реперы профильных линий, находящиеся около верхней бровки карьера, показывают процесс усадки массива, отсыпанного глинистыми породами вскрыши. Величина оседаний крайних реперов составляет от 50 до 90 мм.

3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОИЗВОДСТВА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

3.1 Особенности производства геодезических работ на подрабатываемых территориях

Рассмотренные в предыдущем разделе вопросы определения деформационного состояния подрабатываемых территорий непосредственным образом связаны с техническим состоянием находящихся на них инженерных сооружений, технологического оборудования, жилых и общественных зданий. В связи с этим существует задача определения деформационного состояния указанных инженерных объектов, а также жилых и общественных зданий.

Для решения данной задачи, согласно требованиям п. 4.2 нормативного документа [40], в дополнение к наземным и подземным наблюдательным станциям закладываются еще и специальные наблюдательные станции, в состав которых входят реперы различной конструкции и осадочные марки. Существенное отличие программы наблюдений на данных станциях от классической (определение осадок и деформаций в вертикальной плоскости) заключается в том, что при наблюдении за деформационным состоянием инженерных сооружений производятся измерения в горизонтальной плоскости. Например, согласно п. 4.9 нормативного документа [41], при определении геометрических параметров подкрановых путей, кроме высотного их положения, предписывается определять расстояния между колоннами в продольном и поперечном направлениях.

Следующим важным обстоятельством в проведении маркшейдерских работ является технологический уровень проводимых измерений. Указанные выше нормативные документы содержат в себе технологический уровень регламентируемых измерений (маркшейдерских и геодезических) конца XX в. В настоящее время произошел качественный скачок в производстве геодезических измерений, в том числе

и высокоточных. Вместе с тем, целый ряд новых технологических схем производства геодезических измерений при разработке месторождений на практике уже применяются производственными организациями. Однако обобщенного нормативного документа, регламентирующего все разнообразие маркшейдерских и геодезических измерений, в настоящее время нет.

Поэтому в настоящее время научно-технической задачей является, во-первых, совершенствование технологических схем производства маркшейдерских и геодезических измерений с учетом современного уровня развития геодезического приборостроения, в частности тахеометров, и, во-вторых, выдача рекомендаций по совершенствованию существующих нормативных документов.

Исходными данными для совершенствования указанной методики являются существующие требования к построению обоснования для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и расположенных на них инженерных сооружений. В основе такого обоснования находятся ряды прямых профильных линий (в том числе дополнительных и дублирующих), ориентированных, как правило, по простиранию или в крест залегания рудных тел, а также наблюдательные станции. По концам профильных линий закладывается не менее двух опорных реперов, а вдоль их закладываются рабочие реперы, расстояния между которыми находятся в пределах 15–30 м.

Рекомендуемая методика производства маркшейдерских и геодезических работ [40] заключается в нивелировании с определенным промежутком времени (циклическостью) рабочих реперов и измерений расстояний между ними.

Высотное положение реперов определяется из геометрического нивелирования с СКО измерения превышения на станции не хуже 3,0–4,0 мм. Согласно п. 2.23 нормативного документа [40], невязка в замкнутых нивелирных ходах не должна превышать величину $f = 15\sqrt{L}$ мм или $f = 4,0\sqrt{n}$ мм при числе станций более 15. Данный допуск не относится к нивелированию III класса ($f = 10\sqrt{L}$) или IV класса ($f = 20\sqrt{L}$). Поэтому нивелирование выполняется согласно требованиям допусков III класса. Согласно п. 2.27 при угле наклона земной

поверхности более 15° измерения разрешается выполнять тригонометрическим нивелированием [23, 55, 85].

Также согласно п. 2.26 расстояние между реперами должно измеряться рулеткой или светодалномерами с ошибкой не более 5,0 мм.

В настоящее время данные виды геодезических измерений выполняются в значительной степени с применением тахеометров и цифровых нивелиров.

Далее, как уже указывалось выше, согласно п. 4.9 нормативного документа [40], инженерные сооружения, которые расположены на подрабатываемых территориях, также подвергаются определению возникающих в них, а также в применяемом технологическом оборудовании, деформационных явлений в части определения изменения их геометрических параметров под влиянием смещений земной поверхности. При этом не указывается требуемая точность и цикличность выполнения измерений. Так, при определении геометрических параметров подкрановых путей, кроме высотного их положения, предписывается определять еще и расстояния между колоннами в продольном и поперечном направлениях. Здесь также не указывается, как выполнять эти измерения, на какой высоте и с какой точностью.

В связи с этим рассмотрим технологическую схему производства маркшейдерских и геодезических измерений по определению деформационного состояния подрабатываемых территорий и расположенных на них инженерных сооружений с учетом нового уровня развития геодезического приборостроения с применением наземных методов и средств измерений, в частности тахеометров.

Определение деформационного состояния подрабатываемых территорий (динамики развития сдвижения земной поверхности) и инженерных сооружений состоит из решения следующих задач:

- разработки схемы создания планово-высотной сети на подрабатываемой территории;
- определение деформационного состояния земной поверхности в непосредственной близости от инженерных сооружений, жилых и общественных зданий;

- установление связи деформационного состояния земной поверхности с основанием инженерного сооружения;
- разработки схемы размещения осадочных марок на инженерном сооружении;
- создание планово-высотной сети внутри инженерного сооружения;
- обоснования цикличности и точности выполнения измерений;
- разработки методик выполнения измерений для определения величин смещений подрабатываемых территорий, оснований инженерных сооружений, отдельных строительных конструкций и применяемого технологического оборудования.

Достоверность получаемых результатов геодезических наблюдений за сдвижением земной поверхности и деформационным состоянием инженерных сооружений обеспечивается следующими факторами:

- полнотой информации о характере протекающих геомеханических процессов на данной территории;
- правильной разработкой схемы создания геодезической сети;
- достаточным количеством заложенных геодезических пунктов на земной поверхности и осадочных марок на инженерных сооружениях;
- требуемой цикличностью и точностью выполненных измерений.

При наличии достаточно полной и качественной геодезической информации значительно уменьшается риск пропуска появления внезапных критических сдвижений земной поверхности и деформаций инженерных сооружений.

Особо необходимо обратить внимание на тот факт, что при эксплуатации инженерных сооружений, которые находятся на подрабатываемых территориях, имеется потенциальная угроза нарушения устойчивости и прочности строительных конструкций, а также измерения их геометрических параметров. Эти изменения могут привести к частичной или полной остановке жизненного цикла инженерного сооружения и применяемого оборудования.

3.2 Совершенствование методики определения смещений земной поверхности тригонометрическим нивелированием короткими лучами веерообразным способом

Отметим еще раз, что согласно требованию п. 2.23 нормативного документа [40], при выполнении нивелирования по профильным линиям измеренные превышения на станции не должны отличаться более чем на 3,0 мм, а невязка в замкнутых нивелирных ходах не должна превышать величину $f = 15\sqrt{L}$ мм или $f = 4,0\sqrt{n}$ мм при числе станций более 15. Выше нами указывалось, что данная точность нивелирования соответствует геометрическому нивелированию III класса. При этом наблюдении за сдвижением земной поверхности при угле наклона земной поверхности более 15° разрешается использовать тригонометрическое нивелирование с применением оптических теодолитов. Данный способ нивелирования предполагает выполнять измерения из середины [13, 16, 70, 116].

Следует отметить, что выполнение тригонометрического нивелирования оптическими теодолитами являлось довольно трудоемкой задачей. В настоящее время такое нивелирование предлагается выполнять тахеометрами [24, 65]. При этом измерения выполняются способом из середины.

Рассмотрим методику тригонометрического нивелирования короткими (до 200 м) лучами, в том числе и веерообразного, применительно к наблюдению за деформационным состоянием земной поверхности на подрабатываемых территориях, в частности, нивелировании профильных линий [12]. Эти линии прокладываются для решения следующих основных задач:

- определения деформационного состояния подрабатываемой территории по направлению проложения нивелирного хода;
- определения деформационного состояния общей площади подрабатываемой территории;
- определения деформационного состояния подрабатываемой территории и находящихся на ней инженерных сооружений.

Одним из важных вопросов выполнения указанных геодезических работ на подрабатываемых территориях является вопрос точности выполнения измерений, в частности нивелирования по профильным линиям. В нормативных документах [39–41] не приводятся требования к точности выполнения этих измерений. В них только указывается, что необходимая точность нивелирования указывается в техническом задании исходя из ожидаемого прогиба земной поверхности. С учетом этого произведем расчет необходимой точности выполнения нивелирования на подрабатываемых территориях. Подход к ее обоснованию будем производить, исходя из величины прогиба (просадки) земной поверхности, которая в среднем может достигать 50–70 мм в год (без учета катастрофических провалов). Тогда предельная ошибка определения прогиба будет равна 15–22 мм, а СКО 7,0–9,0 мм. Следовательно, СКО измерения превышения на нивелирной станции не должна быть больше 3,0–4,0 мм. В этом случае для выполнения нивелирования может быть применено нивелирование III и даже IV классов. Применение нивелирования данных классов для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий обосновано тем, что на 1 км хода число штативов равно 5–7. В связи с этим для выполнения нивелирования такой точности может быть применено тригонометрическое нивелирование короткими лучами.

В работах [10, 116] рассматриваются вопросы применения тригонометрического нивелирования для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий. При этом приводятся результаты нивелирования в виде нивелирных ходов по реперам. Для получения большей информации целесообразно одновременно с проложением тригонометрических нивелирных ходов выполнять и верообразное нивелирование короткими лучами.

Применительно к выполнению нивелирных работ на подрабатываемых территориях тригонометрическое нивелирование короткими лучами по сравнению с геометрическим имеет значительное преимущество. Оно заключается в том, что в условиях пересеченной местности тригонометрическое нивелирование короткими лучами в 2–3 раза увеличивает продвиг работ с сохранением точности нивелирования.

лирования III и IV классов. Для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий по направлению проложения нивелирного хода тригонометрическое нивелирование короткими лучами целесообразно выполнять способом «из середины».

Применительно к прокладыванию нивелирных ходов III класса, выполняемых тригонометрическим нивелированием короткими лучами, разработаны требования [55, 85, 112] к соблюдению технических параметров на станции и в ходе в целом.

Для удобства определения отметок точек хода и обеспечения точности нивелирования III класса измерения тахеометром целесообразно выполнять в безотражательном режиме с использованием в качестве визирных целей двух цельные шапечных реек с наклеенными на одну высоту светоотражающими пленками. При аккуратном наклеивании на рейку светоотражающей ошибка в ее положении не будет превышать 0,2–0,3 мм.

В связи с тем, что согласно требованиям нормативных документов нивелирование III класса должно выполняться в прямом и обратном направлениях, применительно к тригонометрическому нивелированию короткими лучами разработаны [55, 85, 112] две программы работ на станции.

При реализации первой программы используется одна визирная цель. В этом случае нивелирный ход прокладывается в прямом и обратном направлениях. Из практического опыта работ установлено, что время на переход со станции на станцию и на выбор места установки нивелира составляет в среднем 50–60 % от общего времени, необходимого для проложения хода. Поэтому с целью уменьшения времени, необходимого на переход со станции на станцию, разработана программа работ, позволяющая выполнять нивелирование в одном направлении. Для этого вместо одной визирной цели (светоотражающей пленки) предлагается применять две [71]. Расстояние между светоотражающими пленками может быть любым, например, от 200,0 до 500,0 мм для обеих реек.

Применительно к определению деформационного состояния подрабатываемых территорий выполнение нивелирования III класса в одном направлении обос-

новано тем, что длины нивелирных ходов в среднем равны 1,5–2,0 км и вследствие этого остаточное накопление вертикального перемещения костылей и системы «штатив – тахеометр» не будет оказывать заметного влияния на результаты нивелирования.

Для первой программы она имеет следующий вид: $Z_{\text{кЛ}}Z_{\text{кП}}+P_{\text{кП}}P_{\text{кЛ}}$ – смена горизонта инструмента – $P_{\text{кЛ}}P_{\text{кП}} + Z_{\text{кП}}Z_{\text{кЛ}}$. Вследствие этого на станции двумя приемами с контролем измеряется два превышения. Данная программа является симметричной во времени и требует от наблюдателя всего два перехода вокруг тахеометра.

Ранее указывалось, что длины нивелирных ходов на подрабатываемых территориях в среднем равны 1,5–2,0 км. Поэтому с учетом минимального остаточного влияния оседания костылей и системы «штатив – тахеометр» на результаты нивелирования наблюдения на четной и нечетной станциях всегда можно начинать с задней рейки.

Вторая программа измерений имеет вид:

- $Z_{\text{кЛ}} Z_{\text{кЛ}}+P_{\text{кЛ}} P_{\text{кЛ}}$ – первый полуприем при двух наведениях;
- $P_{\text{кП}} P_{\text{кП}} +Z_{\text{кП}} Z_{\text{кП}}$ – второй полуприем при двух наведениях.

Так как в каждом из полуприемах визирование выполняется дважды, то на нивелирной станции с контролем измеряются два превышения.

Необходимо отметить, что условия выполнения тригонометрического нивелирования в условиях карьера отличаются от условий равнины или всхолмленной местности из-за разной высоты прохождения визирного луча над подстилающей поверхностью, что приведет к появлению влияния вертикальной рефракции. Тогда в общем случае превышение из одностороннего тригонометрического нивелирования будет находиться по известной формуле

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \alpha + i - l + K - r + \Delta, \quad (3.1)$$

где d – величина проложения;

α – угол наклона визирного луча;

i – высота тахеометра;

l – высота визирной цели;

K – поправка за кривизну Земли;

r – поправка за влияние вертикальной рефракции;

Δ – поправка за разность высот оси вращения зрительной трубы тахеометра и визирной цели.

Поправки в формуле (3.1) вычисляются с использованием формул [79]

$$K = \frac{d^{\text{км}}}{2R^{\text{км}} \cos^2 \alpha} d, \quad (3.2)$$

$$r = \frac{d^{\text{км}}}{2R^{\text{км}} \cos^2 \alpha} d \cdot k, \quad (3.3)$$

$$\Delta = \frac{h^{\text{км}}}{R^{\text{км}}} d \cdot \text{tg} \alpha, \quad (3.4)$$

где $R^{\text{км}}$ – средний радиус Земли (6 371 км);

k – коэффициент вертикальной рефракции;

$h^{\text{км}}$ – разность высот горизонтальной оси вращения зрительной трубы и цели.

Так как при выполнении тригонометрического нивелирования в условиях карьера визирование может выполняться на разную высоту, то в этом случае возникает ошибка $\Delta\alpha$, вызванная случайным отклонением на угол ε визирной цели от вертикали [79]

$$\Delta\alpha = \frac{l \cdot \varepsilon^2}{2d \cdot \rho} \cos^2 \alpha + \frac{l \cdot \varepsilon}{2d} \sin 2\alpha. \quad (3.5)$$

Так, при наклоне визирного луча на $\alpha=5^\circ$, визирной цели на $\varepsilon=10'$ и высоте визирования $l=2,0$ м получим $\Delta\alpha=0,50$ мм (таблица 3.1). Если высоту визирования уменьшить, то увеличится влияние вертикальной рефракции. Поэтому при такой высоте визирования визирные цели обязательно должны быть снабжены круглым уровнем.

Таблица 3.1 – СКО определения превышения из-за наклона визирной цели

Высота визирова- ния, м	2,0°			5,0°			10,0°		
	$\varepsilon = 5'$	$\varepsilon = 10'$	$\varepsilon = 20'$	$\varepsilon = 5'$	$\varepsilon = 10'$	$\varepsilon = 20'$	$\varepsilon = 5'$	$\varepsilon = 10'$	$\varepsilon = 20'$
1,0	0,05	0,10	0,28	0,16	0,32	0,65	0,30	0,60	1,00
1,5	0,08	0,15	0,34	0,20	0,40	0,80	0,37	0,75	1,50
2,0	0,10	0,22	0,45	0,25	0,50	1,05	0,50	1,00	2,00
2,5	0,14	0,25	0,55	0,32	0,65	1,30	0,62	1,25	2,50
3,0	0,15	0,32	0,65	0,37	0,78	1,57	0,75	1,50	3,00

В общем случае поправка за влияние вертикальной рефракции вычисляется по известной формуле [79]

$$m_{\text{реф}} = \frac{d^2 m_k}{2R}, \quad (3.6)$$

где $m_k = 0,03-0,05$ – коэффициент вертикальной рефракции.

Так как при прокладывании нивелирного хода измерения тахеометром выполняются из середины, то влияние данной ошибки значительно ослабляется.

С учетом получаемой точности выполнения тригонометрического нивелирования для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и находящихся на них инженерных сооружений нами рекомендуется применять веерообразное тригонометрическое нивелирование [105]. Сущность его заключается в том, что одновременно с тригонометрическим нивелированием нивелирного хода по профильной линии с каждой станции производится веерообразное нивелирование точек (реперов), закрепленных на дневной поверхности подрабатываемой территории, а также на инженерных сооружениях. Требования к выполнению такого веерообразного нивелирования приведены в таблице 3.2.

При этом может быть реализован целый ряд схем проложения нивелирных ходов. Так, если прокладывается одиночный нивелирный ход (рисунок 3.1), то с точек установки тахеометра ($Rp1, A, B, \dots, Rp2$) веерообразным способом производится определение высотного положения закрепленных на земной поверхности точек (реперов) 1, 2, 3, ..., 17. Местоположение этих точек выбирается, исходя из характера происходящих деформационных процессов и расстояния не более 100–150 м.

Если подрабатываемая территория имеет значительную площадь, то при проложении профильных линий, например, Rp1 – Rp2 и Rp3 – Rp4, высотное положение части наблюдаемых точек, в нашем случае точек 6, 10, и 12 можно, для контроля полевых измерений, определить дважды (рисунок 3.2).

Таблица 3.2 – Требования к выполнению на нивелирной станции веерообразного тригонометрического нивелирования III класса

Параметр	Значение параметра
Максимальная длина визирного луча при визировании, м:	
– на деление цельной шашечной рейки;	100
– на шашечную рейку с пленкой размером не менее 50×50 мм;	150
– на отражатель	150
Допуск на неравенство плеч на нивелирной станции, м	-
Допуск на накопление неравенства плеч по секции, м	-
Число приемов на станции	2
Допуск на разность превышений на станции, мм:	3
Минимальная высота визирования, м	1

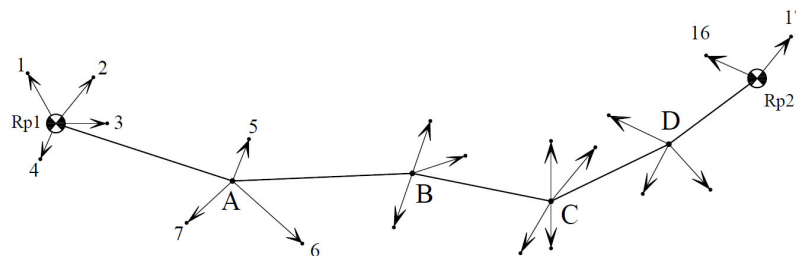


Рисунок 3.1 – Схема нивелирного хода по одиночной профильной линии

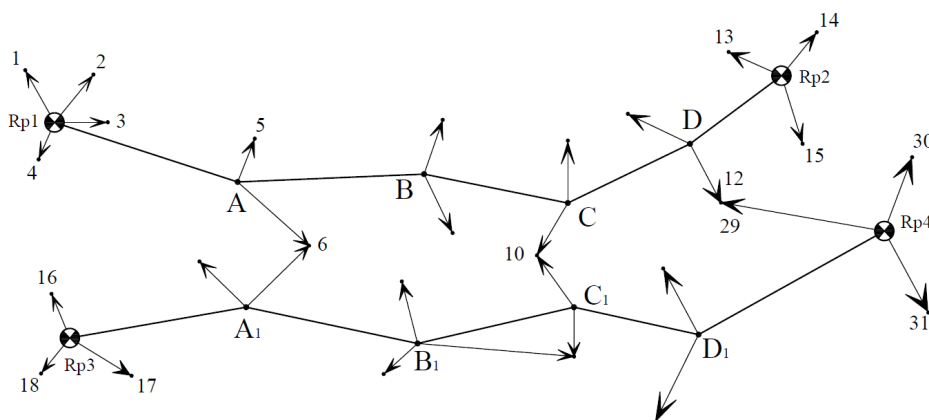


Рисунок 3.2 – Схема нивелирных ходов по параллельным профильным линиям

Кроме того, дополнительным контролем будет образование профильными линиями нескольких замкнутых полигонов, например $Rp1 - A - t6 - A1 - Rp3$ или $A - B - C - t10 - C1 - B1 - A1$.

Если на подрабатываемых территориях имеются инженерные сооружения, за которыми требуется проведение наблюдений, то их деформационное состояние может быть определено параллельно с проложением профильных линий (рисунок 3.3). Для этого с точки A стояния тахеометра передается отметка на марку 2 (или сразу на марки 1, 2 и 3), установленную на инженерном сооружении, а затем нивелирование остальных марок также производится веерообразным нивелированием, в нашем случае с точек K , N и M .

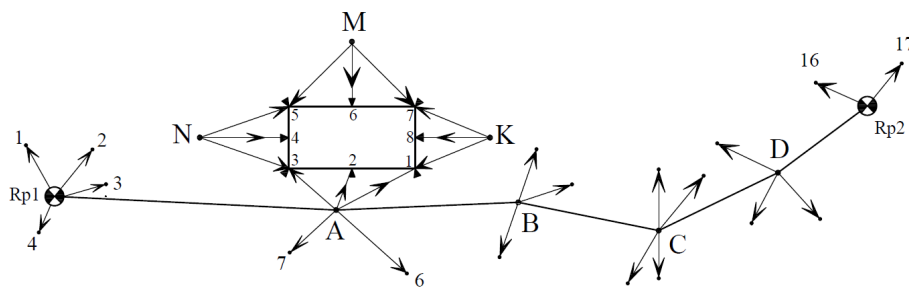


Рисунок 3.3 – Схема тригонометрического нивелирования для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и инженерных сооружений

Также необходимо отметить, что профильные линии могут иметь произвольную форму [98, 105], например, в виде пересекающихся линий (рисунок 3.4).

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- веерообразное тригонометрическое нивелирование короткими лучами с применением высокоточных тахеометров обеспечивает точность нивелирования III класса при длине визирного луча до 100 м и соблюдении симметричной программы наблюдений на станции;

– данный способ нивелирования может быть применен для обеспечения монтажа элементов строительных конструкций и технологического оборудования, определения деформационного состояния инженерных сооружений, а также земной поверхности на подрабатываемых территориях;

– применение данного способа нивелирования позволяет увеличить продвиг выполнения работ, особенно в условиях пересеченной местности.

Рассмотрим теперь методику выполнения тригонометрического нивелирования длинными лучами.

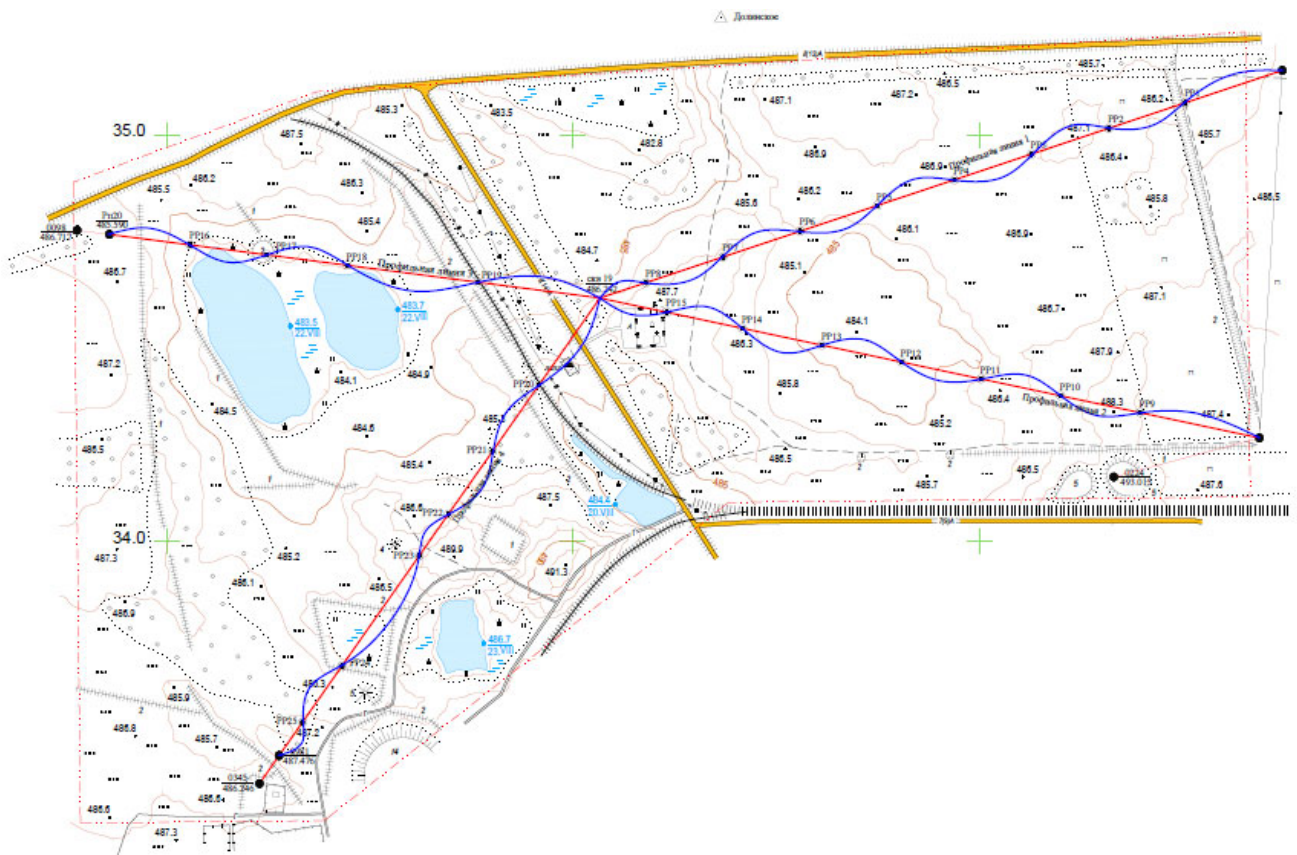


Рисунок 3.4 – Схема нивелирования пересекающихся профильных линий

Под длинными лучами при тригонометрическом нивелировании будем понимать расстояния до визирных целей больше 300,0 м. Применительно к наблюдению на горнорудных карьерах выполнение нивелирования при таких расстояниях позволит уверенно определять смещения подрабатываемых территорий с наблюдательной станции.

В связи с тем, что условия выполнения тригонометрического нивелирования на карьерах существенно отличаются от условий, при которых производится наблюдение за осадками и деформациями зданий и сооружений, остановимся на основных внешних факторах, которые будут влиять на карьерах на величину рефракции, а, следовательно, и на СКО измерения превышения. На основании многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых было установлено, что на величину рефракции и характер ее изменения влияют следующие основные факторы:

- структура и тип подстилающей поверхности (форма рельефа и разный тип подстилающей поверхности);
- низкая высота визирного луча над подстилающей поверхностью, его длина;
- направление и скорость ветра;
- сильная жара или холод;
- наличие или отсутствие осадков;
- турбулентные явления приземного слоя атмосферы.

Также этими исследованиями было установлено, что:

- при выполнении нивелирования способом из середины или двустороннем нивелировании влияние вертикальной рефракции, в основном, компенсируется;
- в этом случае ошибки, вызванные остаточным влиянием рефракции, носят случайный характер;
- для уменьшения влияния рефракции необходимо уменьшать интервал наблюдений на станции при нивелировании из середины и между станциями при нивелировании в прямом и обратном направлениях;
- увеличение высоты визирного луча над подстилающей поверхностью до 1,5–3,0 м позволяет уменьшить ошибку за рефракцию на 25–30 %.

С учетом этого для выполнения тригонометрического нивелирования в карьерах должны соблюдаться следующие требования:

- высота установки тахеометра (высота наблюдательной станции) и высота визирования на отражатель (рейку) не должна быть меньше 1,50 м;

- измерения должны выполняться в пасмурную погоду;
- измерения могут выполняться в безотражательном режиме с применением отражательных пленок;
- с целью компенсации остаточного влияния вертикальной рефракции длину визирных лучей в измеряемом превышении желателно делать примерно одинаковой.

С учетом этого применительно к выполнению тригонометрического нивелирования на карьере нами предлагается следующая методика выполнения измерений

- при нивелировании из середины:

$Z_{к1}Z_{к2}P_{к1}P_{к2}$ смена горизонта $P_{к1}P_{к2}Z_{к1}Z_{к2}$;

- при веерообразном нивелировании:

$Z_{к1}Z_{к2}P_{к1}P_{к2}$.

При этом для веерообразного нивелирования предыдущий передний отражатель (рейка) будет являться задним для последующей точки (марки).

3.3 Обоснования цикличности и точности выполнения измерений для мониторинга деформационного состояния инженерных сооружений

Обоснования цикличности и точности выполнения измерений необходимы для обеспечения достоверности обнаружения протекающих деформационных процессов. Как известно, цикличность и точность выполнения измерений в значительной степени зависят от величин протекания этих деформационных процессов.

Согласно требованиям п. 2.30 нормативного документа [40] число повторных наблюдений за сдвижением земной поверхности, а также время их проведения устанавливаются в зависимости от поставленных задач и с учетом горнотехнических условий разработки рудного тела. Точность выполнения геодезических измерений установлена п. 2.23 одинаковой независимо от величин сдвижения земной поверхности. Данное требование справедливо для подрабатываемых территорий, на которых не располагаются инженерные сооружения. В тех случаях, когда на

подрабатываемых территориях располагаются инженерные сооружения, определение их деформационного состояния, в том числе и их безаварийной эксплуатации, должно регламентироваться нормативным документом.

Тогда применительно к определению деформационного состояния инженерных сооружений цикличность повторных измерений, согласно требованиям нормативного документа [40], зависит от ответственности инженерного сооружения и типа основания. Точность выполнения измерений также зависит от указанных факторов, а также от величин деформаций (перемещений), и она подразделяется на I, II, III и IV классы точности. В нашем случае инженерные сооружения находятся на подрабатываемых территориях, на которых практически всегда имеет место смещение земной поверхности, а, следовательно, и расположенных на них инженерных сооружений. В связи с этим возникает необходимость в проведении деформационного мониторинга их фундаментов с определенной цикличностью и точностью. Также при выполнении измерений необходимо учитывать определенные разногласия нормативных документов в обосновании этих параметров.

В отношении цикличности выполнения измерений в соответствующих нормативных документах указывается [39–41], что, например, при скорости смещения 1,0 мм/сутки периодичность наблюдений должна составлять 75 суток, а время выполнения измерений 72 часов. При скорости 5 мм/сутки периодичность наблюдений должна составлять 15 суток, а время их выполнения 15 часов.

В связи с этим необходимо сказать, что с применением современных приборов значительно уменьшается время на выполнение измерений. Поэтому, с целью более детального определения характера и величин сдвижений земной поверхности, а также осадок расположенных на ней инженерных сооружений, имеется возможность увеличить количество циклов наблюдений. Так, если скорость смещения осадочных марок на инженерном сооружении не превышает 1,0 мм/сутки и затухает во времени, то интервалы времени между сериями наблюдений могут быть увеличены до 3–4 и более месяцев, однако наблюдения следует проводить не реже 1–2 раз в год. Если же скорость смещения осадочных марок постоянна и составляет

0,5–1,0 мм/сут, то наблюдения можно проводить один раз в два месяца. При активизации процесса сдвижения (осадок) интервалы между сериями наблюдений сокращаются до нескольких недель и даже дней. С целью более объективного суждения о динамике развития деформационного процесса инженерных сооружений нами предлагается увеличить точность и цикличность выполнения измерений.

С учетом сказанного нами при обосновании цикличности и точности выполнения маркшейдерских и геодезических измерений предлагается учитывать следующие основные факторы:

- требования нормативных документов в отношении предельной величины осадки оснований инженерных сооружений;
- требования нормативного документа [40] в отношении необходимости производства наблюдений за строительными конструкциями, например, подкрановыми путями и применяемым технологическим оборудованием (п. 4.9);
- наличие на подрабатываемых территориях действующих промышленных предприятий, а также появление новых по мере расширения границ эксплуатации рудных месторождений;
- технические возможности современных геодезических приборов в отношении точности, скорости и объема выполнения измерений, а также последующей их обработки;
- возможности визуализации в 3D-формате полученных результатов измерений с целью принятия более оптимальных управленческих решений, направленных на уменьшение (предотвращение) влияния сдвижения земной поверхности (в том числе и его прогноза) на инженерные сооружения.

Так как определяющее значение на безопасность эксплуатацию инженерного сооружения оказывает скорость и динамика развития деформационного процесса, то, при прочих равных условиях, на подрабатываемых территориях развитие осадок и деформаций основания происходит более интенсивно. Поэтому с целью более объективного суждения о динамике развития деформационного процесса оснований инженерных сооружений нами предлагается следующая точность и цикличность выполнения измерений (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Рекомендуемая точность и цикличность определений деформаций оснований инженерных сооружений на подрабатываемых территориях

Скорость смещения: мм/месяц, мм/год	до 1,0 до 10,0	до 5,0 до 30,0	до 10,0 до 50,0	до 20 до 100	более 20 более 100
Периодичность наблюдений	один раз в год	два раза в год	один раз в квартал	два раза в квартал	ежемесячно
СКО измерений деформации в цикле, мм	0,3/- 0,3/2,0	0,3/2,0 0,5/5,0	0,5/3,0 0,5/5,0	1,0/3,0 1,0/5,0	1,0/5,0 1,0/5,0
СКО измерений предельной деформации, мм	1,0/- 2,0/3,0	2,0/2,0 2,0/5,0	2,0/3,0 5,0/5,0	2,0/5,0 5,0/5,0	2,0/5,0 5,0/5,0
Примечание – В числителе в вертикальной плоскости, в знаменателе в горизонтальной					

Для обеспечения такой точности измерений должны использоваться высокоточные нивелиры и тахеометры, с помощью которых будет проводиться определение деформационного состояния инженерных сооружений.

Необходимо отметить, что цикличность производства геодезических измерений будет в значительной степени зависеть от интенсивности протекания деформационного процесса. Поэтому с целью достоверного установления характера протекающих деформационных процессов необходимо руководствоваться схемой, показанной на рисунке 3.5. При ее реализации последовательность и объем геодезических работ следующий.

После закладки осадочных марок на строительные конструкции инженерных сооружений производятся измерения в первом (исходном) цикле измерений. Затем через предварительно установленный промежуток времени выполняются второй и третий циклы.

Предварительный интервал времени между первым и вторым, а также между вторым и третьим циклами наблюдений устанавливается, исходя из геологического строения подрабатываемой территории, интенсивности и величины добычи ископаемых.

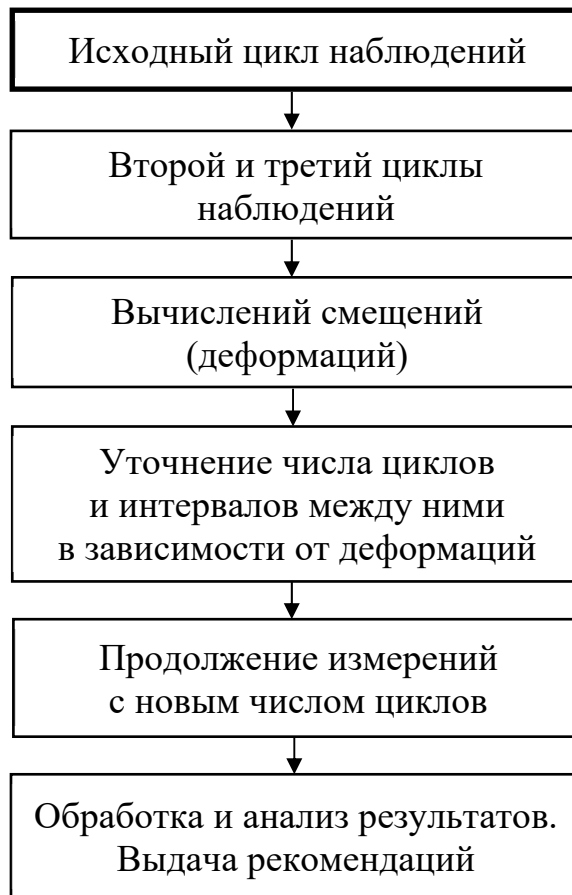


Рисунок 3.5 – Последовательность установления цикличности измерений

По окончании проведения первых трех циклов наблюдений и анализа полученных результатов (величин осадок и смещений) производится корректировка цикличности выполнения измерений с целью более достоверного установления характера развития деформационного процесса. После этого производятся дальнейшие наблюдения, но уже с уточненной цикличностью.

Если в процессе дальнейшего выполнения циклов наблюдений изменится характер развития деформационного процесса, то снова производится корректировка цикличности измерений.

Рекомендуемые точности определения смещений подрабатываемых территорий, а также деформаций оснований находящихся на них инженерных сооружений основываются на требованиях нормативных документов [39–41], а также на технических возможностях современных тахеометров. Так, СКО измерения превышения на станции высокоточными тахеометрами находится в пределах 0,20–0,40 мм, а из-

мерения координат 1,5–3,0 мм, в зависимости от длины визирного луча. Поэтому появилась возможность более детально определять динамику развития деформационного процесса, а, следовательно, и цикличность выполнения измерений.

3.4 Разработка схемы создания тахеометрами планово-высотной сети на подрабатываемых территориях

Принцип разработки схемы создания планово-высотной сети на подрабатываемых территориях и конструкциях инженерных сооружениях должен учитывать технические возможности тахеометров, а также динамику развития главного сечения мульды сдвижения по простиранию.

Современные тахеометры, в том числе и роботизированные, позволяют выполнять измерения:

- расстояний до 1,0 км с применением отражателей с СКО порядка 2,0–3,0 мм;
- расстояний до 0,4 км в безотражательном режиме и с применением отражательных пленок также с СКО порядка 2,0–3,0 мм;
- горизонтальных углов и углов наклона с СКО $m_{\beta} = 1,0\text{--}2,0''$.

С учетом этого координаты x , y точек могут быть определены, в зависимости расстояния до них, с СКО 1,5–3,0 мм.

В связи с тем, что главное сечение мульды сдвижения по простиранию непостоянно и оно может изменяться при увеличении глубины разработки, для повышения информативности результатов измерений целесообразно создавать 3D-модель развития сдвижения. Для этого закрепленную опорными реперами A , B , C и D (пунктами) геометрию сети (профильные линии AB и CD) необходимо представить в координатной форме с параметрами x , y и H (рисунок 3.6). Координаты опорных реперов (пунктов) необходимо определять от пунктов высших классов с СКО порядка 3,0–5,0 мм. Кроме того, в дополнение к профильным линиям AB и CD необходимо в наиболее характерных точках всей подрабатываемой территории закладывать еще пункты 1, 2, 3, ..., которые в совокупности с опорными реперами позволят образовать нерегулярную сетку с известными координатами x , y и H . Их кон-

струкция и способ закладки остаются прежними. При этом расстояния между этими дополнительными пунктами можно, в зависимости от площади месторождения, увеличить до 35–50 м.

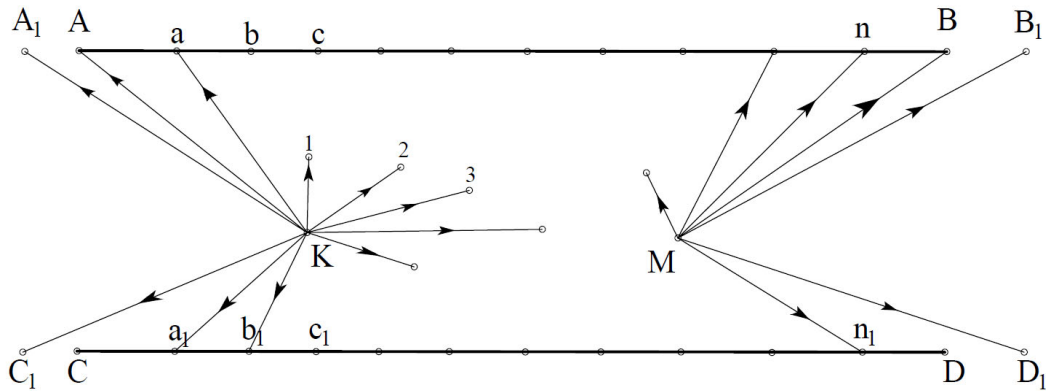


Рисунок 3.6 – Схема расположения пунктов на подрабатываемой территории

Так как реперы профильных линий и дополнительные точки будут иметь три координаты x , y и H , то их необходимо называть пунктами.

При определении деформационного состояния инженерных сооружений в подавляющем большинстве случаев не принимается во внимание состояние основания фундаментов (перемещение земной поверхности). Это обусловлено тем, что инженерное сооружение, а также жилые и общественные здания строятся на грунтах с необходимой несущей способностью, которые в течение всего срока эксплуатации сжимаются на величину 50–100 мм. При этом, как правило, перемещение указанных объектов происходит по вертикали, а горизонтальные перемещения имеют место на неустойчивых грунтах, например, на оползнях.

Применительно к эксплуатации инженерных сооружений, а также жилых и общественных зданий, находящихся на подрабатываемых территориях, их перемещения практически всегда происходят в вертикальном и горизонтальном направлениях, в том числе и крены, на величины, превышающие 50–100 мм. Находящееся в инженерных сооружениях технологическое оборудование также подвержено этим перемещениям.

В связи с тем, что деформационное состояние инженерных сооружений напрямую зависит от смещений земной поверхности, то, с учетом современного уровня геодезического приборостроения, целесообразно связывать в единую систему наземные и специальные наблюдательные станции. Это позволит с СКО порядка 2,0–3,0 мм определять взаимные смещения земной поверхности и фундаментов инженерных сооружений в каждом цикле наблюдений [96, 100].

Кроме того, для более детального определения деформационного состояния внутренних конструкций инженерных сооружений и применяемого технологического оборудования нами рекомендуется, в дополнение к специальным наблюдательным станциям, создавать еще и *технологические наблюдательные станции*, предназначенные для наблюдения за строительными конструкциями инженерных сооружений и применяемым технологическим оборудованием. Такие наблюдательные станции располагаются внутри инженерного сооружения и они по своей принципиальной схеме и точности построения (таблица 3.4) соответствуют внутренней геодезической разбивочной (монтажной) сети. В этом случае будет обеспечена требуемая точность определения деформационного состояния конструкций инженерных сооружений, а также применяемого технологического оборудования.

Общая схема построения такой технологической наблюдательной станции следующая.

1 Технологическая наблюдательная станция создается в виде локальной сети для конкретного инженерного сооружения с точностью, обеспечивающей определение изменений геометрических параметров строительных конструкций инженерных сооружений, а также применяемого технологического оборудования. В этом случае СКО определения взаимного положения пунктов сети должна находиться в пределах 1,5–2,0 мм в плане и 0,5–1,0 мм по высоте.

2 С целью определения величин смещений элементов строительных конструкций пункты технологической наблюдательной станции связываются с внешними пунктами специальной наблюдательной станции. В этом случае СКО связи пунктов двух сетей должна находиться в пределах 2,0–3,0 мм в плане и 1,0–1,5 мм по высоте.

Ошибка связи будет значительно зависеть от влияния внешних условий, особенно в зимнее время.

3. Пункты технологической станции должны располагаться в удобном для дальнейших измерений месте и не закрываться технологическим оборудованием, например, на полу, вдоль цеха.

Таблица 3.4 – Рекомендуемые параметры технологической наблюдательной станции (внутреннее геодезическое обоснование)

Параметры	Значения
Способы создания в плане	1 Обратные линейно-угловая засечки. 2 Полярные засечки. 3 Полигонометрия
Способы создания по высоте	1 Геометрическое нивелирование. 2 Тригонометрическое нивелирование короткими лучами
СКО определения взаимного положения пунктов в плане, мм	1,5–2,0
СКО определения пунктов по высоте, мм	0,5–1,0
Способы закрепления марок	1 Стандартные марки. 2 Кернение. 3 Пленки. 4 Дюбеля
Периодичность определения координат	В каждом цикле наблюдений
Применяемые приборы	1 Высокоточные тахеометры. 2 Роботизированные тахеометры. 3 Оптические и цифровые нивелиры
СКО измерения горизонтального угла и угла наклона, не более	2,0"
СКО измерения расстояния, мм, не более	2,0
СКО измерения превышения на станции, мм, не более	0,20
Невязка в ходе, мм, не более	$0,3\sqrt{n}$
СКО связи технологической и специальной станций, мм, не более в плане	2,0–3,0
СКО связи технологической и специальной станций, мм не более по высоте	1,0–1,5
Привязка к пунктам исходной сети	В каждом цикле

В связи с тем, что пространственное положение инженерных сооружений изменяется со сдвижением земной поверхности, то конструкция устанавливаемых на

них деформационных марок должна обеспечивать возможность определения трех координат. Для этого могут использоваться следующие способы их закрепления:

- по осям колонн на высоте 0,5–1,0 м от уровня пола и по их верху устанавливаются светоотражающие пленки;
- по осям колонн керном наносятся углубления с последующей их окраской (для удобства последующего нахождения и наведения).

При этом такие деформационные марки могут быть установлены снаружи инженерного сооружения или внутри него.

Наружное закрепление марок (рисунок 3.7) необходимо производить в тех случаях, когда внутри инженерного сооружения имеется большое количество технологического оборудования. Так как стены промышленных предприятий представляют собой железобетонные панели, то рекомендуется следующая последовательность установки марок. Сначала по осям сооружения на высоте 0,5–0,7 м зачищается площадка размером примерно 50 x 50 мм. Затем на эту площадку наносится слой краски, к которой приклеивается светоотражающая пленка.

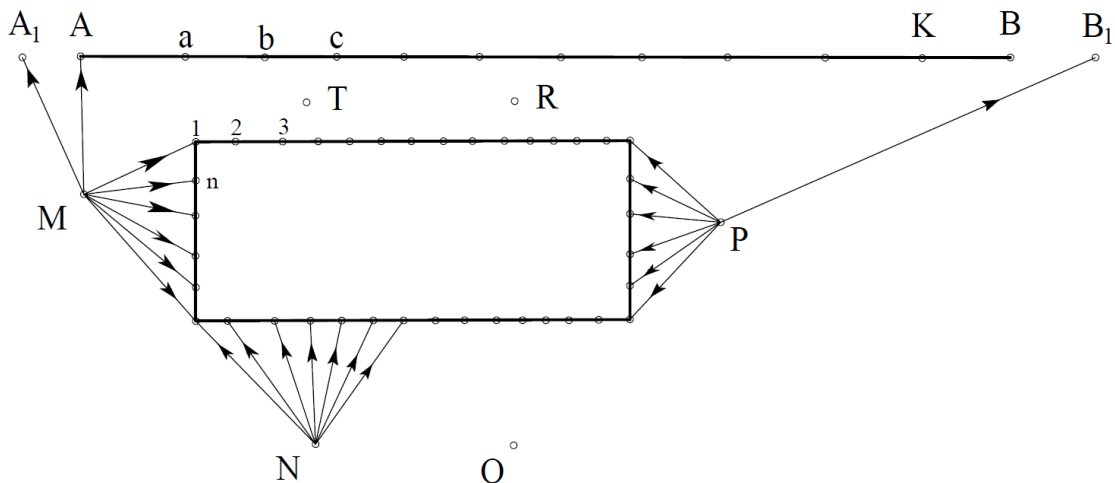


Рисунок 3.7 – Схема выполнения тригонометрического нивелирования с технологических станций по наружным маркам

Достоинства такой конструкции марок, места и способа их закрепления, а также дальнейшего использования следующие:

- имеется возможность привязки осадочных марок одной станцией с пунктами профильных линий;
- возможность выбора места установки как по высоте, так и по месту, часто между технологическими трубами;
- удобство закладки в организационном отношении;
- возможность установки дублирующих марок на другой высоте (в местах, где возможно их повреждение);
- их сохранность в течение длительного времени;
- отсутствие необходимости установки на них рейки (отражателя).
- возможность визирования на них при любой высоте тахеометра.

Недостатками внешнего закрепления марок являются некоторые трудности выполнения измерений в зимнее время.

Внутреннее закрепление светоотражающих пленок (рисунок 3.8) также удобно производить на колоннах на высоте 0,5–0,7 м. Также в местах возможного повреждения необходимо устанавливать дублирующие марки.

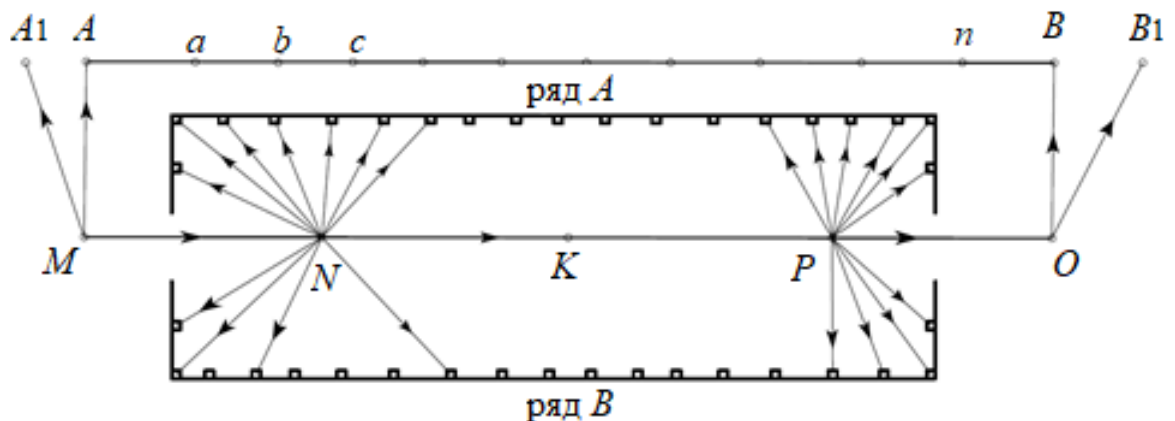


Рисунок 3.8 – Схема выполнения тригонометрического нивелирования с технологических станций по внутренним маркам

При внутреннем закреплении марок, в отличие от внешнего, возможно их закрытие новым оборудованием. Поэтому также необходимо устанавливать дублирующие марки.

3.5 Определение осадок инженерных сооружений тригонометрическим нивелированием веерообразным способом

Для обеспечения высотного положения строительных конструкций и устанавливаемого, а затем и эксплуатируемого, технологического оборудования в настоящее время в подавляющем большинстве случаев применяется геометрическое инженерно-геодезическое нивелирование различной точности. Такое нивелирование выполняется способом из середины (при равенстве плеч, или их неравенстве, а также с двух станций) и веерообразным способом.

Первый способ применяется при высокоточном и точном нивелировании, а второй – при техническом и редко при точном (после тщательного исправления главного условия нивелира). Вместе с тем, исследованиями установлено [13, 16, 71, 77, 88], что при применении высокоточных тахеометров, обеспечивающих СКО измерения расстояния и углов наклона, равные, соответственно, $m_s = 2,5 - 3,0$ мм и $m_\alpha = 1,0 - 2,0''$, и расстоянии до визирных целей не более $8,0 - 10,0$ м СКО измерения превышения на станции не будут превышать $m_{\text{нст}} = 0,10 - 0,15$ мм. При этом неравенство плеч на станции может достигать $2,0$ м.

Исследованиями [55] также установлено, что при соблюдении ряда требований тригонометрическим нивелированием также можно достигать точности III и IV классов.

Недостатками геометрического нивелирования, особенно в условиях пересеченной местности или разрабатываемых горнорудных карьеров, являются необходимость обеспечения видимости на рейку при горизонтально расположенной визирной оси, а также соблюдение допустимой величины неравенства плеч на станции. Поэтому в условиях действующего промышленного предприятия или работах на горнорудных карьерах наблюдателю приходится затрачивать значительное количество времени на выбор нивелирной станции с целью выполнения указанных требований. Однако, примерно в $20-25\%$ случаев обеспечить выполнение этих требований оказывается невозможным и поэтому в нивелирном ходе приходится де-

лать переходные точки, что значительно увеличивает объем нивелирных работ, или выполнять нивелирование веерообразным способом. Последнее обстоятельство, вследствие нарушения главного условия нивелира, приводит к потере точности измерения превышений на станции и в нивелирном ходе в целом.

Применение высокоточных тахеометров для обеспечения высотного положения строительных конструкций и технологического оборудования при их монтаже и эксплуатации также зачастую осуществляется при разных длинах (до 5,0–10,0 м) визирного луча. С учетом сказанного обоснованным является применение для выполнения тригонометрического нивелирования высокоточных тахеометров и реализация ими веерообразного способа. При этом рассмотрим методики его выполнения при коротких (до 200,0 м) и длинных (до 500,0 м) визирных лучах.

Рассмотрим сначала методику веерообразного тригонометрического нивелирования короткими лучами, реализация которой позволит выполнять измерения практически без потери точности при значительной разности плеч, влиянии вибрации основания и резкого перепада температур.

Итак, пусть требуется определить деформационное состояние инженерного сооружения и частей устанавливаемого (действующего) оборудования на подрабатываемой территории. Для этого в точке M устанавливается тахеометр и двойным обратным тригонометрическим нивелированием с использованием исходных пунктов A и A_1 определяется его высота, а затем полным приемом передаются отметки на внешние марки инженерного сооружения или внутренние. Тем самым производится высотная связь наземных наблюдательных станций с инженерным сооружением (жилыми или общественными зданиями).

Если осадочные марки расположены снаружи, то нивелирование выполняется следующим образом. После передачи отметки на ось вращения зрительной трубы тахеометра веерообразным способом определяются отметки видимых марок. Затем тахеометр устанавливается в другую точку, например, точку N и измерения продолжают. После замыкания полигона производится привязка хода ко второму пункту, в нашем случае к пункту B_1 .

После выполнения цикла измерений производится обработка полученных результатов, в результате которой определяется величина осадки инженерного сооружения и отдельных его конструкций относительно профильной линии.

Если осадочные марки расположены внутри инженерного сооружения, то в этом случае необходимо будет прокладывать *технологическую наблюдательную станцию* между реперами Rp1 и Rp2 с пунктами N, K и P, которые расположены внутри сооружения [98, 105].

В этом случае необходимо:

- проложить нивелирный ход (создать технологическую наблюдательную станцию);
- выполнить нивелирование фундаментов колонн инженерного сооружения;
- выполнить нивелирование фундаментов (рисунок 3.9) технологического оборудования (точек 1, 2, 3, ..., n).

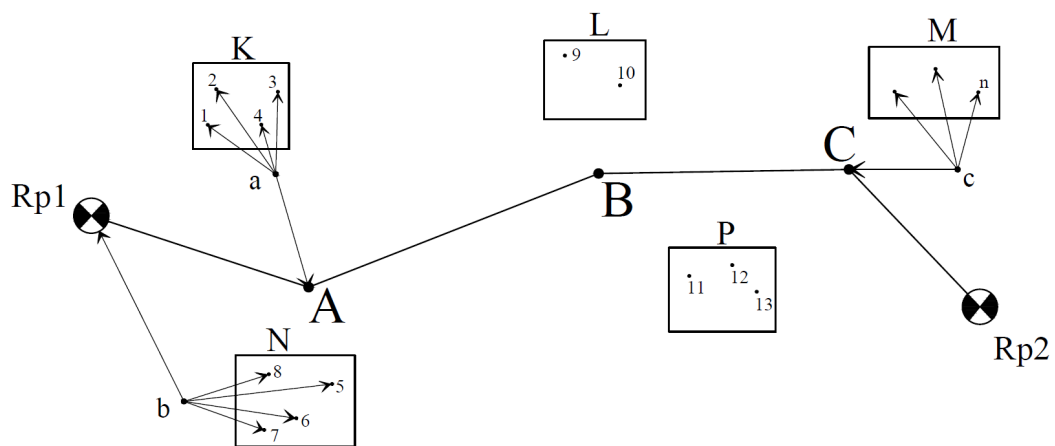


Рисунок 3.9 – Схема нивелирования фундаментов технологического оборудования веерообразным способом

По полученным результатам определяется:

- величина осадки инженерного сооружения и отдельных его конструкций относительно профильной линии;
- величина осадки фундаментов оборудования сооружения конструкций относительно фундаментов колонн и профильной линии.

В данном случае нивелирование может выполняться в безотражательном режиме с использованием четких штрихов рейки или наклеенной на ней светоотражающей пленки.

С учетом сказанного рассмотрим требования, которые необходимо выполнять с целью получения требуемой точности измерений. В работах [55, 70, 85] рассматриваются требования, предъявляемые для производства тригонометрического нивелирования 1, 2, 3, 4-го и 5-го разрядов, выполняемых только способом из середины с определенным значением неравенства плеч на станции. Очевидно, что получить точность тригонометрического нивелирования 1-го и 2-го разрядов веерообразным способом не представляется возможным. Это в значительной степени связано с влиянием перефокусирования зрительной трубы и появлением переменной составляющей $МО$. Применительно к выполнению нивелирования 3, 4-го и 5-го разрядов веерообразным способом установим дополнительные требования:

- конструкции визирных целей должны обеспечивать качественное наведение на них в условиях недостаточной освещенности;
- после исправления $МО$ ее контрольная величина и последующие колебания не должны превышать $2,0''$;
- если в процессе выполнения нивелирования значительно изменился температурный режим окружающего воздуха (свыше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$), то необходимо провести повторную поверку и юстировку $МО$;
- необходимо тщательно выбирать место установки тахеометра, так как при значительной разности плеч по пути прохождения визирного луча могут быть локальные конвекционные потоки воздуха.

В связи с тем, что выполнении обратного тригонометрического нивелирования определяется горизонт инструмента, вычислим СКО его высотного положения из одного полного приема. В отличие от геометрического нивелирования примем за ошибку $m_{\text{взгл}}$ измерения, выполненные полным приемом на одну рейку. Это допущение принято исходя из колебания $МО$ при выполнении нивелирования. Тогда данную «ошибку взгляда» с учетом влияния всех факторов можно вычислить по формуле

$$m_{\text{взгл}} = \sqrt{m_S^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha + m_p^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{вн}}^2 + m_{\text{МО}}^2 + m_{\text{шт}}^2}, \quad (3.7)$$

где m_α – ошибка измерения угла наклона;

m_S – ошибка измерения наклонного расстояния;

m_p – ошибка, обусловленная влиянием наклона рейки;

$m_{\text{виз}}$ – ошибка визирования;

$m_{\text{МО}}$ – ошибка, обусловленная изменением $МО$;

$m_{\text{вн}}$ – ошибка, вызванная влиянием внешних условий;

$m_{\text{шт}}$ – ошибка, вызванная возможным вертикальным перемещением системы «штатив – тахеометр».

Под величиной «ошибки взгляда» при тригонометрическом нивелировании будем понимать суммарное влияние основных источников ошибок при выполнении однократного измерения при КЛ или при КП на одну точку (рейку).

Как уже указывалось выше, СКО измерения угла наклона и расстояния высокоточным тахеометром равны, соответственно, $m_\alpha = 1,0 - 2,0''$, $m_S = 2,5 - 3,0$ мм. Тогда при расстоянии (или неравенстве плеч) до визирной цели 20 м линейное значение СКО будет равно 0,15 мм.

Основное влияние на величину ошибки, вызванную наклоном визирной цели, оказывают высота визирования и угол наклона, а в формуле (3.7) второе слагаемое. Поэтому при определении деформационного состояния технологического оборудования высоту визирования необходимо делать, по возможности, минимальной. Для этого удобно использовать штангенциркуль, и визирование выполнять на минимальный миллиметровый отсчет.

Величина ошибки визирования в угловой мере при увеличении зрительной трубы $30\times$ равна 1,5–2,0'', при расстоянии 20 м ее линейное значение будет равно 0,20 мм.

Если принять величину ошибки, обусловленную изменением $МО$, равную 2,0'', то ее линейное значение при расстоянии 20 м (или неравенстве плеч) также будет равно 0,20 мм.

Тогда согласно формуле (3.7) суммарная величина СКО определения положения горизонта инструмента будет равна 0,28–0,34 мм.

К влиянию внешних условий можно отнести влияние вибрации на систему «штатив – тахеометр» и турбулентности воздуха от работающего оборудования, что приводит к ухудшению качества визирования на рейку или светоотражающую пленку. Кроме того, под влиянием вибрации система «штатив – тахеометр» может иметь вертикальное перемещение (особенно при установке ее на гладкий пол) и, следовательно, дополнительно будет изменяться горизонт инструмента. Поэтому данный фактор может оказывать заметное влияние при длительной работе на станции. Поэтому при выборе места установки штатива необходимо уделять внимание его стабильному положению в течение всего времени работы на станции.

После определения из обратного тригонометрического нивелирования горизонта инструмента в точке M производится вынос в натуру разбивочных точек, т. е. измеряется проектное превышение

$$h_{ст} = - (S_3 \sin \alpha_3 - S_{II} \sin \alpha_{II}) = S_{II} \sin \alpha_{II} - S_3 \sin \alpha_3. \quad (3.8)$$

В этом случае при выполнении измерений полным приемом СКО измерения (выноса в натуру) превышения будет равна

$$m_{h_{ст}} = m_{взгл} \sqrt{2}, \quad (3.9)$$

где $m_{взгл}$ – величина «ошибки взгляда» на одну рейку (отражающую пленку).

Важным фактором при выполнении геодезических измерений является выбор программы наблюдений на станции. Применительно к веерообразному тригонометрическому нивелированию может быть реализовано две программы наблюдений.

Первая программа. Наблюдение на станции осуществляются по схеме, при которой отсчеты на наблюдаемую точку (осадочную марку) производятся сразу при двух кругах:

– визирование на исходный пункт (предыдущую марку) и определение горизонта инструмента;

- последовательное визирование на определяемые марки;
- контрольное визирование (замыкание) на исходный пункт Rp1.

Вторая программа. Наблюдение на станции производится сначала по ходу часовой стрелки, а затем против ее хода.

С целью контроля оседания системы «штатив – тахеометр» необходимо производить замыкание горизонта.

Данные программы наблюдений могут быть использованы и при наблюдении за деформационным состоянием инженерных сооружений и применяемого оборудования.

3.6 Технологическая схема определения геометрических параметров подкрановых конструкций инженерных сооружений на подрабатываемых территориях

Выше были рассмотрены методики определения величин и характера смещений подрабатываемых территорий, а также расположенных на них инженерных сооружений. Вместе с тем, п. 4.9 нормативного документа [40] предписывается определять геометрические параметры подкрановых путей мостовых кранов, а также крен колонн и расстояния между ними в продольном и поперечном направлениях.

Однако в данном документе не указываются следующие необходимые требования:

- объем выполняемых измерений;
- требуемая точность и периодичность выполнения измерений;
- величины допустимых деформаций подкрановых конструкций;
- методика выполнения инженерно-геодезических измерений.

С учетом этого объем выполняемых измерений следующий:

- определение крена колонн каждого ряда цеха в продольном и поперечном направлениях (способом коллимационной плоскости или комбинированным);
- определение расстояния между колоннами каждого ряда в продольном и поперечном направлениях;

– определение геометрических параметров подкрановых путей (ширины колеи, их непрямолинейности, высотного положения и зазора между стыками рельсов) [99, 102].

К настоящему времени разработан целый ряд методик по выполнению данных измерений. Методика выполнения измерений заключается в применении для каждого вида работ различных геодезических приборов (тахеометров, нивелиров, теодолитов, рулеток). На стадии строительства инженерного сооружения определяются осадка и крен каждой колонны, а также геометрические параметры подкрановых путей. При эксплуатации ежегодно определяются осадка колонн и геометрические параметры подкрановых путей. На действующем предприятии определение крена колонн связано с определенными трудностями, заключающимися в том, что доступу к колоннам в большинстве случаев препятствует применяемое технологическое оборудование, и поэтому применение традиционных способов измерений крена (коллимационной плоскостью и боковым нивелированием) иногда невозможно. В таких случаях целесообразно применять координатный способ определения крена колонн, реализация которого производится тахеометром. Одновременно также можно определить высотное положение колонн и изменение расстояния между ними вследствие сдвижения земной поверхности под их фундаментами.

Рассмотрим технологические схемы производства инженерно-геодезических работ по определению деформационного состояния колонн (а значит и корпуса инженерного сооружения в целом) и подкрановых путей мостовых кранов.

Определение смещений и крена колонн на нулевой отметке. Для выполнения данного вида геодезических работ необходимо:

- создать внутри инженерного сооружения предлагаемую нами *технологическую наблюдательную станцию* (внутреннее геодезическое обоснование);
- выполнить связь опорных пунктов профильной линии с пунктами *технологической наблюдательной станции*;
- с пунктов *технологической наблюдательной станции* определять расстояния между колоннами, а также их крен в продольном и поперечном направлениях на уровне нулевой отметки в каждом цикле измерений.

Методика создания внутреннего геодезического обоснования выполняется в следующей последовательности. С опорных пунктов A и A_1 профильной линии способом полярной засечки высокоточным тахеометром определяются координаты пункта M (см. рисунок 3.7) с СКО порядка 2,5–3,0 мм. Определить координаты пункта M можно и обратной линейно-угловой засечкой с такой же точностью. В последующем координаты пункта могут использоваться для решения следующих задач:

- для определения величин сдвижения земной поверхности в непосредственной близости инженерного сооружения;
- для передачи координат вовнутрь инженерного сооружения с целью создания внутреннего обоснования и последующего определения деформационного состояния этого сооружения.

При решении первой задачи величина СКО измерения координат пункта M будет влиять на определение величины сдвижения земной поверхности, а также инженерного сооружения в целом, относительно опорных пунктов профильной линии.

При решении второй задачи координаты пункта M будут являться исходными для создания внутреннего обоснования и, следовательно, они не будут оказывать влияния на СКО определения координат этого обоснования.

Для решения второй задачи внутри сооружения на полу намечается и дюбелем с насечкой закрепляется пункт N , а с пункта M способом полярных координат двумя приемами определяются его координаты x , y и H с СКО $m_x = m_y = 2,0 - 2,5$ мм и $m_H = 0,5 - 1,0$ мм. Затем над пунктом N (рисунок 3.10) центрируется тахеометр и способом полярных координат, а также обратным тригонометрическим нивелированием определяются координаты x , y и H марок a , b , c и d первого ряда колонн, заложенных у их основания и наверху (рисунок 3.11).

Затем аналогичным образом определяются координаты X и Y центров всех колонн, которые видны, и пункта N . По окончании измерений на пункте N способом полярных координат определяются координаты пункта K , после чего также определяются координаты центра колонн по осям X и Y (перемещение земной поверхности может происходить в любом направлении).

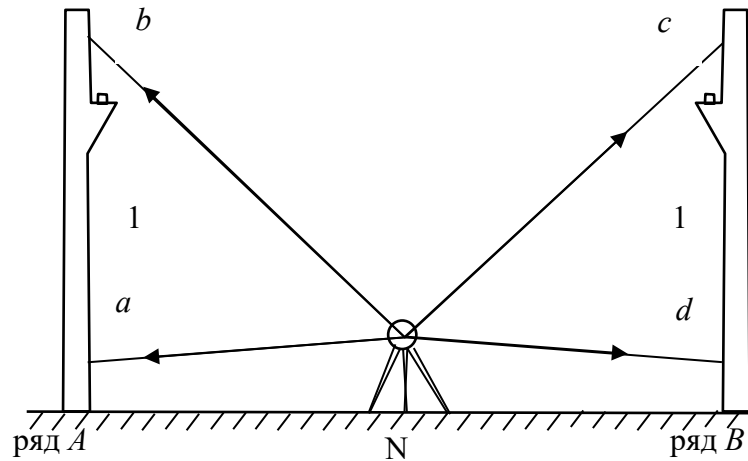


Рисунок 3.10 – Схема определения координат центров колонн с установкой тахеометра по середине инженерного сооружения

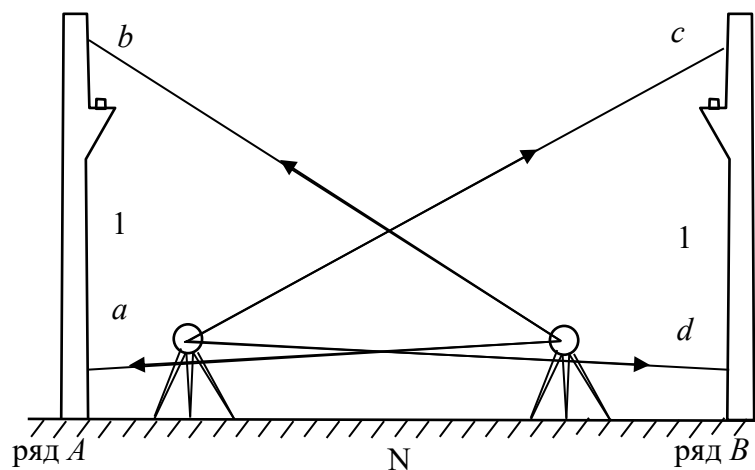


Рисунок 3.11 – Схема определения координат центров колонн с установкой тахеометра в два ряда

В случае применения высокоточных тахеометров величину СКО определения центра колонн способом полярных координат можно найти по формуле

$$m_p^2 = m_l^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 l^2 + m_{ц.р.}^2 + m_u^2 + m_\phi^2, \quad (3.10)$$

где m_s – ошибка измерения расстояния;

m_β – ошибка измерения угла (дирекционного угла);

$m_{ц.р}$ – ошибка за влияние центрирования и редукции;

$m_{и}$ – ошибка исходных данных;

$m_{ф}$ – ошибка фиксации.

Тогда величину СКО определения координат x и y центра колонн по осям X и Y можно определить по формулам (без учета ошибок исходных данных)

$$m_{x_i} = \sqrt{m_s^2 \cos^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S_i \sin^2 \alpha}, \quad (3.11)$$

$$m_{y_i} = \sqrt{m_s^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S_i \cos^2 \alpha}. \quad (3.12)$$

В этом случае при $S_i = 15\text{--}20,0$ м, $m_{и} = 2,0$ мм, $m_s = 2,0$ мм (при измерении расстояний в безотражательном режиме), $m_{ф} = 1,0$ мм, $m_{и.р.} = 2,0$ мм, $m_{\beta} = 2,0''$ получим m_x и $m_y = 2,0\text{--}3,0$ мм. Тогда предельное значение СКО определения координат x и y середины колонн не будет превышать $m = 5,0\text{--}6,0$ мм.

После окончания измерений внутри инженерного сооружения производится привязка хода к опорным пунктам B и B_1 профильной линии.

В результате выполненных измерений получены координаты x и y низа и верха колонн, а также их высотные отметки. На основании полученных результатов вычисляются:

- расстояния и их изменение (деформация) между колоннами по их низу и верху в продольном и поперечном направлениях в каждом цикле измерений;
- изменение высотных отметок низа колонн;
- крен колонн в продольном и поперечном направлениях в каждом цикле измерений.

Принимая СКО определения координат x и y низа смежных колонн инженерного сооружения, равными в среднем $2,0\text{--}2,5$ мм, получим СКО определения расстояния между колоннами порядка $2,5\text{--}3,0$ мм.

Крен каждой колонны также вычисляется по разности их координат низа и верха с СКО $2,5\text{--}3,0$ мм.

Если по технологическим причинам конкретного производства не представляется возможным выполнение измерений с середины цеха, то их можно выполнить по схеме, показанной на рисунке 3.11.

Таким образом, применение обратной линейно-угловой и полярной засечек, а также тригонометрического нивелирования короткими лучами позволяет определить деформационное состояние каждого элемента строительных конструкций (в нашем случае колонн) с СКО не хуже 3,0–4,0 мм (в условной системе координат внутреннего обоснования).

Для определения величины сдвижения всего инженерного сооружения относительно опорных пунктов профильной линии необходимо связать координаты марок инженерного сооружения с этими опорными пунктами.

Определение геометрических параметров подкрановых путей мостовых кранов. Рассмотрим виды деформаций подкрановых конструкций инженерных сооружений, которые возникают на подрабатываемых территориях. Это необходимо для того, чтобы технологическая схема инженерно-геодезических измерений обеспечивала весь комплекс производства работ с учетом влияния смещения земной поверхности. К таким деформациям относятся вертикальные и горизонтальные перемещения строительных конструкций.

Вертикальные перемещения подкрановых путей вызываются неравномерной осадкой фундаментов колонн и, следовательно, прогибом подкрановых конструкций. Горизонтальные перемещения связаны с перемещением фундаментов колонн на нулевой отметке, которые приводят к наклону этих колонн (перемещения фундаментов связано с сдвижением подрабатываемой территории). На уровне верха колонн перемещения практически не происходят, так как они связаны фермами. Поэтому технологическая схема инженерно-геодезических измерений должна включать в себе выполнение измерений по низу и верху колонн, а также на уровне подкрановых путей.

Эксплуатационные величины предельных отклонений размеров и планово-высотного положения рельсовых путей кранов приведены в таблице 3.5 [99, 102].

Применительно к эксплуатации подкрановых путей инженерных сооружений, расположенных на подрабатываемых территориях, необходимо установление класса допусков на допустимые отклонения геометрических параметров. Исходя из этого устанавливается точность выполнения геодезических измерений.

Таблица 3.5 – Эксплуатационные величины предельных отклонений размеров и плано-высотного положения рельсовых путей кранов

Отклонение		Величина предельного отклонения, мм			
Обозначение	Описание	Класс допусков 1	Класс допусков 2	Класс допусков 3	Класс допусков 4
A _{w1}	Отклонение размера колеи (пролета), измеренной по осям рельсов рельсового пути (для кранов мостового типа) в любой точке пути	Для пролетов $S \leq 16 \pm 10$ Для пролетов $S > 16 \text{ м} \pm (10 + 0,25 (S - 16))$	Для пролетов $S \leq 16 \pm 16$ Для пролетов $S > 16 \pm (16 + 0,25 (S - 16))$	Для пролетов $S \leq 16 \pm 25$ Для пролетов $S > 16 \text{ м} \pm (25 + 0,25 (S - 16))$	Для пролетов $S \leq 16 \pm 40$ Для пролетов $S > 16 \text{ м} \pm (40 + 0,25 (S - 16))$
B _{w1}	Отклонение от прямолинейности оси рельса в горизонтальной плоскости в любой точке рельсового пути крана	± 10	± 20	± 40	± 80
E _{w1}	Превышение одного рельса над другим, измеренное в любой плоскости, перпендикулярной направлению рельсового пути крана	± 10	± 20	± 40	± 80

Для инженерных сооружений, расположенных на подрабатываемых территориях, могут применяться подкрановые пути 1, 2, 3-го или 4-го классов допусков. С учетом этого для подкрановых путей необходимо установить (рассчитать) СКО измерения для каждого вида работ.

Расчет выполняется, исходя из общего принципа проведения оценки точности выполнения инженерно-геодезических измерений (предельная ошибка измерений должна быть в три раза меньше допуска, а СКО измерений меньше предельной в

два-три раза). В таблице 3.6 приведены величины СКО для каждого вида инженерно-геодезических работ.

Таблица 3.6 – Величины СКО определения геометрических параметров подкрановых путей

Класс допусков	СКО определения ширины колеи, мм	СКО измерения превышения, мм	СКО определения непрямолинейности, мм	СКО измерения зазоров, мм
1	4,0	5,0	3,0	1,0
2	5,0	6,0	5,0	1,0
3	6,0	8,0	8,0	2,0
4	7,0	10,0	10,0	2,0

Для указанных в таблице 3.6 допусков максимально допустимое значение абсолютной ошибки производства инженерно-геодезических измерений согласно требованиям ГОСТ Р 58943–20 вычисляется по формуле

$$m_{\text{пред}} < 0,4\Delta x, \quad (3.13)$$

где $m_{\text{пред}}$ – максимально допустимое значение абсолютной ошибки измерений;

Δx – допуск на отклонение контролируемого параметра.

Для перехода от предельной ошибки к СКО в зависимости от класса точности возводимого инженерного сооружения (в нашем случае от класса допусков на подкрановые пути) применяются коэффициенты 2,0; 2,5 и 3,0.

Если принять коэффициент перехода от допуска Δx к СКО равным 2,5, то будем иметь

$$m < 0,16\Delta x \quad (3.14)$$

В геодезической литературе, а также в нормативных документах [99, 101, 102] рекомендуется использовать формулу

$$m \leq 0,2\delta, \quad (3.15)$$

где δ – допустимое отклонение контролируемого параметра ($\Delta = 2\delta$).

Из таблицы 3.6 следует, что для подкрановых путей 1-го и 2-го классов допусков обеспечить СКО измерений геометрических параметров координатным способом даже с учетом износа рельсов не будет представлять особых затруднений.

После проведения указанных расчетов, приведенных в таблице 3.6, следует, что данная точность выполнения измерений для всех видов работ может быть обеспечена методикой, которая может быть реализована нивелиром и тахеометром. При этом ширина зазоров может быть измерена штангенциркулем.

На подрабатываемых территориях периодичность выполнения измерений по определению геометрических параметров подкрановых конструкций должна быть связана с изменением геометрических параметров инженерного сооружения. Последний фактор изменяется вместе с изменением геометрических параметров данного инженерного сооружения в целом. Существующая в настоящее время технологическая схема измерений предусматривает только ежегодное определение геометрических параметров подкрановых путей. При этом пространственное положение колонн не определяется, а определяется только в следующих случаях:

- на стадии строительства инженерного сооружения и монтажа подкрановых путей;
- при реконструкции промышленного предприятия;
- при аварийном состоянии подкрановых сооружений.

Применительно к эксплуатации инженерных сооружений на подрабатываемых территориях изменение положения подкрановых конструкций, а также подкрановых путей происходит непрерывно. Следовательно, также необходимо выполнять инженерно-геодезические работы по определению деформационного состояния и колонн.

Поэтому весь комплекс наблюдений за деформационным состоянием инженерных сооружений на подрабатываемых территориях должен составлять следующую систему (последовательность) выполнения инженерно-геодезических измерений: *«сдвижение земной поверхности – смещение фундаментов инженерного со-*

оружения – изменение крена колонн – изменение геометрических параметров подкрановых путей – проведение рихтовочных работ подкрановых путей».

По полученным комплексным результатам делается вывод о деформационном состоянии подкрановых сооружений в целом или отдельных его элементов, а также, при необходимости, составляются мероприятия по проведению ремонтных или восстановительных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертационной работе на основании теоретических и практических исследований решена научно-техническая задача по совершенствованию методики производства инженерно-геодезических работ для определения деформационных процессов на подрабатываемых территориях. В ходе диссертационного исследования были получены следующие основные результаты:

– выполнен анализ существующих способов, методик, средств и нормативной литературы выполнения инженерно-геодезических измерений, предназначенных для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и инженерных сооружений, который показал, что в настоящее время применяемая нормативная литература не отражает в полной мере возможности современных геодезических приборов и методик в части получения требуемой точности измерений с гораздо меньшими трудовыми затратами;

– разработана технологическая схема построения геодезического обоснования для создания координатного пространства на подрабатываемых территориях горно-рудных месторождений и расположенных на них инженерных сооружений, позволяющая обеспечить выполнение инженерно-геодезических измерений с необходимой точностью;

– усовершенствована методика производства инженерно-геодезических измерений с применением современных геодезических приборов для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и находящихся на ней инженерных сооружений, позволяющая повысить мобильность производства работ, требуемую точность и полноту получаемой информации;

– на основании результатов наземного лазерного сканирования выполнено 3D-моделирование процессов, протекающих на подрабатываемых территориях, в частности, в прибортовых массивах и бортах карьеров, которое позволило определить величину и динамику развития в них деформаций;

– выполнено совершенствование методики определения деформационного состояния системы «подрабатываемая территория – инженерное сооружение», кото-

рая позволяет повысить точность и достоверность получаемых результатов инженерно-геодезических измерений;

– проведены апробация и внедрение предложенной методики производства инженерно-геодезических измерений при эксплуатации горнорудного месторождения Кентобе и находящихся на нем инженерных сооружений, которая подтвердила эффективность применения выполненных теоретических и практических разработок;

– поставленные задачи исследований выполнены в полном объеме, разработанная методика выполнения инженерно-геодезических измерений в производственных условиях апробирована, результаты исследований опубликованы.

Результаты исследований рекомендованы к использованию для внесения дополнений в существующую нормативную литературу, регламентирующую точность, цикличность и объем выполняемых инженерно-геодезических измерений на подрабатываемых территориях.

Перспектива дальнейших исследований заключается в продолжении разработок и совершенствовании инженерно-геодезических измерений для определения деформационного состояния подрабатываемых территорий и находящихся на ней инженерных сооружений с применением тахеометров, сканерных и спутниковых технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аврунев, Е. И. Геодезическое обеспечение кадастровых работ / Е. И. Аврунев, С. Р. Горобцов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 211 с. – Текст : непосредственный.
- 2 Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов / В. Н. Долгоносков, П. С. Шпаков, Ф. К. Низаметдинов, С. Г. Ожигин, С. Б. Ожигина, О. В. Старостина. – Караганда : Соната-Полиграфия, 2009. – 339 с. – Текст : непосредственный.
- 3 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. / К. М. Антонович. – Москва : Картгеоцентр, 2005. – 334 с. – Текст : непосредственный.
- 4 Афонин, Д. А. Контроль стабильности пунктов плановой геодезической сети при геодезическом контроле деформаций инженерных сооружений / Д. А. Афонин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 6–11.
- 5 Афонин, Д. А. Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной территории / Д. А. Афонин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2011. – № 9. – С. 16–22.
- 6 Афонин, Д. А. Построение геодезической разбивочной сети, закрепляемой пленочными отражателями / Д. А. Афонин. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – Санкт-Петербург : РИЦ Горного университета. – 2012. – Т. 199. – С. 301–308.
- 7 Багдасарьян, А. Г. К вопросу об изменении устойчивости бортов с увеличением глубины карьера / А. Г. Багдасарьян, В. Н. Сытенков. – Текст : непосредственный // ФТПРПИ. – 2014. – № 1. – С. 75–80.
- 8 Баклашов, И. В. Деформирование и разрушение породных массивов / И. В. Баклашов. – Москва : Недра, 1988. – 271 с. – Текст : непосредственный.
- 9 Барулин, А. И. Интерпретация результатов пространственных инструментальных наблюдений за деформациями нагруженного отвалом борта карьера /

А. И. Барулин, З. Р. Рахимов, А. Ф. Барулин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 8–15.

10 Бесимбаева, О. Г. Анализ точности инструментальных наблюдений / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Н. Г. Бесимбаев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 5. – С. 15–18.

11 Бесимбаева, О. Г. Использование технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров / О. Г. Бесимбаева, Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., 18 июня – 8 июля 2020 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 3 : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью». – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. № 1. – С. 152–160. – DOI 10.33764/2618-981X-2020-1-1-152-160.

12 Бесимбаева, О. Г. Мониторинг деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях / О. Г. Бесимбаева, Г. А. Уставич, Е. А. Олейникова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 82–91.

13 Беспалов, Ю. И. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами / Ю. И. Беспалов, С. Г. Мирошниченко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 12–13.

14 Беспалов, Ю. И. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования / Ю. И. Беспалов, Ю. П. Дьяконов, Т. Ю. Терещенко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.

15 Брайт, П. И. Геодезические методы определения деформаций и сооружений / П. И. Брайт. – Москва : Недра, 1965. – 464 с. – Текст : непосредственный.

16 Ворошилов, А. П. Измерение осадок зданий и сооружений электронными тахеометрами / А. П. Ворошилов. – Текст : непосредственный // Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура. – 2005. – Вып. 3. – С. 37–39.

17 Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. – Москва : Гипроруда, 1989. – 128 с. – Текст : непосредственный.

18 Галустьян, Э. Л. Геомеханика открытых горных работ / Э. Л. Галустьян. – Москва : Недра, 1992. – 272 с. – Текст : непосредственный.

19 Ганьшин, В. Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей / В. Н. Ганьшин, И. М. Репалов. – Москва : Недра, 1980. – 118 с.

20 Ганьшин, В. Н. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов / В. И. Ганьшин, А. Стороженко, Н. А. Буденков – Москва : Недра. – 1981. – Текст : непосредственный.

21 Генике, А. А. О методах метрологического контроля спутниковых координатных определений / А. А. Генике, Л. М. Бланк, В. С. Чудковский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25–29.

22 Генике, А. А. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений / А. А. Генике, Л. М. Бланк. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.

23 ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – Москва : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.

24 Гордеев, В. А. Сопоставление точности геометрического и тригонометрического нивелирования при создании маркшейдерских высотных сетей / В. А. Гордеев, О. С. Раева. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Горный журнал. – 2014. – № 6. – С. 79–84.

25 ГОСТ 21780–2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200049621>. – Текст : электронный.

26 ГОСТ 24846–2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений : межгосударственный стандарт. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 22 с. – Текст : непосредственный.

27 ГОСТ 51872–2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения : постановление от 21.11.2001 № 120. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028666>. – Текст : электронный.

28 ГОСТ Р 51248–99. Пути наземные рельсовые крановые. Общие технические требования. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/380/38034.pdf>. – Текст : электронный.

29 ГОСТ Р 56944–2016. Пути наземные рельсовые крановые. Общие технические требования. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 56 с. – Текст : непосредственный.

30 Григоренко, А. Г. Измерение смещение оползней / А. Г. Григоренко // Москва : Недра, 1988. – 144 с. – Текст : непосредственный.

31 Грищенко, Н. Н. Прогноз деформаций земной поверхности на подрабатываемых территориях с учетом мезорельефа / Н. Н. Грищенко, Е. Б. Блинникова. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 4. – С. 34–38.

32 Грищенко, Е. Н. Математическое моделирование погрешностей лазерного сканирования на наблюдательных станциях тахеометрии / Е. Н. Грищенко, М. Г. Мустафин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 6. – С. 35–40.

33 Грищенко, Е. Н. Математическое моделирование условий съемки наблюдательных станциях методом электронной тахеометрии / Е. Н. Грищенко, М. Г. Мустафин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 5. – С. 49–53.

34 Гуляев, Ю. П. Задачи экологического и деформационного мониторинга / Ю. П. Гуляев, А. И. Каленицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1999. – № 3. – С. 49–53.

35 Гуляев, Ю. П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений / Ю. П. Гуляев. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с. – Текст : непосредственный.

36 Демин, А. М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов / А. М. Демин. – Москва : Недра, 1973. – 232 с. – Текст : непосредственный.

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

38 Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного воздействия горных разработок. – Москва : ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2002. – 20 с. – Текст : непосредственный.

39 Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Санкт-Петербург : ВНИМИ, 1998. – Текст : непосредственный.

40 Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений – Москва : Недра, 1989. – 112 с. – Текст : непосредственный.

41 Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях. – Москва : Недра, 1989. – 96 с. – Текст : непосредственный.

42 Использование сейсмомониторинга для оценки состояния устойчивости прибортового массива / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, Б. А. Бесимбаев. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 146-150.

43 Использование технологии лазерного сканирования для наблюдения за состоянием устойчивости прибортовых массивов / Ф. К. Низаметдинов, Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Н. Ф. Низаметдинов, Е. А. Олейникова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 156–160.

44 Исследование влияния вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами / А. Б. Ашраф, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина, А. Н. Теплых. – Текст : непосредственный // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 123–126.

45 Исследование процесса деформирования прибортового массива Качарского карьера на основе внедрения инновационных технологий / Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Е. А. Олейникова, Е. А. Токкужин. – Текст : непосредственный // Горные науки и технологии. – 2016. – № 4. – С. 10–20. – DOI 10.17073/2500-0632-2016-4-10-20.

46 Каленицкий, А. И. Геодезическо-гравиметрический мониторинг техногенной геодинамики инженерных сооружений / А. И. Каленицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2000. – № 8. – С. 24 – 27

47 Каленицкий, А. И. О развитии многоуровневых построений на геодинамическом полигоне при освоении недр Кузбасса / А. И. Каленицкий, А. И. Соловицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 45–55.

48 Карлсон, А. А. О классификации точного нивелирования короткими лучами / А. А. Карлсон. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1993. – № 6. – С. 11–13.

49 Кафтан, В. И. Определение смещений и деформаций по данным спутниковых наблюдений / В. И. Кафтан, П. А. Докунин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2007. – № 9. – С. 18–21.

50 Комиссаров, А. В. Классификация погрешностей в результатах лазерного сканирования / А. В. Комиссаров. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2015. – № 10. – С. 13–18.

51 Лазерно-цифровые технологии измерений при наблюдениях за состоянием прибортовых массивов карьера / Н. Ф. Низаметдинов, Р. Ф. Низаметдинов, Е. А. Олейникова [и др.]. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 4 (137). – С. 43–48.

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

53 Литинский, В. О. Повышение точности тригонометрического нивелирования в карьерах / В. О. Литинский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1985. – № 3. – С. 22–24.

54 Мазуров, Б. Т. Математическое моделирование при исследовании геодинамики : монография / Б. Т. Мазуров. – Новосибирск : Сибпринт, 2019. – 360 с. – Текст : непосредственный.

55 Методика выполнения нивелирования III и IV классов тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, А. А. Никонов, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, А. С. Горилько. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 7. – С. 2–11.

56 Методические подходы к съемке карьеров лазерно-сканирующими системами. / В. Н. Гусев, А. Н. Нуменко, Е. М. Волохов, В. А. Голованов, М. Ю. Васильев. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2009. – № 4. – С. 19–24.

57 Методические указания по диагностике строительных конструкций производственных зданий и сооружений энергопредприятий. СО 34.21.644. – Москва : СПО Союзтехэнерго, 1986. – 61 с. – Текст : непосредственный.

58 Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости : согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 22.09.2008 № 39. – URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30399772. – Текст : электронный.

59 Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Ленинград : ВНИМИ, 1987. – 116 с. – Текст : непосредственный.

60 Методические указания по наблюдениям за сдвижением горных пород и за подрабатываемыми сооружениями. – Ленинград : М-во угольной промышленности СССР ; Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. институт горн. геомех. и маркшейдерского дела, 1987. – 183 с. – Текст : непосредственный.

61 Михелев, Д. Ш. Координатный метод разбивочных работ / Д. Ш. Михелев, В. А. Шлепы, Ю. Д. Михелев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Маркшейдерское дело. – 2000. – № 1. – С. 17–21.

62 Моделирование устойчивости насыпи золоотвала / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, А. Е. Касымжанова. – Текст : непосредственный // Горные науки и технологии (Россия). – 2023. – № 8(4). – С. 303–312. – DOI 10.17073/2500-0632-2022-11-30.

63 Мониторинг состояния земной поверхности на подрабатываемых территориях / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, В. В. Ефимова, Н. Г. Бесимбаев. – Текст : непосредственный // Тенденции развития науки и образования. – 2016. – № 11-1. – С. 11–14.

64 Мустафин, М. Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта / М. Г. Мустафин. – Текст : непосредственный // Сб. горного информ.-аналит. бюл. – 2008. – № 1. – С. 17–22.

65 Мустафин, М. Г. Оценка вертикальных смещений оснований зданий и сооружений на основе анализа элементов деформационной сети // М. Г. Мустафин, В. Х. Нгуен. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 3. – С. 11–19.

66 Мустафин, М. Г. Применение пространственных моделей объектов при геодезическом мониторинге деформационных процессов / М. Г. Мустафин, А. В. Ковязин. – Текст : непосредственный // Записки горного института. – 2012. – Т. 198. – С. 191–193.

67 Низаметдинов, Ф. К. Наблюдения за бортами карьера на железорудном месторождении / Ф. К. Низаметдинов, Н. Ф. Низаметдинов, Е. А. Олейникова. – Текст : непосредственный // Инновации в технологиях и образовании : сборник ста-

тей XI международной научно-практической конференции, Белово, 27–28 апреля 2018 года. – Белово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2018. – С. 110–112.

68 Низаметдинов, Ф. К. Практика использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров / Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова, А. А. Нагибин. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 272–278. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-1-1-272-278.

69 Никонов, А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины / А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.

70 Никонов, А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины при визировании над разными подстилающими поверхностями / А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 28–33.

71 Никонов, А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров / А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.

72 О выборе местоположения станций лазерного трекера для установки технологического оборудования / Л. Е. Сердаков, Д. Б. Буренкова, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – № 11. – С. 22–25.

73 Обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород баритового месторождения / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, С. П. Оленюк [и др.]. – Текст : непосредственный // Уголь. – 2018. – № 4 (1105). – С. 54–59. – DOI 10.18796/0041-5790-2018-4-54-59.

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

75 Оползни. Исследование и укрепление / Под редакцией Р. Шустер. – Москва : Мир, 1981. – 368 с. – Текст : непосредственный.

76 Оценка устойчивости прибортового массива при обработке выходов угольного пласта / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова. – Текст : непосредственный // Горные науки и технологии. – Москва. – 2018. – №2. – С. 51–57. – DOI 10.17073/2500-0632-2018-2-51-57.

77 Пискунов, А. М. О точности превышений, полученных из тригонометрического нивелирования короткими лучами / А. М. Пискунов, Н. И. Майоров. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1990. – № 1. – С. 12–14.

78 Пискунов, М. Е. Влияние наклона рейки на точность тригонометрического нивелирования короткими лучами / М. Е. Пискунов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1972. – № 3. – С. 9–14.

79 Пискунов, М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений / М. Е. Пискунов. – Москва : Недра, 1980. – 248 с. – Текст : непосредственный.

80 Попов, И. И. Борьба с оползнями на карьерах / И. И. Попов, Р. П. Окатов. – Москва : Недра, 1980. – 239 с. – Текст : непосредственный.

81 Попов, И. И. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов / И. И. Попов, Р. П. Окатов, Ф. К. Низаметдинов. – Алма-Ата, 1986. — 256 с.

82 Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. – Москва : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993. – 104 с. – Текст : непосредственный.

83 Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок / М. В. Курленя, В. Д. Барышников, Л. Н. Гахова. – Текст : непосредственный // ФТПРПИ. – 2012. – № 4. – С. 20–28.

84 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом // Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.

85 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования / Г. А. Уставич, С. В. Демин, Е. Л. Шалыгина, Я. Г. Пошивайло. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2004. – № 7. – С. 6–13.

86 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.

87 РД 07-603–03. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032101>. – Текст : электронный.

88 Решение горно-геометрических задач с использованием программ 3D-моделирования на месторождениях Казахстана / Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Е. А. Олейникова, Н. А. Имранова, Р. В. Синяк. – Текст : непосредственный // 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. 2. – С. 175–180.

89 Руководство по наблюдениям за деформациями оснований фундаментов зданий и сооружений. – Москва : Стройиздат, 1985. – 160 с. – Текст : непосредственный.

90 Рябова, Н. М. Методика исследования влияния рефракции на цифровые нивелиры / Н. М. Рябова, В. Г. Сальников. – Текст : непосредственный // 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.12 – 17.

91 Сальников, В. Г. Совершенствование методики выполнения измерений по программе общего створа / В. Г. Сальников. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 67–75.

92 Симонян, В. В. Анализ смещений оползней / В. В. Симонян. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 33–36.

93 Симонян, В. В. К разработке модели оползневого процесса с целью оценки его последствий для зданий и сооружений / В. В. Симонян, А. Г. Тамразян, А. А. Кочиём. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 4. – С. 53–56.

94 Скрипников, В. А. Построение плановой разбивочной сети с применением спутниковых геодезических приемников (СГП) / В. А. Скрипников. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2001. – № 6. – С. 41–44.

95 Скрипникова, М. А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений / М. А. Скрипникова. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 131–134.

96 СО 153-34.21.322–2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. – Москва : ЦПТИиТО ОРГРЭС, 2005. – 56 с.

97 Соболева, Е. Л. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами / Е. Л. Соболева, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 32 – 36.

98 Совершенствование методики веерообразного тригонометрического нивелирования / Г. А. Уставич, А. В. Никонов, Е. А. Олейникова, И. И. Мезенцев. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021 – Т. 26, № 6. – С. 78–86.

99 СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве СНИП 3.01.03–84. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550965720>. – Текст : электронный.

100 СП 436.132.5800.2018. Свод правил. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов : приказ Министерства строительства РФ

от 05.12.2018 № 787/пр от 2019. 06.06. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/554818840>. – Текст : электронный.

101 СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02–96. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456045544>. – Текст : электронный.

102 СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–67. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097510>. – Текст : электронный.

103 Спиридонов, А. И. Основы геодезической метрологии : производственно-практическое издание. – Москва : Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 248 с. – Текст : непосредственный.

104 Тер-Степанян, Г. И. Геодезические методы изучения динамики оползней / Г. И. Тер-Степанян. – Москва : Недра, 1979. – 157 с. – Текст : непосредственный.

105 Технологическая схема определения геометрических параметров подкрановых конструкций инженерных сооружений на подрабатываемых территориях / Г. А. Уставич, Е. А. Олейникова, И. А. Мезенцев, А. С. Горилько, Е. В. Ситникова, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 14–24.

106 Технология автоматизированного проектирования железных дорог с использованием цифровых и математических моделей местности / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, Р. Р. Ханнанов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 5–16.

107 Тревого, И. С. Тригонометрическое нивелирование в карьерах / И. С. Тревого, В. О. Литинский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1983. – № 1. – С. 41–42.

108 Усанов, С. В. Современные технологии мониторинга процесса сдвижения. / С. В. Усанов, Ю. П. Коновалова, О. Д. Желтышева. – Текст : непосредственный // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 36–39.

109 Уставич, Г. А. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации крупных энергетических объектов / Г. А. Уставич, Г. Д. Костина. – Москва : Недра. – 1983. – 130 с. – Текст : непосредственный.

110 Уставич, Г. А. О совершенствовании технологий нивелирования / Г. А. Уставич. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2005. – № 3. – С. 11–13.

111 Уставич, Г. А. Разработка и совершенствование технологии государственного нивелирования I, II, III и IV классов / Г. А. Уставич, В. Ф. Шаульский, О. И. Винокурова. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 5–11.

112 Уставич, Г. А. Разработка программ наблюдений тахеометром на нивелирной станции способом из середины / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 163–168.

113 Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г. Л. Фисенко. – Москва : Недра, 1965. – 378 с. – Текст : непосредственный.

114 Чанышев, А. И. Построение паспортных зависимостей горных пород в допредельной и запредельной областях деформирования / А. И. Чанышев. – Текст : непосредственный // ФТПРПИ. – 2002. – № 5. – С. 26–31.

115 Численное моделирование по определению возможных обрушений рудовмещающих пород / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, Е. В. Кайгородова, И. С. Иванов. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2022. – № 2 (147). – С. 60–66.

116 Щерба, О. С. Методы тригонометрического нивелирования при маркшейдерских наблюдениях на профильных линиях / О. С. Щерба. – Текст : непосредственный // Вестник ЮУрГУ. Серия. Строительство и архитектура. – 2011. – № 16 (233). – С. 53–55.

117 Ягунов, А. С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / А. С. Ягунов. – Кемерово : Кузбассвуиздат, 2010 – 239 с. – Текст : непосредственный.

118 Ямбаев, Х. К. Высокоточные створные измерения / Х. К. Ямбаев. – Москва : Недра, 1978. – 225 с. – Текст : непосредственный.

119 Assessment and Prediction of Slope Stability in the Kentobe Open Pit Mine / O. G. Besimbaeva, E. N. Khmyrova, F. K. Nizametdinov, E. A. Oleinikova. – Текст : непосредственный // Journal of Mining Science. – 2018. – Vol. 54, No 6. – С. 988–994. – DOI 10.1134/S1062739118065143.

120 The influence of advancing speed of powered mining stope with single face on earth's surface displacing in Kuzbass / A. Renev, S. Svirko, A. Bykadorov, V. Fedorin. – Текст : непосредственный // Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences. – 2017. – Vol. 15. – 01002.