

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

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Новосибирск – 2024

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

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Уставич Георгий Афанасьевич

Официальные оппоненты:

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

Сердаков Леонид Евгеньевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера» Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник сектора 1-31.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (г. Москва).

Защита диссертации состоится 21 мая 2024 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

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

Автореферат разослан 29 марта 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 12.03.2024. Формат 60 × 84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 20.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ

630108, Новосибирск, Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ

630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 подрабатываемых 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 расположенных на них инженерных сооружений с применением указанных при-

боров 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 сооружений 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 сейсмо-

опасных 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, формулируются цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практиче-

ская значимость, устанавливается достоверность результатов исследования, а также приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе рассматриваются существующие технологические схемы осуществления деформационного мониторинга инженерных сооружений. Рассматриваются способы и приборы для выполнения инженерно-геодезических измерений. По итогам выполненного анализа существующих технологических схем мониторинга сформулированы цель и основные научно-технические задачи для выполнения исследований.

Во втором разделе выполнены исследования по совершенствованию методики производства геодезических работ с целью определения деформационного состояния подрабатываемых территорий горнорудных месторождений, а также находящихся на них инженерных сооружений. Для решения этой научно-технической задачи предложено в комплексе использовать методы наземного лазерного сканирования, высокоточного геометрического и тригонометрического нивелирования и линейно-угловые построения для построения геодезического обоснования. На основании анализа изученных методов и применяемых современных приборов, а также анализа производственных материалов и выполненных экспериментальных исследований разработана технологическая схема производства инженерно-геодезических работ на подрабатываемых территориях (рисунок 1).

В разработанной технологической схеме основной технологической процедурой является создание геодезического обоснования (ГО), которое необходимо для построения координатного пространства подрабатываемых территорий (рисунок 2).

Исходной основой для создания ГО являются пункты государственных геодезических сетей (ГГС), координаты которых приведены в государственной системе координат СК42. Учитывая высокую ответственность инженерно-геодезических работ, выполняемых на подрабатываемых территориях, измерения были выполнены с использованием ГНСС-технологий с средней квадратической ошибкой определения взаимного положения пунктов 10–15 мм. Дальнейшее сгущение сети и определение координат бортов карьеров производилось с применением обратной линейно-угловой засечки и способа полярных координат.



Рисунок 1 – Предлагаемая технологическая схема инженерно-геодезических работ при деформационном мониторинге обрабатываемых территорий и расположенных на них инженерных сооружений

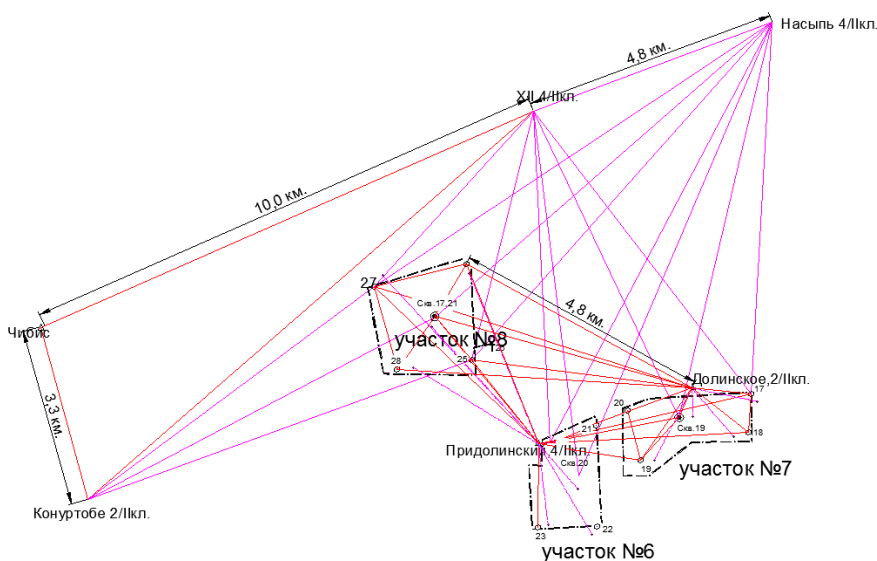


Рисунок 2 – Схема обоснования на карьере Кентобе

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.

Для определения деформационных процессов бортов карьеров в усовершенствованной методике предлагается использовать технологию лазерного сканирования, которая в настоящее время приобретает актуальное значение при мониторинге недоступных и опасных территорий, поверхностей карьеров или их участков, где происходят активные деформационные процессы, обуславливающие возникновение катастрофических ситуаций, и где применение обычных методик наблюдений невозможно.

Для реализации этой технологии второй ступенью ГО являются точки наземного лазерного сканирования (ТНЛС), местоположение которых в первую очередь определяется условиями сканирования всей поверхности карьера с заданными зонами перекрытия. Определение координат ТНЛС осуществляется с использованием тахеометра решением обратной линейно-угловой засечки. Измерения в цикле наблюдений заключаются в определении лазерным сканером облака точек, характеризующего пространственное положение прибортового массива карьера, с дальнейшим его преобразованием в 3D-модель поверхности. Анализ поверхностей между циклами наблюдений выполнялось с использованием программ Maptek I-Site Studio.

Для определения реальной точности сканового изображения и построенной на его основе 3D-модели предлагается выполнять с ТНЛС контрольное координирование характерных точек тахеометром. Расхождение между координатами, полученными из лазерного сканирования, и тахеометром позволяет определить реальную точность определения 3D-модели анализируемой поверхности.

В результате адаптации усовершенствованной методики получена точность определения поверхности бортов карьера 12,0 мм. В этом случае деформация поверхности, определенная в результате сравнения двух циклов наблюдений, будет

считаться значимой при ее превышении величины в 24,0 мм. Интервал времени Δt между циклами наблюдений устанавливается, исходя из скорости развития деформационного процесса и геологических условий подрабатываемой территории. Пример сканового изображения борта карьера приведен на рисунке 3.

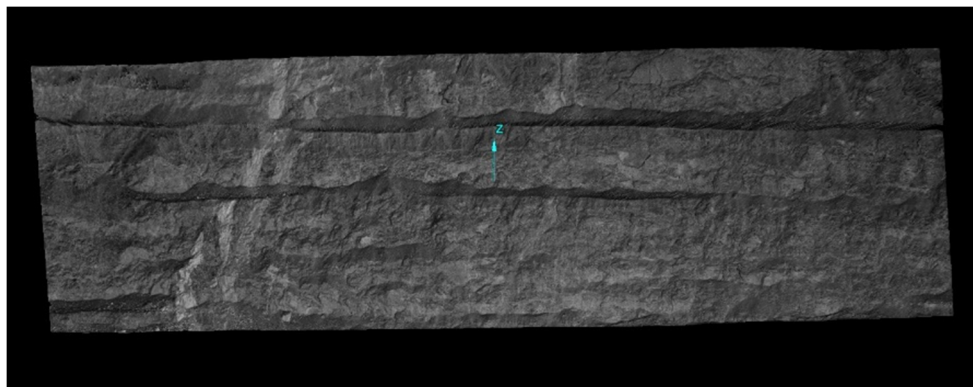


Рисунок 3 – Скановое изображение борта карьера Кентобе

Сравнение двух сканов, полученных через интервал времени Δt , позволяет определить изменение анализируемой поверхности и сделать заключение о наличии на ней деформационных процессов. В рамках усовершенствованной методики эту технологическую операцию предлагается выполнять с использованием программного обеспечения 3DReshaper, результат применения которого на исследуемом участке подрабатываемой территории приведен на рисунке 4.

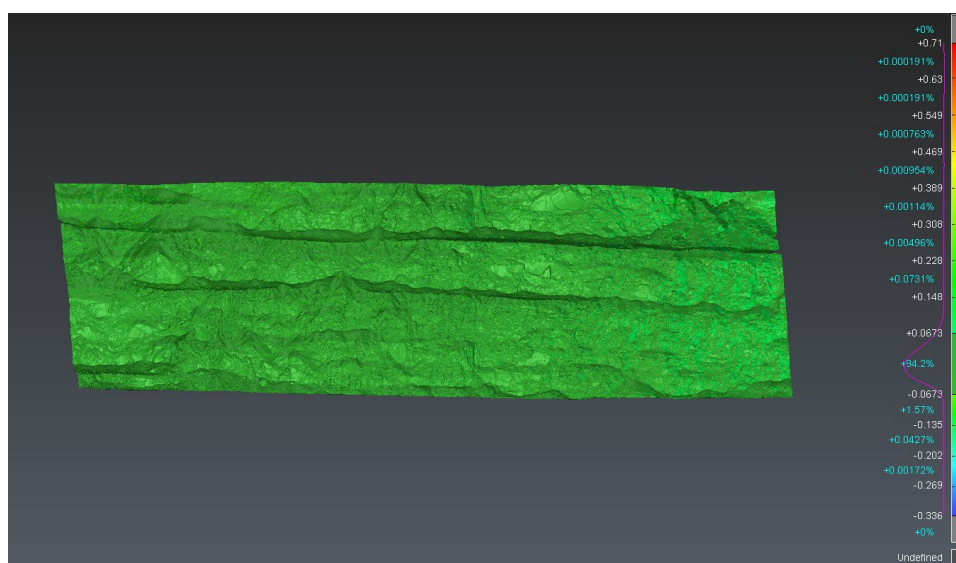


Рисунок 4 – Сравнительный анализ северного борта
в программном обеспечении 3DReshaper

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 %.

Наиболее важными по интенсивности и опасности также являются процессы оседания земной поверхности за счет шахтной подработки и, частично, за счет осушения водоносных слоев при шахтном водоотливе, а также подтопления подработанной территории г. Караганда. Проведение горных выработок влечет за собой изменение состояния массива горных пород, вызывает деформации и перемещения массива пород в сторону выработанного пространства, что обуславливает возникновение и развитие процесса сдвижения, который может оказаться опасным для расположенных на поверхности инженерных сооружений.

Проведение горных выработок влечет за собой изменение состояния массива горных пород, вызывает деформации и перемещения массива пород в сторону выработанного пространства, что обуславливает возникновение и развитие процесса сдвижения, который может оказаться опасным для расположенных на поверхности инженерных сооружений. Поэтому в усовершенствованной методике предлагается уточнить создаваемое координатное пространство в отношении высотной составляющей проложением ходов геометрического нивелирования II класса по исходным пунктам ГГС (см. рисунок 1). Для определения отметок опорных пунктов, расположенных вне зоны развития деформационных процессов, используется геометрическое нивелирование III класса. Одновременно, учитывая высокую ответственность выполняемых наблюдений, в нивелирный ход включаются как ТНЛС, так и характерные точки, расположенные на бортах карьера и его дне. Учитывая высокую технологичность тригонометрического нивелирования, по сравнению с геометрическим, особенно на рассматриваемой подрабатываемой территории, для построения ходов III и IV классов, предлагается использовать именно этот способ определения отметок характерных точек третьей ступени высотного ГО.

С целью выявления изменения величины сдвижения на девяти участках в течение четырех лет проводились систематические инструментальные наблюдения за подрабатываемыми участками земной поверхности. Наблюдения показали

равномерные оседания земной поверхности по мере увеличения площади выработанного пространства при отработке выемочного блока.

Актуальным вопросом для обеспечения безопасности ведения горных работ на карьерах является проведение инженерно-геодезических измерений по определению устойчивости прибортовых массивов и механизма деформирования откосов уступов в виде оползней или локальных обрушений. Для получения полной картины механизма деформирования оползня на исследуемом карьере внедрена технология лазерного сканирования, по результатам которой с помощью программного обеспечения была построена 3D-модель этого участка массива (рисунок 5). На рисунке 6 приведена 3D-модель массива горных пород с низкими прочностными характеристиками. Проведенные в дальнейшем исследования оползневого участка лазерным сканированием и анализ физико-механических свойств горных пород позволили выявить наличие микротрещин отрыва на плане горных работ и выполнить корректировку контура зоны деформирования горного массива.

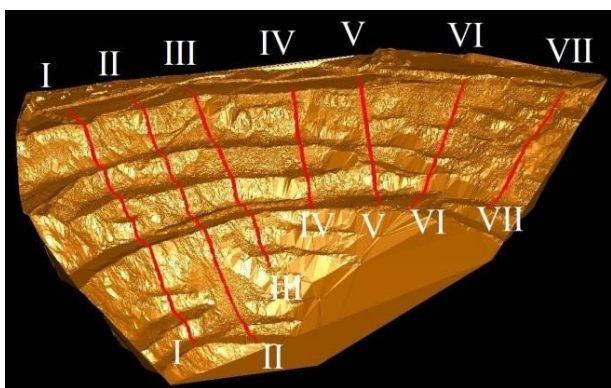


Рисунок 5 – 3D-модель
оползневого массива

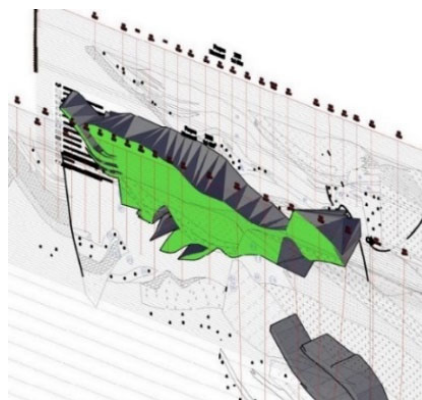


Рисунок 6 – 3D-модель
для горных пород

В третьем разделе рассматриваются вопросы совершенствования методики выполнения инженерно-геодезических работ для определения деформационного состояния инженерных сооружений, расположенных на подрабатываемых территориях. Точность и периодичность инженерно-геодезических измерений назначались таким образом, чтобы полученные результаты удовлетворяли принципу практической уверенности как в самой величине деформаций на момент наблюдений, так и в ее интенсивности, что позволяет, с одной стороны, судить о неизменности изу-

чаемого процесса во времени, с другой стороны – о невозможности потери информации о характере его изменения. При этом величина интенсивности деформаций играет более существенную роль, чем ее абсолютная величина.

Для определений смещений земной поверхности рекомендуется применять тригонометрическое нивелирование III класса короткими лучами, а также веерообразное тригонометрическое нивелирование. При этом может быть реализован целый ряд схем проложения нивелирных ходов. Так, если прокладывается одиночный нивелирный ход (рисунок 7), то с точек установки тахеометра (Rp1, A, B, ..., Rp2) веерообразным способом производится определение высотного положения закрепленных на земной поверхности точек (реперов) 1, 2, 3, ..., 17.

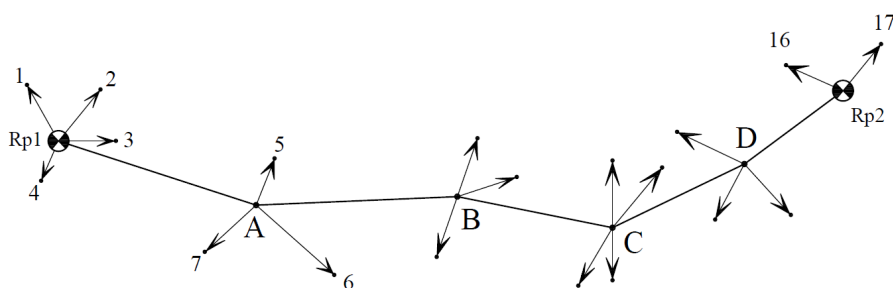


Рисунок 7 – Схема проложения одиночной профильной линии

Из формулы тригонометрического нивелирования

$$m_{\text{взгл}} = \sqrt{m_S^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha + m_{\text{вн}}^2} \quad (1)$$

следует, что при $m_\alpha = 2,0''$, $m_S = 2,0$ мм, $S = 100$ м и $m_{\text{вн}} = 0,5$ мм получим 1,5 мм, а

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

что соответствует точности нивелирования III класса.

Если подрабатываемая территория имеет значительную площадь, то при проложении профильных линий, например, Rp1- Rp2 и Rp3 – Rp4, высотное положение части наблюдаемых точек, расположенных между профильными линиями, например, в данном случае точек 6, 10, и 12, можно для контроля полевых измерений определить дважды (рисунок 8).

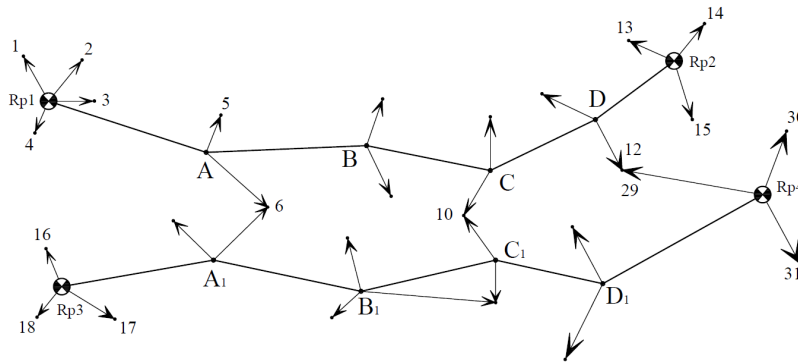


Рисунок 8 – Схема прокладки параллельных профильных линий

Для характеристики степени опасности деформаций наиболее показательна скорость смещения в начальный период активной стадии процесса сдвижения и деформаций. Скрытая стадия развития деформаций – это период от начала развития микроподвижек (микротрещин) в элементах сооружения до появления видимых признаков формирования деформаций. Скорость смещения специально закрепленных точек сооружения к концу скрытой стадии 1–10 мм/сутки. Стадия затухания сдвижения – это период смещения реперов с уменьшающейся скоростью до полного прекращения смещения.

В связи с этим профильные линии и наблюдательные станции, с целью невозможности потери информации о характере деформаций, должны составлять единое целое с геодезическим обоснованием, предназначенным для определения деформационного состояния и динамики развития инженерных сооружений. Так, если скорость смещения осадочных марок на инженерном сооружении не превышает 1,0 мм/сутки и затухает во времени, 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. Так как определяющее влияние на безопасность эксплуатации инженерного сооружения оказывают 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 предложена следующая точность и цикличность выполнения измерений (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендуемая точность и цикличность определений деформаций 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.

На основании проведенных исследований для более детального определения деформационного состояния внутренних конструкций инженерных сооружений и применяемого технологического оборудования целесообразно, в дополнение к специальным наблюдательным станциям, создавать еще и **технологические наблюдательные станции**, предназначенные для наблюдения за строительными конструкциями инженерных сооружений и применяемым технологическим оборудованием. С пунктов технологической наблюдательной станции необходимо определять расстояния между колоннами, а также их крен в продольном и поперечном направлениях на уровне нулевой отметки в каждом цикле измерений. Такие технологические станции располагаются внутри инженерного сооружения (рисунок 9), которые по своей схеме и точности построения соответствуют внутренней геодезической разбивочной (монтажной) сети. В этом случае будет обеспечена требуемая точность определения деформационного состояния конструкций инженерных сооружений, а также применяемого технологического оборудования.

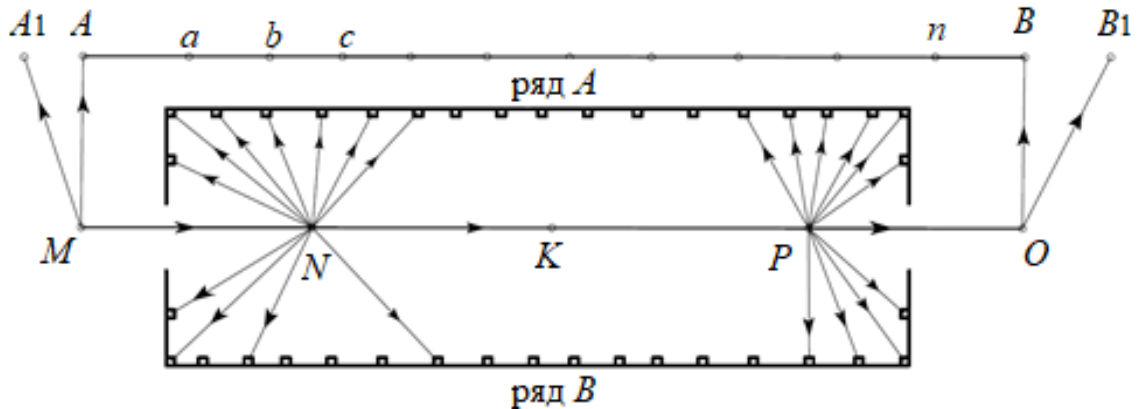


Рисунок 9 – Схема выполнения тригонометрического нивелирования с технологических станций по внутренним маркам

На подрабатываемых территориях периодичность выполнения измерений по определению геометрических параметров подкрановых конструкций должна быть связана с величиной деформаций инженерного сооружения. Поэтому весь комплекс наблюдений за деформационным состоянием инженерных сооружений на подрабатываемых территориях должен составлять следующую систему выполнения инженерно-геодезических измерений: «сдвигание земной поверхности – смещение фундаментов инженерного сооружения – изменение крена колонн – изменение геометрических параметров подкрановых путей – проведение рихтовочных работ подкрановых путей».

Определение крена колонн связано с трудностями, заключающимися в том, что доступу к колоннам в большинстве случаев препятствует применяемое на промышленном предприятии технологическое оборудование. В таких случаях целесообразно применять координатный способ определения крена колонн. Одновременно определяется высотное положение колонн и изменение расстояния между ними вследствие сдвижения земной поверхности под их фундаментами. Для выполнения данного вида геодезических работ необходимо:

- создать внутри инженерного сооружения геодезическое обоснование;
- выполнить связь опорных пунктов профильной линии с пунктами внутреннего геодезического обоснования;
- с пунктов геодезического обоснования в каждом цикле измерений на уровне нулевой отметки определять расстояния между колоннами, а также их крен в продольном и поперечном направлениях.

Методика создания внутреннего геодезического обоснования выполняется в следующей последовательности.

1 С опорных пунктов A и B профильной линии способом полярной засечки высокоточным тахеометром определяются координаты пункта M (см. рисунок 9) с СКО порядка 2,5–3,0 мм. В последующем координаты пункта используются для определения величин сдвижения земной поверхности в непосредственной близости от инженерного сооружения и передачи координат внутрь инженерного сооружения с целью создания внутреннего обоснования.

2 Для определения положения колонн 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 $m_x = m_y = 2,0\text{--}2,5$ мм и $m_H = 0,5\text{--}1,0$ мм.

3 Затем над пунктом N 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 на верху (рисунок 10, a), со СКО $m_x = m_y = 1,5\text{--}2,0$ мм и $m_H = 0,5\text{--}0,7$ мм. Затем аналогичным образом определяются координаты всех колонн, которые видны из пункта N .

4 По окончании измерений на пункте N способом полярных координат определяются координаты пункта K (см. рисунок 9), а затем координаты центра колонн. Тогда величину СКО определения координат x и y центра колонн по осям X и Y можно вычислить по формулам (без учета ошибок исходных данных)

$$m_{xi} = \sqrt{m_s^2 \cos^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S_i \sin^2 \alpha}, \quad (3)$$

$$m_{yi} = \sqrt{m_s^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S_i \cos^2 \alpha}. \quad (4)$$

В этом случае при $S_i = 15\text{--}20,0$ м, $m_n = 2,0$ мм, $m_s = 2,0$ мм (при измерении расстояний в безотражательном режиме), $m_\phi = 1,0$ мм, $m_{и.р.} = 2,0$ мм, $m_\beta = 2,0''$ получим m_x и $m_y = 2,0\text{--}3,0$ мм.

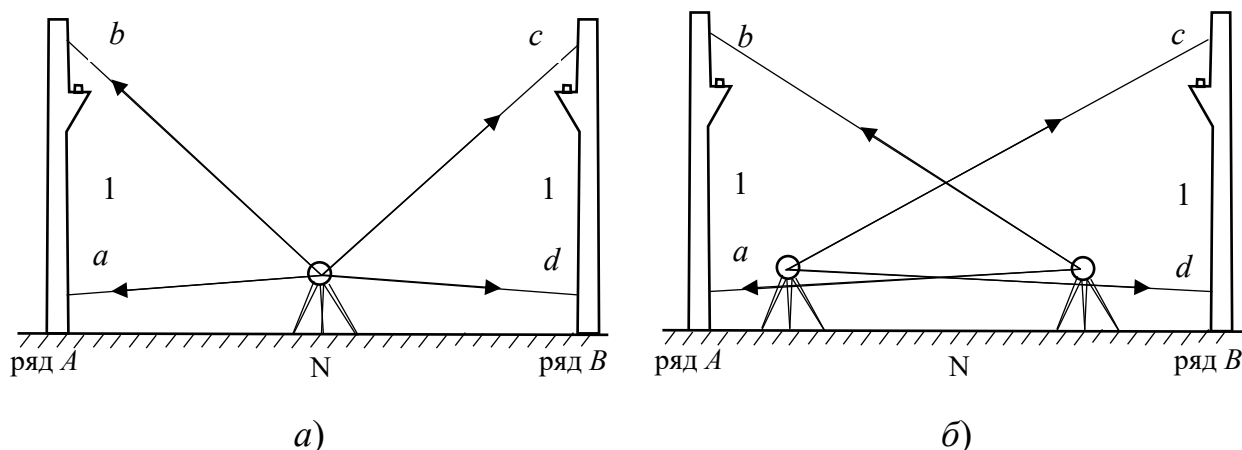


Рисунок 10 – Схема определения координат центров колонн с установкой тахеометра: а) по середине здания; б) в два ряда

Если по технологическим причинам не представляется возможным выполнение измерений с середины цеха, то предлагается их выполнять с установкой тахеометров в два ряда (см. рисунок 10, б).

В связи с тем, что на подрабатываемых территориях также будет определяться геометрия подкрановых путей, то, в зависимости от класса допусков, максимально допустимое значение абсолютной ошибки измерений, согласно требованиям ГОСТ Р 58943–20, необходимо вычислять по формуле

$$m_{\text{пред}} < 0,4\Delta x, \quad (5)$$

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

Δx – допуск на отклонение контролируемого параметра подкрановых путей.

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

$$m < 0,16\Delta x. \quad (6)$$

Выполнение инженерно-геодезических измерений с указанной величиной СКО позволит координатным способом определять деформационное состояние подкрановых конструкций всех классов допусков с необходимой точностью.

Например, для подкрановых путей первого и второго классов допусков СКО измерения ширины колеи будут равны, соответственно, 4,0 и 5,0 мм, а превыше-

ния одного рельса над другим 5,0 и 6,0 мм, что достижимо даже тахеометрами технической точности.

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 горнорудных 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»,

которая 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 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.

2 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.

3 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.

4 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.

5 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.

6 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.

7 Обоснование расчетных прочностных характеристик горных пород баритового месторождения / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, С. П. Оленюк, Е. А. Олейникова, О. В. Старостина. – Текст : непосредственный // Уголь. – 2018. – № 4 (1105). – С. 54–59. – DOI 10.18796/0041-5790-2018-4-54-59.

8 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.

9 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.

10 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.

11 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.

12 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.

13 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.

14 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.

15 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 статей XI международной научно-практической конференции, Белово, 27–28 апреля 2018 года. – Белово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2018. – С. 110–112.

16 Бесимбаева, О. Г. Мониторинг деформаций земной поверхности на обрабатываемых 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 : Меж-

дунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 82–91.

17 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.

18 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.