


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Блищенко Александр Александрович



ФОРМИРОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ
ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КВАДРОКОПТЕРА
ДЛЯ МАРКШЕЙДЕРСКИХ СЪЕМОК НА КАРЬЕРАХ

Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Гусев В.Н.

Санкт-Петербург – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ГОРНОМ ДЕЛЕ	9
1.1 Общая характеристика задач маркшейдерского обеспечения на открытых горных работах ...	9
1.2 Методы выполнения маркшейдерской съемки на открытых горных работах.....	9
1.3 Исследования в области использования БПЛА в горном деле.....	12
1.4 Прогнозный потенциал развития направления применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах	14
1.5 Обоснование необходимости создания методики для применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах	17
1.6 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	20
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КВАДРОКОПТЕРА	22
2.1 Определение основных факторов, влияющих на погрешность маркшейдерской съемки карьеров с помощью геодезического квадрокоптера	22
2.2 Обоснование выполнения практических экспериментов для выявления закономерностей и значимостей факторов ошибки маркшейдерского полета	26
2.3 Описание и определение выполнения эмпирических опытов. Результаты испытаний.....	30
2.4 Формирование математического обоснования полученных эмпирий. Определение выбранных методик математического анализа	36
2.5. Двухфакторный дисперсионный анализ, задачи и результаты	37
2.6 Регрессионный математический анализ, задачи и результаты	45
2.7 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	47
ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ, КАК ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГРЕШНОСТЬ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ КВАДРОКОПТЕРОМ	49
3.1 Генезис погрешностей выполнения маркшейдерских съемок на карьерах с помощью геодезического квадрокоптера.....	49
3.2 Доминантные факторы влияния, их сущность и степень воздействия на погрешность маркшейдерского полета	50
3.3 Рецессивные факторы влияния, их сущность и степень влияния на погрешность маркшейдерского полета	61
3.4 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	68

ГЛАВА 4 ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КВАДРОКОПТЕРА НА КАРЬЕРАХ, КАК РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	70
4.1 Методика применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах.....	70
4.2 Особенности выполнения маркшейдерской съемки при использовании геодезического квадрокоптера.....	99
4.3 Обоснование эффективности и экономические показатели предлагаемой методики маркшейдерского обеспечения в условиях карьера	101
4.4 ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт о внедрении результатов кандидатской диссертации на предприятии	110
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ	124

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Съемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в частности с квадрокоптеров, в горнодобывающей отрасли становится все более востребованной. Данная тенденция объясняется возросшим спросом на потребность оперативности, полноты и точности измерений и расчетов, достаточных для рационального использования и охраны недр, безопасного ведения горных работ, требующих более разумного и перспективного решения выполнения маркшейдерского обеспечения на открытых горных работах. Таким образом, прорыв в развитии БПЛА, который обусловлен резким снижением габаритов и стоимости электронной и конструктивной составляющей данных аппаратов и, как следствие, их применение при решении горных задач оправдывается вызовами к маркшейдерии в настоящее время.

Однако, на данном этапе существования нормативно-правовой базы отсутствуют какие-либо рекомендации, инструкции или стандарты по использованию технологий съемок с БПЛА на открытых горных работах по добыче полезных ископаемых.

Поэтому актуальным будет являться разработка методики, позволяющей осуществлять маркшейдерское обеспечение на открытых горных работах с использованием технологий съемок с БПЛА. При создании методики учитывались инструкции по традиционной аэрофотосъемке, указанные в ранее и ныне действующих документах, при этом исследовалась и принималась в расчет, как специфика выполнения маркшейдерских работ, именно на открытых горных работах, так и особенности, непосредственно, используемого оборудования – геодезического беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера).

Степень разработанности темы исследования.

Развитию технологий маркшейдерского обеспечения при разработке месторождений открытым способом способствовали труды таких учёных, как Попов В. Н., Ворковастов К.С., Столчнев В. Г., Руденко В. В., Бахаева С.П., Гусев В.Н., Колесников В.Ф., Новаковский Б.А., Проноза В.Г. и др. Вопросам маркшейдерского обеспечения с использованием беспилотных технологий посвящены труды таких специалистов, как Коровин Д.С., Хатоум Т.С, Тригер А.Л., Кольцов П.В. и др. Однако, данные научные труды были посвящены пространственно-геометрическим измерениям на угольных месторождениях.

Тем самым, изученность методики использования беспилотных технологий для маркшейдерских съемок на карьерах недостаточно проработана и исследована.

Цель диссертационной работы является создание методики применения геодезического квадрокоптера для маркшейдерских съемок на карьерах для повышения эффективности маркшейдерского обеспечения на открытых горных работах.

Идея работы заключается в разработке регрессионной модели формирования общей погрешности съемки с использованием БПЛА, позволяющей через изменение ее параметров приводить общую ошибку съемки к уровню допустимых для маркшейдерских съемок горных выработок карьеров, которая будет являться основой предложенной методики.

Предмет исследования – маркшейдерская аэрофотосъемка открытых горных работ с помощью БПЛА.

Объекты исследования – карьеры на месторождениях Ленинградской, Псковской и Новгородской областей.

Основные задачи исследований:

– проанализировать опыт применения БПЛА (геодезического квадрокоптера) для геодезических и топографических съемок, оценить опыт использования БПЛА и прогнозный потенциал развития направления по применению геодезических квадрокоптеров для маркшейдерских съемок в условиях карьеров;

– исследовать генезис и систематизировать факторы влияния, оказывающих воздействие на погрешность маркшейдерских измерений при применении квадрокоптера;

– выполнить экспериментальные съемки в полевых условиях, по фактическим материалам которых произвести оценку степени влияния каждого из выделенных факторов на формирование общей ошибки съемки;

– по результатам анализа степени участия внешних факторов на конечное значение погрешности съемки с использованием квадрокоптера получить многофакторную регрессионную модель формирования общей погрешности съемки;

– сформировать методику применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах, учитывающую выявленные закономерности формирования погрешности съемки и обосновать эффективность ее применения.

Научная новизна работы:

– определены три наиболее влияющие на формирование ошибки съемки управляемые внешние факторы и ранжированы по степени влияния следующим образом: высота полета, количество опознавательных знаков и перекрытие снимков;

– определено, что математический алгоритм прогнозирования и управления ошибками, позволяющий оптимизировать параметры полета БПЛА для выполнения маркшейдерской съемки, определения объемов складов и отвалов горных пород, геомеханического мониторинга устойчивости уступов и бортов карьеров следует разрабатывать на основе модели формирования погрешности съемки, полученной по результатам дисперсионного и регрессионного анализов съемочной информации.

– при исключении из полученной модели формирования погрешности съемки фактора влияния опознавательных знаков и компенсационном обеспечении фактора влияния поперечного и продольного перекрытия уровней 75% и 85% и более соответственно, дает возможность получить показатель погрешности съемки, не превышающий допустимых значений для открытых горных работ.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– по результатам дисперсионного и регрессионного анализов получена модель, отражающая механизм формирования общей ошибки съемки с БПЛА и степень участия каждого из внешних факторов в ее образовании.

– разработан математический алгоритм прогнозирования и управления ошибками, позволяющий оптимизировать параметры полета БПЛА для выполнения маркшейдерских съемок и предложить методику съемки карьеров.

Результаты исследований внедрены в маркшейдерском отделе ООО «Карьерпроект», г. Санкт-Петербург, что подтверждается соответствующим актом (утвержден генеральным директором ООО «Карьерпроект» Музыкиным М.Г. от 30.04.2022 г., Приложение А).

Методология и методы исследования.

Методологической и теоретической основой диссертационного исследования послужили труды зарубежных и отечественных ученых в области изучения возможностей применения БПЛА для геодезических и топографических съемок, для маркшейдерских съемок карьеров. В процессе исследования были использованы следующие методы: систематизация внешних факторов, оказывающих влияние на погрешность съемки с БПЛА горных объектов карьеров; методы математической статистики (факторный дисперсионный анализ, корреляционный анализ) для обработки и обобщения фактического материала результатов экспериментальных съемок в полевых условиях; программные методы автоматизации планирования съемок в пределах допустимых погрешностей; методы индукции и дедукции.

Положения, выносимые на защиту:

1. В результате дисперсионного анализа по выявлению степени влияния внешних факторов, управляемых и неуправляемых оператором БПЛА, на формирование ошибки съемки установлено доминирующее влияние управляемых факторов: высота полета, количество опознавательных знаков и перекрытие снимков, что необходимо учитывать при создании регрессионной модели формирования общей ошибки съемки.

2. Математический алгоритм прогнозирования и управления ошибками, позволяющий оптимизировать параметры полета БПЛА для выполнения маркшейдерской съемки, определения объемов складов и отвалов горных пород, геомеханического мониторинга устойчивости уступов и бортов карьеров следует разрабатывать на основе модели

формирования погрешности съемки, полученной по результатам дисперсионного и регрессионного анализов съемочной информации.

3. При исключении из полученной модели формирования общей ошибки съемки фактора влияния опознавательных знаков, как трудоемкого и времязатратного в полевом процессе, при условии соблюдения требований допустимых погрешностей съемки для открытых горных работ, надлежит обеспечить фактор влияния поперечного и продольного перекрытия уровнем 75% и 85% и более, соответственно.

Обоснованность и достоверность результатов исследования подтверждается корректной и четкой постановкой целей и задач исследований, планированием экспериментальных съемок, большим объемом полученной съемочной информации, использованием для ее обработки математического аппарата дисперсионного и корреляционного анализов. Полученные результаты согласуются с рекомендациями заводоизготовителей БПЛА, с оценками специалистов маркшейдерских служб карьеров и внедрены в маркшейдерском отделе ООО «Карьерпроект» (г. Санкт-Петербург).

Апробация диссертационного исследования проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- Международная научно-практическая конференция на базе ТУ «Фрайбергская горная академия» (Германия, 2019 г.);
- XXX Международная научно-практическая конференция «Российская наука в современном мире» (г. Пенза, 2019 г.);
- «International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (FarEastCon2020)» (г. Владивосток, 2020 г.);
- Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021» (г. Москва, 2021 г.);
- IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «ГЕОКА» (г. Санкт-Петербург 2022 г.).

Личный вклад автора заключается:

- в организации экспериментальных испытаний на месторождениях песков, песчано-гравийного материала и известняков Ленинградской и Псковской областей, а также на торфяных месторождениях Новгородской области.
- в проведении математических анализов взаимодействия факторов влияния между собой и на конечную математическую погрешность маркшейдерских измерений с использованием БПЛА.

– в разработке математической модели определения параметров и условий проведения маркшейдерской аэрофотосъемки, исходя из задачи ее выполнения и погрешности маркшейдерской съёмки.

– в разработке алгоритмического и программного обеспечения для оценки конечного результата маркшейдерской съемки при разных условиях и исходных параметрах полета.

– в составлении методических рекомендаций по выполнению маркшейдерских измерений на открытых горных работах с помощью геодезического квадрокоптера.

Публикации.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 1 статье - в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в котором должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство на программу для ЭВМ.

Структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка, включающего 128 литературных источников, изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц, 18 рисунков.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю профессору В.Н. Гусеву за помощь в определении общей идеи работы и направления исследований, коллективу кафедры маркшейдерского дела и кафедры инженерной геодезии, в частности доценту А.П. Санниковой, за ценные замечания и внимание к работе.

Автор благодарит руководство ООО «Карьерпроект», в частности генерального директора М.Г. Музыкаина, главного инженера проекта И.П. Виноградова и главного маркшейдера Т.С. Киселеву за помощь в организации и выполнении опытов на горных объектах и обеспечении маркшейдерским оборудованием.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

1.1 Общая характеристика задач маркшейдерского обеспечения на открытых горных работах

В настоящее время по статистическим данным открытыми горными работами в России добывают более 2/3 всех полезных ископаемых. Широкое распространение такого способа добычи объясняется целым рядом достоинств, присущих открытому способу разработки по сравнению с подземным. С учетом развития технического прогресса и акселерации динамичности процессов горных работ, повышаются требования к их маркшейдерскому обслуживанию: увеличение производительности, точности и актуальности.

Главными маркшейдерскими задачами для обеспечения карьеров, как совокупностей горных выработок, образованных при добыче полезного ископаемого открытым способом, заключается производство съемок для создания графической документации горных предприятий. Маркшейдерская служба обеспечивает оптимальные и рациональные решение практических задач при проектировании, строительстве, эксплуатации, и консервации (ликвидации) горного предприятия. В особенности значительна роль маркшейдера, как одного из ключевых инженеров на открытых горных работах, в составлении графических планов; осуществлении контроля ведения горных работ в соответствии с проектами и правилами безопасности; выполнении постоянного контроля полноты извлечения полезного ископаемого, осуществлении наблюдения за сдвигами и деформациями горных пород; участии в планировании годовых и перспективных планов развития горных работ; выполнении учета движения балансовых и промышленных запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Развитию научных материалов и сведений о маркшейдерском обеспечении при разработке месторождений открытым способом способствовали труды таких ученых, как Бахаева С.П., Гусев В.Н., Бабаев С.Н., Кольцов П.В., Коровин Д.С. и др. [9-12, 42, 72, 73, 79-82, 88-90, 102, 105, 111-114].

1.2 Методы выполнения маркшейдерской съемки на открытых горных работах

Маркшейдерские работы в условиях карьеров, в первую очередь, выполняются с соблюдением установленных требований по безопасному производству горных работ [83, 109, 110]. При производстве маркшейдерских работ обеспечиваются полнота и точность измерений и расчетов, достаточных для рационального использования и охраны недр, безопасного ведения

горных работ. Для возможности выполнения этих условий применяются маркшейдерские приборы, парк которых постоянно расширяется и модернизируется. [14, 23, 43-46]

Определенным маркшейдерским задачам соответствуют дефинитивные приборы, методы и способы их выполнений. В целях уменьшения трудоемкости и времязатратности выполнения процессов маркшейдерского обеспечения применяются комбинированные и гибридные методы измерений, инструментами которых являются различные маркшейдерские приборы, используемые одновременно. [107]

Тем не менее, в настоящее время наиболее распространенным в условиях карьеров остаются применение тахеометров, выделяющихся среди иных маркшейдерских приборов своей функциональностью и универсальностью. Тахеометр, как прибор маркшейдерских измерений, используется в целях съемки ситуации, выноса геометрических проектных горных элементов, наблюдения за сдвижением и деформациями толщ горных пород.

За последние годы системы спутникового оборудования прочно вошли в маркшейдерскую практику во всем мире и широко используются при обеспечении горного процесса. Основное назначение GNSS (Global Navigation Satellite System) систем заключается в создании опорного маркшейдерско-геодезического обоснования и для детальных съемок на горных предприятиях. Применение спутниковых геодезических систем позволяет повысить производительность полевых и камеральных работ, тем самым улучшить качество маркшейдерского обслуживания горного предприятия. Стоит отметить, что спутниковое оборудование с учетом своего принципа работы, заключающегося в работе под «открытым небом», стало незаменимым средством измерения маркшейдера в обеспечении открытых горных работ.

Геометрия карьеров месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом, располагает к использованию оборудования, имеющего уникальные функциональные возможности выполнения маркшейдерских измерений на больших площадях и на значительных расстояниях. Примером такого прибора может являться ЛСС (лазерно-сканирующая система) – съемочная система, измеряющая с высокой скоростью и регистрирующая соответствующие направления до поверхности объекта с последующим созданием трёхмерного изображения в виде облака точек.

Специфичность лазерно-сканирующих систем объясняется определенной методикой измерений, отличающейся автоматизированными компонентами съемки, уменьшающими время полевых работ и подталкивающими специалистов к достижению компетенций и обретению квалификации в сегменте обработки результатов маркшейдерских измерений – в камеральной обработке. Помимо маркшейдерской точности, профессиональных навыков специалистов в умении применения разных инструментов парка приборов и, в конечном итоге наличие этих

самых приборов в маркшейдерской службе, уже не ключевые сегменты для выполнения маркшейдерского обеспечения карьеров.

В современном мире, при нынешнем прогрессе процессов добычи полезных ископаемых на горных предприятиях, выбор маркшейдерских приборов объясняется главным образом факторами производительности и экономической целесообразности. Например, при маркшейдерском обеспечении месторождений общераспространённых полезных ископаемых, специфически отличающихся своими чаще всего небольшими геометрическими размерами, рационально использовать тахеометр (при итеративных съёмках), GNSS-оборудование. Использование лазерно-сканирующих систем на открытых горных работах такого типа полезных ископаемых достаточно редкое явление, однако, есть определенная линейка ЛСС, рациональных для эксплуатирования (лазерно-сканирующие системы фазового метода съёмки).

Наглядным примером дилеммы выбора соотношения маркшейдерского прибора к детерминированному диапазону геометрического размера объекта открытых горных работ является БПЛА (беспилотный летательный аппарат). Маркшейдерское обслуживание золотых приисков, угольных разрезов и рудных карьеров все чаще выполняется при помощи беспилотной технологии самолетного типа. Их преимуществом является совершенная фотоаппаратура, форма и габариты конструкции самолета, т.е. тех факторов, определяющих необходимое качество маркшейдерской съёмки для горного объекта большой площади.

Утилитарное геометрическое обеспечение карьеров небольших размеров (например, общераспространенных полезных ископаемых), может осуществляться геодезическими квадрокоптерами, в полную меру соответствующих и подходящих для выполнения маркшейдерских задач.

Потенциал и перспектива применения БПЛА в горном деле, в частности на открытых горных работах, постоянно подтверждается естественным образом, так как данный прибор маркшейдерского обеспечения уже стал настоящим незаменимым инструментом для специалиста. Таким образом, благодаря значительным преимуществам, в первую очередь, уменьшением времязатратности и трудоемкости полевых работ, применение геодезических квадрокоптеров и других беспилотных технологий направляет вектор отрасли маркшейдерского дела на открытых горных работах в сферу фотограмметрии и IT-технологий.

Маркшейдерская съёмка с помощью геодезического квадрокоптера требует от специалиста особых знаний в области фотограмметрии и горного дела, в свою очередь, камеральная обработка маркшейдерского полета требует компетенций работы со специальным программным обеспечением и подготовленности в области информационных технологий и некоторого понимания юридических аспектов в сфере законов о воздушных судах.

1.3 Исследования в области использования БПЛА в горном деле

Чаще всего технологии, имеющие перспективную специфику функций и теоретические и практические особенные характеристики, формируются и развиваются в военной сфере. При редуцировании и упрощении конструктивности и их функциональной доступности, данные технологии приобретают гражданские пути прогресса и их использования в процессах повседневной жизни общества. Беспилотные технологии не стали исключением и являются одним из самых логичных представителей приведенной цепочки этапов технической эволюции.

Бурное развитие БПЛА в армии получили благодаря их преимуществам перед традиционной пилотируемой авиацией. Прежде всего, это значительно меньшая стоимость производства и эксплуатационных расходов в сравнении с боевыми самолетами. Также немаловажным фактором является практически полная безопасность для оператора. Отсутствие риска для квалифицированных специалистов уменьшает потери личного состава и сохраняет военный потенциал армейской авиации в целом.

В гражданском секторе общества беспилотные технологии стали применяться по причине беспрецедентного удобства технологического процесса использования и экономической целесообразности применения, однако, учитывая их специфику в определенных сферах. Говоря об использовании БПЛА в горном деле и смежных разделах деятельности ученых и практикующих специалистов, стоит указать на начало их применения, где они представляли собой аппараты, проводящие только лишь разведку местности для общего понимания ситуации поверхности без каких-либо вычислительных и камеральных процессов.

Таким образом, старт функционального применения беспилотной технологии относится к общей географической сфере применения. Каждая этапность процесса развития использования беспилотников сопровождалась научными исследованиями, объясняющими и представляющими их возможности и рациональности ресурса инициализации.

О применении беспилотных аппаратов при выполнении топографических работ, кадастровой деятельности, являющихся сегментарными частями общей науки геодезии, проводили исследования и повествовали Алябьев А.А., Карпович М.А., Горбачева А.А., Оприцова О.А. и др. [3, 30, 78] В трудах этих ученых и практиков уже представлялись первоначальные методики выполнения измерений с помощью БПЛА, их применение условно претерпело бифуркацию на полевые и камеральные работы, что уже было конвенционализмом беспилотной технологии как маркшейдерского оборудования.

Со временем беспилотная технология, как инструмент выполнения инженерных задач в области геодезии, плотно заняла свою нишу. Подъем развития конструктивных новинок, уменьшение размеров и форм при аугментации функциональных ресурсов, атрибуты которых также претерпевали дилатацию, привело к возникновению классификации БПЛА, появлению

всяческих методик проведения измерений в зависимости от вида выполнения требуемой задачи. Об использовании беспилотной технологии в сфере инженерно-геодезических изысканий также повествовали ученые и практики [121, 130, 131].

Процесс эволюции использования БПЛА коснулся практически всех сфер инженерного дела: от измерения линейных объектов до дендрологических исследований лесных массивов. Таким образом, широкое распространение беспилотной технологии, в частности в геодезии, не могло обойти стороной маркшейдерское дело.

Маркшейдерское обеспечение горных работ – процесс достаточно трудоемкий, требующий высококвалифицированных кадров, дорогостоящего оборудования и специализированного программного обеспечения. При проведении открытых горных работ требуются решения различных маркшейдерских задач: мониторинга работ, картирования, а также оценки объемов горных выработок и отвалов. При практическом применении оказалось, что с этими вопросами открытых горных работ БПЛА справляется на должном уровне. Беспилотные технологии незаменимы для съемки приисков, разрезов и карьеров, с их помощью маркшейдерские работы выполняются с минимизированным процессом полевых работ, но необходимы специфические навыки и знания для выполнения камеральной процедуры обработки полученных данных.

Основополагающим вопросом применения БПЛА на открытых горных работах является выбор оптимального вида технологии, которая в основном подвергается бифуркации по принципу возможности охвата дефинитивной площади горного объекта. Самолетная беспилотная технология – типа «крыло», рационально применяется при выполнении маркшейдерских задач, а именно съемки актуальной ситуации поверхности, на больших площадях (прииски, угольные разрезы, карьеры кимберлитовых трубок и др.). Мажоритарным представителем сегмента рынка разработок и производства беспилотных летательных аппаратов типа «крыло», а также программного обеспечения для обработки результатов и создания трехмерной визуализации является российская группа компаний «Геоскан».

Выполняя маркшейдерскую съемку на месторождениях малых геометрических размеров (например, карьеры по добыче общераспространенных полезных ископаемых), чаще всего используется геодезический квадрокоптер, имеющий меньшие конструктивные размеры по сравнению с «крылом», но в полной мере выполняющий инженерные задачи по выполнению маркшейдерской съемки карьеров, соответствующей современным требованиям по точности. В сегменте коптеров, т.е. беспилотных технологий малого сегмента, на данный момент самым распространенным являются продукты китайской компании SZ DJI Technology Co., Ltd, – пионера и лидера рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), инноватора на рынке летающих дронов, контроллеров для БПЛА и оборудования для стабилизации видеосъемки.

Все проведенные исследования в данной научной работе будут являться результатом маркшейдерских съёмок, выполненных геодезическим квадрокоптером представленной компании, а именно Phantom 4 Pro V2.0, коптер, завоевавший значительную долю конгломерации их применения в сфере измерения малых площадей.

Применение геодезического квадрокоптера значительно экономичнее и быстрее наземных методов. А результаты по точности близки к валидности лазерного сканирования. Мониторинг карьеров и разрезов с использованием беспилотной технологии повышает безопасность и эффективность работ, увеличивает их точность, при этом снижая стоимость и трудозатраты.

Подтверждением явной доминантности БПЛА (геодезического квадрокоптера) в горной области, в частности в маркшейдерском секторе, имеющей экстенсивный и интенсивный аскелеративный характер, имеют место быть декларации многих ученых и практиков, описывающих существенный вклад беспилотных технологий, как маркшейдерского прибора, в сфере открытых горных работ. Научные труды Бахаева С.П., Бабаева С.Н., Оника С.Г., Корецкая А.Г. [14, 26, 56 76, 77] и других способствуют популяризации перцепции применения БПЛА в горной отрасли, отражая действительные преимущества данной технологии по сравнению с наземными классическими методами и способами маркшейдерских измерений.

1.4 Прогнозный потенциал развития направления применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах

Приборы, используемые при классических методах съемки (тахеометр, спутниковое оборудование, лазерно-сканирующие системы), имеют свои пути развития, заключающиеся в значительном прогрессе, выраженном в улучшении конструктивных особенностей и функционального разнообразия, что несомненно приводит к более актуальным и точным результатам выполнения маркшейдерских задач. Однако, применение таких приборов имеет риск получения искаженного результата из-за человеческого фактора, вероятность возникновения которого может привести к случайной ошибке, которая в свою очередь при определенной последовательности и продолжительности работы может обрести систематический характер. Данный инцидент, появляющийся в процессе полевых работ, будет иметь негативное влияние на камеральную обработку данных, и даже возможно не будет замечен специалистом.

Предотвращение ошибок при выполнении маркшейдерской съемки может достигаться за счёт уменьшения времязатратности и трудоемкости полевых работ, их максимальной автономности. Логично предположить, что уменьшение участия специалиста в процесс маркшейдерской работы или его делегирование на прибор измерения, прямопропорционально

возможному потенциальному количеству ошибок, человеческой природы возникновения, в предположительный отрезок времени. Таким образом, сокращая время – исчезают потенциальные ошибки маркшейдера. Касаемо уменьшения ошибок в процессе маркшейдерской съемки, а именно при камеральной обработке достигается путем использования программных продуктов, демонстративно и заблаговременно фиксирующих гипотетические отклонения от правильности выполненной работы.

Цифровые модели поверхности, получаемые с помощью беспилотной технологии (рисунки 1.1-1.2), намного подробнее моделей, построенных по наземным съемкам (рисунок 1.3). Они создаются в виде имитации снимаемого горного объекта с сантиметровым пространственным разрешением. Преимущества геодезического квадрокоптера на открытых горных работах приводит к экспансии их использования маркшейдерами.

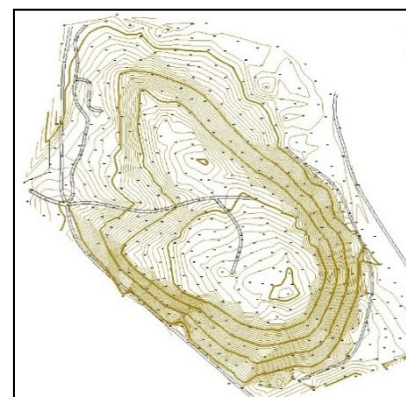
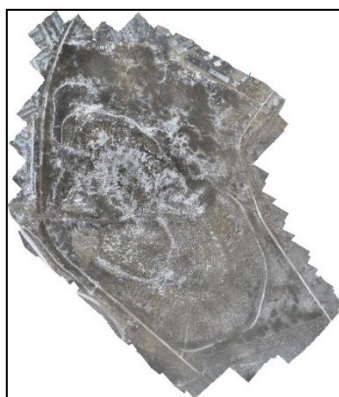
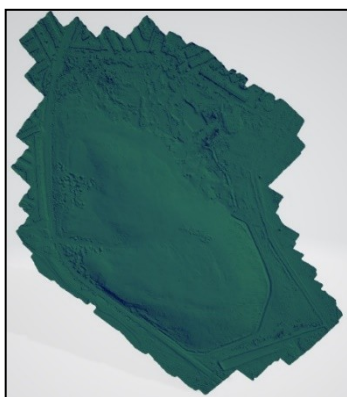


Рисунок 1.1 – 3D-модель отвала

Рисунок 1.2 – Ортофотоплан отвала

Рисунок 1.3 – Топографический план

Применение дронов на карьерах имеют приоритетные преимущества относительно маркшейдерских приборов наземного обращения:

1) абсолютная подготовка маркшейдерской съемки, учитывающая характер снимаемого горного объекта, погоду и другие факторы влияния;

2) аподиктическое построение маршрута маркшейдерского полета коптера, воспроизведение которого исключает те или иные трудоемкие действия специалиста за исключением наблюдения и контроля выполняемого измерения;

3) автономность процесса полевых работ от взлета до посадки, сопровождаемое полным отсутствием физического влияния специалиста при условии валидности процесса маркшейдерского измерения;

4) автоматизированное накопление данных маркшейдерской съемки, представляемые собой набор фотографий, файлы сведений центров фотографирования и информацию ближайшей базы спутникового оборудования, – ее «сырые» статические материалы и навигационные показания передачи эфемерид спутников;

5) реальное и существенное сокращение времени выполнения полевых работ, которое влечет за собой минимизирование появления ошибок измерения и, как итог, аберрацию процесса полета;

6) возможность проверки правильности и полноты выполненной маркшейдерской работы на текущий момент (корректность получения цельности и комплектности данных маркшейдерского измерения);

7) отчетливость индикации отклонений набора информации маркшейдерского полета сразу по завершению полевых работ;

8) выполнение камеральной обработки материалов маркшейдерской съемки исключительно при условии полного набора исходных данных;

9) прикладное программное обеспечение для обработки результатов полета, имеющее характер обособленности процессов их формализации;

10) быстрое получение погрешностей выполненной маркшейдерской съемки на камеральном этапе процесса заданной работы;

11) функциональная возможность ограниченного уменьшения погрешности полета за счет корректировок и поправок набора исходных данных.

Применение беспилотных технологий, в частности геодезических квадрокоптеров для выполнения маркшейдерских задач имеет колоссальный потенциал развития, как и другие современные маркшейдерские приборы. Однако, БПЛА, как относительно новый представитель парка приборов, имеет разнохарактерный путь эволюции и континуитета.

Магистральные курсы совершенствования геодезического квадрокоптера заключаются в анализе, изучении и попытках достижения прогресса в аспекте навигационной составляющей технологии; генерации и создании принципиально новых рациональных видов конструктивных форм и размеров компонентов устройства самого дрона, а также сбора данных и структурировании корреляционных функциональных зависимостей выполняемых измерений относительно от внешних факторов влияния и заданных параметров полета.

В настоящее время исследования в области локационных и целеполагающих систем, включающих в себя изучения процесса семиотики управления дроном в определенном пространстве передвижения, ведутся научными деятелями: Коровиным Д.С., Ожигиным Д.С., Оником С.Г. и др. [8, 56, 76, 77, 126]. Декларируемые материалы представляют собой теоретическое обоснование и практическое применение методов управления дроном, маршрутизация, выбор оптимального пути следования объекта в пространстве с учетом изучения связи коптеров как с пультом управления, так и их связь и контакт со спутниковыми системами навигации различных группировок космических аппаратов.

Конструктивные особенности дронов имеют типичный путь совершенствования, присущий подобным технологиям – уменьшение размеров с целью понижения величины веса, повышения удобства и практичности, и возможности использования в труднодоступных местах или иных ограниченных условиях. Одними из последних авангардных примеров таких геодезических коптеров являются DJI Mavic Air Fly и Parrot Anafi. Однако, есть примеры создания измерительных дронов, имеющих крупный размер, и при это обладающих возможностью иметь больше полезной нагрузки, что, в конечном итоге, оптимизирует время его полета за счет увеличения количества и/или качества аккумуляторов и способность иметь на своем борту модернизированную аппаратуру аэрофотосъемки. Геодезические коптеры типа DJI Matrice различных модификаций по своим характеристикам приближаются к некоторым моделям беспилотной технологии типа «крыло». Анализ, набор экспериментов и разъяснение экспертных предположений в сфере конструкции и геометрических параметров дронов ведут ученые и практики – Аржанов Е.П., Лаврова Н.П., Раков Д.Н. и др. [6, 67, 86, 87]

Однако, в данном исследовательской работе предполагается, что основным перспективным направлением изучения дронов является прикладное исследование зависимостей и связей между погрешностями маркшейдерских измерений и, как следствие, результатом и внешних факторов влияния на выполняемую съемку, заключаемые как в заданных регулируемых оператором параметрах полета, так и в его условиях: погода, время суток и др.

По действительным и рациональным причинам, трудно переоценить важность и фундаментальность изучения приведенных закономерностей. Их валидная точность и строгость обоснования анализа является генезисом и преамбулой к формированию методики выполнения маркшейдерских измерений с применением геодезических квадрокоптеров. Эксперименты и итоговые гипотетические представления и выводы, сделанные по их результатам, смогут привести к повышению точности выполнения измерений, одновременно, учитывая практическую составляющую, являющуюся самым важным элементом потенциальной методики для маркшейдеров и других специалистов.

1.5 Обоснование необходимости создания методики для применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах

Нередким явлением в сфере науки и практики производства является рассинхронизация новых технологий и их регламентационного урегулирования, нормативного обоснования. Геодезический квадрокоптер и его применение на открытых горных работах не стали исключением. Данная ситуация является причиной возникновения определенных проблем

юридического характера, которые должны быть урегулированы «Воздушным кодексом Российской Федерации» от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 02.07.2021). [27]

Стремительный темп применения дронов в повседневной жизни, не только в сфере горнодобывающей отрасли, стал толчком для постоянной дополнительной уточняющей документации по вопросу полетов БПЛА. В текущем моменте нормативно-правовым материалом, направленным на использование дронов помимо «Воздушного кодекса» является их учет, согласно Правилам учета БВС, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 № 658. Главным тезисом постановления является то, что беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенные в Российскую Федерацию или произведенные в Российской Федерации подлежат учету и регистрации.

Беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой более 30 килограммов подлежат государственной регистрации в порядке, установленном Административным регламентом Федерального агентства воздушного транспорта, утвержденным приказом Минтранса России от 05.12.2013 N 457.

Полеты БВС отнесены к деятельности по использованию воздушного пространства. Физические или юридические лица, планирующие осуществлять запуски БВС, должны знать и выполнять правила и процедуры, установленные воздушным законодательством Российской Федерации в сфере использования воздушного пространства. [92, 93]

Однако, касаясь нормативной юридической сферы, для специалистов представляет большой интерес определенная рабочая документация, которая должна содержать в себе методику выполнения полета, основанную на сведениях заводов-изготовителей и, имеющая фундамент в виде массивного набора опыта применения БПЛА компетентных ученых и инженеров-производственников.

На данный момент существуют конкретная документация, касающаяся применения БПЛА – ГОСТ Р 59562-2021 «Съемка аэрофототопографическая. Технические требования», ГОСТ Р – 59328-2021 «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» [31, 32]. Разработка представленных ГОСТов осуществлялась Федеральным государственным унитарным предприятием «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»), Федеральным государственным бюджетным учреждением «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД») и Обществом с ограниченной ответственностью «Геоскан» (ООО «Геоскан»). Основываясь на данной информации, можно сделать вывод, что ООО «Геоскан», являясь монопольным представителем сегмента рынка разработок и производства беспилотных

летательных аппаратов типа «крыло», а также соответствующего программного обеспечения для обработки результатов, принимая участие в создании представленной рабочей документации, вероятно, приложил усилия к. юридическому урегулированию своей деятельности и других аналогичных компаний.

Реализация рабочей документации проводилась, ссылаясь на ранее созданные источники, некоторые из которых, имея действующий статус, являются достаточно устаревшими, требуемые derogations или abrogations, что обосновывается безвыходным положением при создании новых ГОСТов и отражает отставание нормативной документации от научно-технического прогресса. Однако, есть ГОСТы, носящие авангардный характер. Например, ГОСТ Р 58854 «Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомodelей застроенных территорий», созданный Акционерным обществом «Урало-Сибирская Гео-Информационная Компания» (АО «УСГИК») и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ), дата введения которого 12.01.2020 г. [33-35]

Представленная актуальная документации отражает и регламентирует понятие метода аэрофототопографической съемки, объясняет ее процесс и обуславливает необходимость установления общих принципов, характеристик, правил и требований к процессам аэрофототопографической съемки, обеспечивающих на основе материалов аэросъемки с пилотируемых и беспилотных воздушных судов эффективное получение конечной продукции требуемого качества, отвечающей современному уровню развития науки, техники и технологий, передовому отечественному и зарубежному опыту.

Кроме того, целью разработки настоящих стандартов является техническое регулирование технологических процессов проектирования и выполнения топографической аэрофотосъемки, установление технических требований к аэрофотосъемочному оборудованию, фотограмметрическому и фотографическому качеству получаемых материалов аэрофотосъемки, их комплектности и оформлению, контролю и порядку приемки.

В целом релевантные стандарты несут современное представление об применении БПЛА, что соответствует настоящим трендам выполнения геодезических работ. Однако, имеет формальное представление об использовании БПЛА, содержав в себе детерминированные величины и численные показатели, либо являющиеся производными от ранних ГОСТов, либо имеющих неизвестное происхождение и обоснование. Главным мажоритарной концепцией является факт отсутствия в актуальных ГОСТах определения процессов применения БПЛА на открытых горных работах, процесса исполнения работ в маркшейдерской сфере.

На основе действующих ГОСТов, имеющих пассивное значение, относящееся к применению БПЛА и, используя актуальные представленные стандарты, а именно выбранные в них тезисы, фабулы и принципы характеристик, правил и требований к процессам аэрофототопографической съемки, необходимо создание конкретной и практической регламентации, стандарта, а именно методики применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах, являющейся частью сферы маркшейдерского дела. Актуальность дискурса разработки такой методики, будет объясняться повсеместным использованием геодезических квадрокоптеров, не имеющих нормативного обоснования; установления правил применения дрона на открытых горных работах, в основе своей имеющих ту же концепцию, что и приведена в релевантных крайних ГОСТах, но имеющих ряд кардинально отдельных и отличных систем и конъюнктуры использования БПЛА, непосредственно связанных с процессом ведения горных работ на потенциальном контуре осуществления измерений.

Создание такой методики позволит юридически официально использовать геодезические квадрокоптеры на объектах ведения горных работ. Содержание потенциального стандарта должно иметь математически обоснованные правила применения дрона на горных работах, учитывая все возможные вариационные факторы, имеющие возможность повлиять на процесс выполнения измерений и, в конечном итоге, на результат маркшейдерской съемки. Помимо установки выполнения топографической съемки границ ведения горных работ с помощью аэрофотограмметрического способа, рациональным является инсталляция и дефиниция реализации измерений складов, навалов и отвалов, как неотъемлемых объектов ведения горных работ, а также сравнение их результатов величин с нормативными предельными значениями погрешностей. Существенной задачей маркшейдерии на открытых горных работах является совершение оперативного контроля смещения горного массива, процесс которого также может выполняться с помощью геодезического квадрокоптера, результаты замеров которых требует строгого и прецизионного математического анализа и валидности, в соответствии с установленными допустимыми значениями ошибок измерений.

Разработка и обоснование методики применения геодезического квадрокоптера для маркшейдерских съемок на карьерах обеспечит порядок и систему выполнения маркшейдерского обеспечения на открытых горных работах, минимизируя и упрощая несогласованность и перманентную вариабельность появляющихся нормативов, концепция которых зачастую несет беспорядочный характер.

1.6 Выводы по главе 1

1) Маркшейдерское обеспечение на открытых горных работах осуществляется приборами, универсального характера, при разных функциональных возможностях для

выполнений вариативных маркшейдерских задач. В настоящее время в авангарде находится применение БПЛА, как геодезического прибора, присущему достаточное количество преимуществ по сравнению с другими способами наземной маркшейдерской съёмки. Его неоспоримые и общепризнанные prerogatives в действительности упрощают процесс полевых работ и рационализируют камеральные работы, увеличивая прецизионность результатов выполнения маркшейдерских задач на открытых горных работах.

2) Конструктивная часть, фотографическое оборудование, вариативность качественного и количественного задания маршрута выполнения аэрофотограмметрического маркшейдерского полета, универсальность и функциональность программного обеспечения для процессов полевых и камеральных работ – это мажоритарные составляющие применения БПЛА, которые в свою очередь имеют безграничный потенциал развития, напрямую зависящий от формаций и тенденций научного прогресса, инновационных решений в области изобретений и совершенствования агрегатов и фотографических устройств, а также от научных исследований в области использования БПЛА на открытых горных работах, в первую очередь обоснованных математически и имеющих весомую практическую базу данных эмпирий.

3) Юридический сегмент, касающийся применения дронов, имеет дефинитивный ограничительный характер и требования учетности, который несет определенные неудобства и затруднения для маркшейдеров при использовании БПЛА для выполнения своих задач. На текущий момент при наличии установленных актуальных ГОСТов по аэрофотосъемке и их техническим требованиям, посвященным исключительно геодезическим работам при измерении поверхности, отсутствует какая-либо нормативная рабочая документация, регламентирующая применение дронов на открытых горных работах. Таким образом, для рационального и систематически валидного выполнения маркшейдерского обеспечения на участках горных объектов, необходима разработка и обоснование методики применения геодезического квадрокоптера для маркшейдерских съемок на карьерах.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОГРЕШНОСТЬ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КВАДРОКОПТЕРА

2.1 Определение основных факторов, влияющих на погрешность маркшейдерской съемки карьеров с помощью геодезического квадрокоптера

Маркшейдерское дело, как наука, как искусство, определяется возможностью работы с геометрическими размерами в горном деле, что является частью профессионального стандарта маркшейдера, как специалиста. В свою очередь, профессиональность маркшейдера есть выполнение инженерных задач в определенных допустимых точностях, что обеспечивает успешность их выполнения. Кроме оснащения маркшейдера навыками, знаниями и компетенциями, решение вопросов и проблем горных работ достигается с применением маркшейдерско-геодезических приборов разного спектра функциональности, коррелирующей с условиями поставленной задачи и другими обстоятельствами.

Характеристики приборов, их функциональное назначение дифференцируется под каждую цель работы. Однако, не смотря на конструктивность, назначения и возможности маркшейдерско-геодезических приборов, все они имеют свою нативную погрешность, которая в классическом представлении маркшейдерского дела делится на два вида – систематическая и случайная. Система механизмов и структуры самого устройства, т. е. приборостроение, является причиной возникновения детерминированного нарушения выполнения измерения, которое принимается постоянной величиной для каждого прибора, регистрируется в его паспорте и проверяется обычно ежегодно определенными методиками посредством проверок, выполняемых специалистами сферы метрологической деятельности.

С учетом регистрации и константы систематической погрешности, большой интерес для исследования представляют собой случайные ошибки, в особенности при применении геодезических квадрокоптеров, так как зависимости случайных нарушений съемки, относящиеся к их применению, как инструмента измерения, не изучены детально, теоретически и практически в той же мере, как у других маркшейдерских приборов.

Использование тахеометра, – прибора прерогативной универсальности, и, определенно, имеющего полный комплекс полезных маркшейдерских функций, влечёт за собой естественные последствия получения некой погрешности измерения. Систематическая ошибка указана в сертификате поверки, а случайная, в свою очередь, зависит от множества факторов, генезис которых не имеет постоянства и не отличается возможностью прецизионность расчета для последующего применения поправки измерения.

Однако, тахеометры новых поколений, имеют возможности внесения поправки случайных погрешностей, связанных с неравномерным нагревом самого прибора, следствием которого является температура воздуха, а также атмосферным давлением. Влияние таких метеорологических данных может быть значительным на более длинных расстояниях. Обычно для большинства топографических съемок на небольших расстояниях номинальные (расчетные) данные о температуре и давлении приемлемы для ввода в модуль данных. Кроме того, значительной проблемой и источником возникновения случайной ошибки измерения с помощью тахеометра являются вибрации, приводящие к нестабильной работе компенсатора. Исследуя природу ошибок, как не только маркшейдерского понятия, сопутствующего каждому измерению конкретного прибора, но и как непреднамеренного отклонения от чего-то истинного, необходимо указать источник погрешностей, относящийся к высшей степени непредсказуемости и случайности – человеческий фактор. Взаимодействие сложной системы «человек-техника» – фактор распространенный и неизбежный, причинность которого напрямую связана с состоянием специалиста, его характером и другими референциями.

Человеческий фактор, его степень влияния на конечный результат сокращается при измерениях с помощью роботизированных электронных тахеометров, лазерно-сканирующих систем, отличающихся автономностью выполнения процесса координатного определения местности. При этом остальные вышеприведенные случайные факторы влияния имеют место быть.

Немного в стороне, в условном понятии квалификации случайных ошибок, находятся геодезические спутниковые системы. Главный отличительный параметр – возможное нарушение измерения, напрямую связанного с состоянием не только атмосферы, но и всех остальных видов оболочек Земли, которые по сути определяют прохождение сигнала между наземным оборудованием и спутниками, находящимся в космическом пространстве. При использовании спутниковых систем весь измерительный процесс производится через контроллер, который обеспечивает абсолютную координацию процесса выполнения работы и ее системы, являясь устройством, где могут быть осуществлены ошибки оператора при непосредственном определении и внесении параметров измерений. [21, 22]

Систематические и случайные ошибки, в частности человеческий фактор, присущ всем устройствам, имеющим функцию измерения и определения какой-либо величины. Геодезический квадрокоптер не является исключением для данной проблемы детерминации обмера. Классические методы измерения открытых горных работ сопровождаются типичными и уже привычными для специалистов приборами, практическая ценность которых уже установлена на основе многолетнего их использования, а математические доказательства достоинств применения обмеров горных объектов итеративно доказаны внушительным

массивом научных статей, описывающих алгоритмы и различные способы использования данных приборов для выполнения маркшейдерских задач на карьерах [4, 7, 24, 26, 66, 68, 74, 75, 106, 116, 117, 120, 128].

В свою очередь, геодезический квадрокоптер, как и беспилотные технологии в целом, и их применение в горном деле, – относительно новое веяние в маркшейдерском деле, и, как следствие, научное сообщество лишь последние несколько лет начало подвергать коптеры систематическому изучению, отдавая должное и признавая несомненный интерес их использования в геодезии и других смежных науках. Отсутствие нормативной устойчивой литературы и законодательной базы по беспилотным технологиям позволяет ученым-исследователям формировать собственный вотум по их классификации, методикам использования, особенностям и предложениям по конструктивным и функциональным направлениям изысканий. [123, 124]

Производной создания, формирования и обоснования метода применения того или иного маркшейдерского прибора для выполнения инженерных задач является не только цельный смысл, оправданный благопотребностью и востребованностью, как результат научного прогресса, но и поиск и проработка источников отрицательного влияния на искомую конечную методику. В маркшейдерской сфере, данные источники представляют собой факторы влияния на измерительный процесс, при возникновении которых проявляется погрешность, которая оказывает воздействие на конечную точность и, как следствие, на итоговую заданную техническую миссию.

Определение таких факторов основывается на тривиальном понимании производства полета субъекта измерения над его объектом с инженерной точки зрения, а также по принципу консолидированного набора опытных практических выполнений полетов геодезического квадрокоптера над горными объектами. Условно, в зависимости от владения возможностью оператором влиять на качественную или количественную составляющую приведенных факторов, изучаемые параметры полета можно представить в виде некоторой классификации: регулируемые и нерегулируемые. [122, 125]

К регулируемым, названным так из-за способности специалиста менять величинную характеристику факторов, относятся следующие параметры влияния на погрешность, напрямую связанные с техническими функциональными возможностями геодезического квадрокоптера:

- высота маркшейдерского полета;
- скорость маркшейдерского полета;
- продольное и поперечное перекрытие снимков – фактор аэрофотограмметрического характера создания снимков и их связности между собой (стереопары), относящийся к

функциональности камеры, конструктивно установленной на геодезический квадрокоптер и являющейся неотъемлемой частью создания всего маркшейдерского измерения;

- свойство снимаемой поверхности – параметр, отражающий состояние и актуальную ситуацию поверхности, подвергаемую маркшейдерскому измерению в момент полета;

- количество опознавательных знаков – свойство регулируемого фактора, демонстрирующее численное значение располагаемых меток, имеющих координатное определение и весомое влияние в детерминации констелляции и конфигурации всех фотограмметрических производных маркшейдерской съемки: от аподиктической диспозиции фотографий и их распределения относительно друг друга до дефиниции модели измеряемого горного объекта.

Нерегулируемые факторы влияния на погрешность маркшейдерского полета геодезического квадрокоптера и, как следствие, на итоговое значение измерения, представляют собой показатели окружающей среды, а точнее погодные условия, установившиеся в момент выполнения обмеров.

При производстве изысканий, многочисленных опытов полетов, данные нерегулируемые факторы, их условия качественного показателя, выбирались искусственным образом, – время эмпирий выбиралось и подстраивалось под качественное значение погоды. К параметрам локальных климатических условий, т.е. к нерегулируемым факторам, названных так при условии незапланированного выполнения инженерной задачи на открытых горных работах при маркшейдерском измерении, непосредственно относятся:

- режим погоды при производстве маркшейдерского полета;
- время суток в момент выполнения полета (данный показатель представляет интерес для исследования со стороны степени освещенности измеряемого объекта в процессе получения эмпирий);
- скорость ветра при осуществлении экспериментальных маркшейдерских полетов.

Бифуркация факторов влияния на процесс маркшейдерских измерений в условиях карьера, т.е. такая условная вышеприведенная классификация обуславливается выбором основных параметров, которые в высшей степени оказывают воздействие на полет коптера в целом; определение данных факторов основывается на простейшем понимании процесса производства полета беспилотного аппарата с инженерной точки зрения, и представлений и выводов, выработанных специалистами производителями, имеющими весомый опыт при вариативной конъектуре выполнения маркшейдерских задач при использовании геодезического квадрокоптера.

2.2 Обоснование выполнения практических экспериментов для выявления закономерностей и значимостей факторов ошибки маркшейдерского полета

Методика, в общем понимании своего значения, – это набор операций и алгоритмов, связанных между собой с целью обретения знаний и достижения выполнения практической деятельности. Научное исследование, заключенное в пассионарности понимания выполнения процесса маркшейдерского измерения с помощью нового оборудования, как и любые изыскания не может не выражаться в эмпирических действительностях, первообразованием которых является гипотеза, а результатом – теоретические предположения и выводы, в свою очередь которые доказываются анализом закономерностей, а именно математикой. Таким образом, определенная случайная гипотеза, предположение распознается и раскрывается экспериментами, и доказывается как неизведанная закономерность, тогда в этом случае методика имеет успех. Математический анализ – главный инструмент, средство и в то же самое время основополагающий фундамент любого новообразованной методики для доказательства ее справедливости, грамотности и успешности практического результата.

Валидность и аподиктичность методики, ее основополагающих тезисов, на которых зиждется вся структура продвигаемой новой инженерной точки зрения на вопрос использования геодезического прибора на открытых горных работах, обусловленной естественным движением науки и техники и неоправданного саспенса законодательных и нормативных положений, опирается на два принципа – математика и комплекс эмпирий.

Эксперименты по определению степени влияния различных факторов на конечную погрешность при переменных параметрах конъюнктуры полета геодезического квадрокоптера, как и любые другие опыты, утверждаются для последующего анализа при выполнении двух неопровержимых условий – численная достаточность эмпирий и их качественное выполнение, основанное на высококлассифицированных компетенциях специалистов-экспериментаторов.

Тривиальное утверждение о прямой корреляционной зависимости количества испытаний к надежности и достоверности результатов экспериментов апостериори доказывается по результатам коэффициента детерминации исследования каждого искомого фактора влияния. Для достижения прецизионности изысканий было совершенно 687 опытов, из них 185 ($\approx 27\%$) подверглись отсеиванию по причинам невалидности выполнения опытов по заданным параметрам условий эксперимента. Заданные требования правильности выполнения эмпирий заключались в условии получения результатов съемки, возможности осуществлении выходных данных, при отсутствии нарушений работы БПЛА, его технических ошибок. В силу

внушительного числа безуспешных эмпирий, было произведено еще 92 опыта, соответствующих заданным требованиям.

Проведение исследований влияния регулируемых и нерегулируемых факторов влияния на маркшейдерский полет геодезического квадрокоптера отличается от обычных экспериментов типичных геодезических измерений определенными инженерными аспектами и сторонами проблемы, не имеющими сравнения с ранее проводимыми исследованиями в этой сфере и отличающиеся детерминированными особенностями, природа которых была проанализирована и изучена в процессе испытаний, результаты которых, несомненно, будут отражены в виде практических замечаний по выполнению измерений в окончательной методике производства маркшейдерской съемки. [18, 20]

Особенности получения массива данных эмпирических исследований, включающие в себя стороны как количественного вопроса, так и аспекта квалифицированного процесса производства исследований, заключаются в следующих сторонах, имеющими особый интерес для практического использования и понимания генезиса всего эксперимента.

1. Каждый опыт представлял собой сложный комплекс алгоритмов, представляющий собой маркшейдерское измерение горного объекта, занимаемое значительное время в связи с порядком выполнения эмпирии в рамках условия всего исследования. Таким образом, следует признать, что около 600 валидных выполненных испытаний обосновывают прецизионность изысканий и в полной мере соответствуют требованиям по выполнению данного нетривиального набора исследований, в результате которого было получен достаточный массив данных.

2. Отдельный опыт заключался в выполнении полноценного маркшейдерского полета геодезического квадрокоптера, в осуществлении измерения, а также в производстве предварительных камеральных работ для получения оценки точности результата, численная величина которой являлась итоговым искомым значением каждого испытания. Такой набор действий и приемов сопровождался контролем со стороны не только экспериментатора, но и профессиональных специалистов-маркшейдеров проектной организации ООО «Карьерпроект», предоставивших все необходимые условия для реализации полной системы изысканий.

3. Ключевая принципиальная специфичность выполнения опытов по полету геодезического квадрокоптера, которая отличается от всех остальных экспериментов, касающихся сферы маркшейдерского дела, геодезии и картографии, заключается в связи между оператором и непосредственно прибором. При выполнении измерений с помощью тахеометра, спутникового оборудования, лазерно-сканирующих систем и других приборов, присутствует тактильный контакт и прямое управление устройством специалистом. Что касается геодезического квадрокоптера, его автономность и определенная независимость выполнения

измерений (фотографирования) и есть главная особенность связи «оператор-прибор». Кроме того, все классические приборы осуществляют свой инженерный функционал в статическом положении на земной поверхности, то есть условно, маркшейдер визуально наблюдает место измерения, а геодезический квадрокоптер характеризуется обособленностью производства маркшейдерской задачи. Такая специфичность и отличность обуславливает нетипичность выполнения опытов в рамках заданного исследования, что доставляет определенные трудности и непривычные для классического маркшейдера явления, несомненно иногда сопровождающие процесс опытов.

4. Важнейшим аспектом качества и валидности выполненных практических опытов является условия их выполнения. Зачастую опыты для достижения и установления закономерностей и зависимостей, в том числе касаемые маркшейдерского дела, проводят в условиях полигонов и других специальных пространств, оборудованных дополнительными средствами получения результатов.

Приведенные опыты произведены в обстановке действительного выполнения инженерных задач на карьере. Мажоритарное количество эмпирий являются неотъемлемой частью маркшейдерских измерений открытых горных работ, осуществление которых было выполнено для получения консеквенции инженерных задач в виде вычисления объема горного объекта – склада полезного ископаемого, отвала вскрышных пород, а также получения семантики для дальнейшего построения на ее основе топографического плана, отражающего актуальную ситуацию земной поверхности.

Типичные опыты, проводимые на специальных полигонах, дают определенную стерильность и обеспечивают отсутствие некоторых проблем процесса, что нередко случается в инженерных экспериментах, в частности в сфере маркшейдерского дела, эмпирии которого отличаются особым тонким отношением к флюктуации точностных характеристик исследуемых параметров.

Проведение испытаний в реальных условиях открытых горных работ ведут к многочисленным результатам, претерпевающим забракование, но в совокупности набора эмпирий дают результаты максимально приближенные к практическим обстоятельствам и маркшейдерской действительности инженерных работ на карьере.

5. Экспериментальные маркшейдерские полеты геодезического квадрокоптера проводились на месторождениях песка, песчано-гравийного материала и торфа Ленинградской, Псковской и Новгородской областей. Официальность выполнения опытов было подтверждено согласованиями с недропользователями, имеющими лицензии на разведку и добычу данных месторождений, горные и земельные отводы которых являлись границами площади выполнения измерений, величина которой обычно составляла не более 100 га, что является

условной предельной рациональной площадью для выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера.

На представленных территориях горных работ ведется добыча общераспространенных полезных ископаемых, карьеры которых отличаются определенной геометрией – относительно малые формы и размеры горных выработок. Маркшейдерские измерения с использованием геодезического квадрокоптера объектов не отличается процессом и очередностью алгоритмов вне зависимости от размеров и форм предмета обмера, за исключением разницы протяженности временного отрезка процесса. Таким образом, измерения, занимающие относительно малое время полета, в частности итоговые результаты всего исследования, с успехом могут быть условно масштабированы и перенесены на условия маркшейдерских измерений карьеров большего размера и форм – угольные разрезы, карьеры по добыче руды и цветных металлов и др.

6. В ходе выполнения процедуры инженерных изысканий по маркшейдерским полетам были выявлены особенности выполнения полевых работ применительно к геодезическому квадрокоптеру, в зависимости от различных обстоятельств и ситуаций.

Строение самого геодезического прибора отличается хрупкостью и малыми размерами компонентов, что может подвергнуть всю конструкцию определенной опасности столкновения с каким-либо объектом или сноса с курса по ветру, – явлением, достаточно частым возникающим при производстве полета.

Навигационная составляющая геодезического квадрокоптера – это тонкий механизм связи аппарата со спутниками, нарушение которого зачастую сопровождают маркшейдерские съемки и зависит от множества факторов: от состояния погоды до геометрии конфигурации расположения и эфемерид спутников. В связи с этим, эпизодично возникают неопределенные пертурбации связи «оператор-прибор» и другие малозначительные, но нарушающие целостность процесса съемки деструкции.

Устранение и избежание текущих или итеративных проблем при производстве маркшейдерского полета достигается определенными практическими путями, в совокупности их совершения или отдельности выполнения:

- проведение постоянного технического обслуживания геодезического квадрокоптера в лицензированных официальных представительствах заводов-изготовителей;
- разумное применение накопленного массива опыта или контроль выполнения полета специалистом, обладающим достаточной квалификацией и компетенциями;
- грамотное и рационально верное решения выбора локальной методики выполнения маркшейдерского полета с помощью геодезического квадрокоптера, обратная сторона которого может привести к последствиям вплоть до разрушения самого аппарата измерения.

2.3 Описание и определение выполнения эмпирических опытов. Результаты испытаний

Главным показателем валидности выполнения маркшейдерской съемки является точностная характеристика. Изучение именно этого доминантного параметра имеет многогранную характеристику: анализ точности, проводимый с различных амплуа восприятия применения геодезического коптера и дифференцированных позиций генезиса, понимания его использования для маркшейдерской съемки в условиях карьера, оправдано и обусловлено утилитарной инженерной интерпретацией современного и актуального маркшейдерского дела:

1. Исследование навигационной составляющей, связи по принципу «оператор (пульт) – квадрокоптер – спутниковые аппараты», где ключевую роль также играет взаимодействие с измеряемой поверхностью и общности с референц-базами для получения статических данных. Вызывающим теоретический и практический интерес примером таких изысканий могут являться научные труды таких ученых, как: Вытовтов А.В., Гольтяева П.Е., Казьмина В.Н., Носкова В.П., Чуева А.А. и Семеновой Л.П. и др. [28, 29, 36, 55, 58, 70, 85, 103, 104]

2. В настоящее время обширное и глубокое развитие IT-технологий позволяет постоянно насыщать набор камеральных инструментов маркшейдера-специалиста новым программным обеспечением для достижения максимально прецизионной обработки выполненных геометрических измерений в полевых условиях. Скрупулезные исследования в области камеральной обработки в условия геоинформационных систем можно найти в научных статьях Аврунева Е.А., Кольцова П.В., Коровина Д.С., Хлебниковой Т.А. и др. [1, 5, 53, 54, 57, 101, 115, 118, 108]

3. Определенно популярным и актуальным является изучение беспилотных технологий в условиях разнотипных задач и ситуационных обстоятельств, для достижения концепции системы эксплуатации коптеров в смежных технических областях и изучения корреляционных зависимостей сегмента использования в инженерной сфере от их характеристик. Вспомогательная научно-техническая апроприация геодезических квадрокоптеров для картографии, общих географических исследований, инженерных изысканий и других секторов исследовательской и практической деятельности подробно и доподлинно декларировано в научных трудах Алексеенко Н.А., Алябьева А.А., Барбасов В.К., Батоцыренов Э.А., Опритовой О.А. и многих других. [2, 3, 12, 13, 25, 30, 27, 37, 40, 41, 47, 49, 51, 52, 61, 62, 65, 71, 78, 84, 121, 127, 131]

4. Также нельзя оставить без внимания работы по классической фотограмметрии, без которых в принципе не возможно было бы представить появление направления беспилотных авиационных систем в геодезии, маркшейдерском деле и инженерных изысканиях [50, 59, 60, 64].

Определенно, такие направления изучения геодезического квадрокоптера и вариаций его применений, технически необходимы и обусловлены с точки зрения полномасштабного и

всего исследования относительно нового маркшейдерско-геодезического прибора, однозначно имеющего перспективный потенциал в маркшейдерской сфере и других смежных дисциплинах. Достижения инженерных целей и, в частности маркшейдерских задач на открытых горных работах, требуют упрощения и рационализации применения прибора, тем самым стимулируя специалистов организовать алгоритм использования геодезического квадрокоптера, по сути – сформировать методику производства маркшейдерской съемки. Говоря о пошаговых действиях в маркшейдерской съемке, на первый план выходит практичность и приближение к реальным условиям использования, что является первообразной эмпирических опытов маркшейдерских полетов.

В данном научном исследовании испытания имеют итеративный характер с единственно меняющимся параметром, который и является в момент синхронного опыта сингулярным элементом искомой семантики. Регулируемые и нерегулируемые факторы влияния на погрешность маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера, сущность которых подробно описана в разделе 2.1, претерпевают дробление на конкретные параметры, представляющие собой субъекты эмпирических исследований (рисунок 2.1). [15-18]

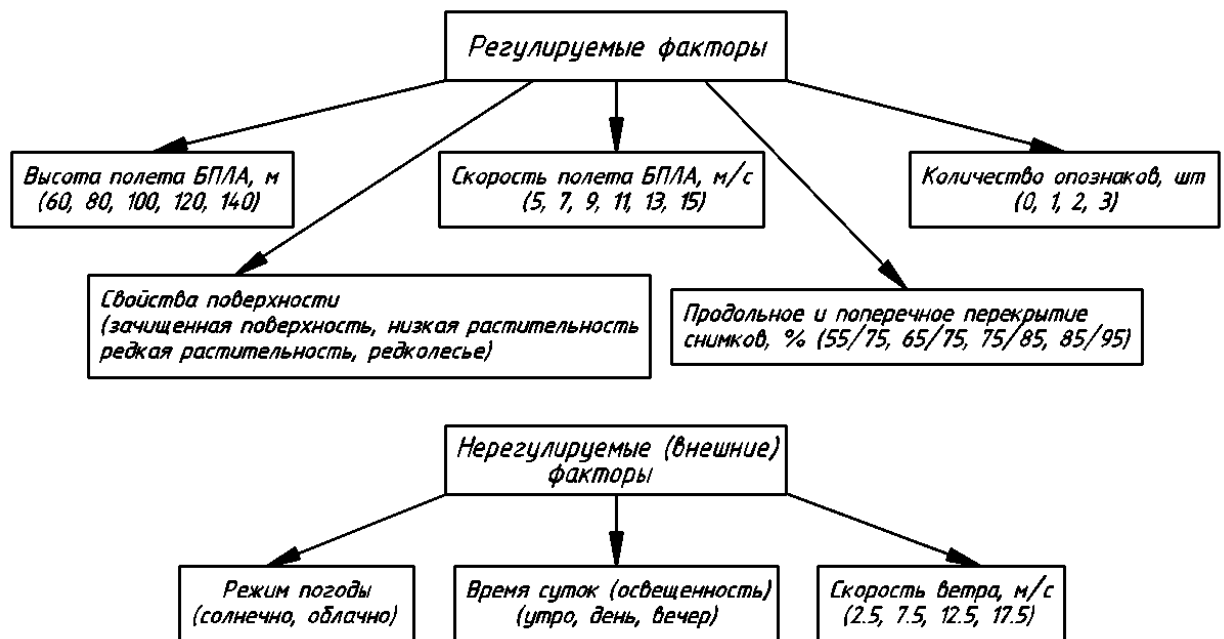


Рисунок 2.1 – Стратификация фактов, влияющих на погрешность маркшейдерской съемки

Таким образом, каждая эмпирия представляла собой маркшейдерский полет геодезического квадрокоптера, где определенный параметр фактора влияния имел постоянную величину, а другие – меняли свое количественное или качественное значение. В итоге повторяющихся полетов дрона, были извлечены погрешности маркшейдерского измерения, что являлось объектом получения каждого эмпирия. Итеративность опытов объясняется обхватом исследованием каждого изучаемого параметра факторов влияния, вне зависимости от их бифуркации по принципу управляемости, и обуславливается выдерживанием порядка

получения надежности и многочисленности результатов, массив которых позволит выполнить правильный процесс математического расчета и анализа точности. [1, 5]

Регламентация каждого испытания с позиции маркшейдерского обеспечения измерений карьера заключалась в типичном выполнении полевой съемки на открытых горных работах. Консолидированный и лаконичный алгоритм процесса каждого опыта представлял собой следующие этапы:

- 1) расположение в границах геометрии площади измерения опознавательных знаков и их координирование;
- 2) выбор подходящего участка поверхности для старта коптера;
- 3) установка спутникового оборудования в режиме статики на закоординированной известной точке для получения данных (другим вариантом могло быть получение «сырых» данных статических измерений в коммерческих структурах сетей референц-базовых станций);
- 4) построение маршрута полета и его регулируемых параметров;
- 5) проверка работоспособности прибора измерений и его запуск;
- 6) ожидание завершения процесса маркшейдерской съемки параллельно с осуществлением контроля выполнения процедуры.

Мажоритарный истинный параметр исследовательского процесса – точность выполнения маркшейдерского полета геодезическим квадрокоптером. Обоснованность данной величины была получена с помощью программного обеспечения Agisoft Metashape Professional, – программы, на данный момент являющийся самым распространенным и подавляющим в использовании при камеральной обработке полевых работ, выполненных с помощью беспилотной технологии. [91]

Приведенная программа, основываясь на анализе предварительной камеральной обработки, регистрирует точность взаимной конфигурации фотографий, произведенных во время полета, по результатам выравнивания снимков исследуемого объекта. Процесс дальнейшей обработки информации в Agisoft Metashape, а именно после внесения данных об опознавательных знаках и оптимизации связующих точек, дает специалисту камеральных работ величину точности образованного плотного облака поверхности измерения относительно геометрии взаиморасположения опознавательных знаков (если они есть). Данные точностные характеристики составляют позицию и мнение для понимания правильности осуществления полетов, и возможности проведения дальнейшей обработки материалов. В проведенном исследовании, в каждом эксперименте, количественное значение величины, отражающей относительность всего плотного облака к положению опознавательных знаков (опознаков) – условно принимается истинным числом точности маркшейдерского полета с помощью геодезического квадрокоптера. В случаях, когда маркшейдерский полет выполнялся при исключении опознавательных знаков, как параметра эмпирии, в качестве точек привязки

использовались характерные точки с известными координатами, которые были элементами сравнения и определения погрешности съемки. В программе Agisoft Metashape данные репера, выполняющие роль условных опознавательных знаков, не включались в камеральную обработку конкретного эксперимента, но носили характер контрольных для отражения погрешности.

Целый комплекс исследуемых полетов выполнялся в прямоугольных местных системах координат, соответствующих конкретному местоположению (региону и району) производства эксперимента. Пункт опознавательного знака – истинный геометрический источник получения точности маркшейдерской съемки, координаты которого были получены тахеометрическим способом или спутниковым оборудованием в режиме RTK или быстрой статики. Учитывая, что координатное определение опознаков фактически не является истинным, т.е. при маркшейдерском измерении положения пунктов привязки естественным образом имеют определенную погрешность, то опыты производились в условной локальной системе координат, что релятивно принимается конъюнктурой изысканий, так как каждое отдельное испытание находится в рамках только собственных измерений и алгоритмов, не смотря на измерения в местной системе координат прямоугольного формата.

Около 600 проведенных в условиях карьеров опытов придают сформированной методике и ее математическим описаниям достоверность и надежность качества результатов. Такое количество эмпирий, при незначительном числе параметров факторов влияния (рисунок 1), объясняется необходимостью и внутренним цензам исследования осуществлять несколько полетов соответствующих одному варианту испытаний, где рассматриваемый параметр и другие предикторы, оказывающие взаимодействие на погрешность маркшейдерской съемки, остаются постоянными. Получаемые погрешности полетов геодезического квадрокоптера одного сегмента испытания претерпевали математическую процедуру нахождения медианного значения. При значительной флюктуации величины ошибки съемки, текущий опыт браковался и исключался из математического анализа. Настоящая ситуация стохастического возникновения дрейфа значения погрешности, из пула диапазонных итоговых значений ошибки, происходил в силу нарушений условий исследования: деструкция маршрута движения дрона, сильный ветер, недостаточная освещенность в момент маркшейдерского полета и др. Тем самым объясняется достаточное отсеивание эмпирий и осуществление дополнительных и вторичных съемок.

Передовой характер выполненных изысканий факторов влияния на погрешность маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера обнаружило новые особенности и детали критериев исследования в области маркшейдерского дела в целом, учитывая авангардную категорию беспилотной технологии, как геодезического прибора. Комплекс эмпирий показал беспрецедентную перспективность и потенциальность

геодезических коптеров: их применения, изучения, формирования методов и способов выполнения маркшейдерских съемок. Математический анализ факторов влияния выявил закономерности, заключающиеся в возможности определении дополнительных действительных предметов изучения. Так, например, при факторе скорости ветра, практические опыты показали необходимость и потенциальную возможность изучения не только параметра скорости, но и его направления, которое доказательно взаимодействует на сам геодезический коптер, оказывая определенную степень влияния на маркшейдерский полет, и в итоге на его конечный результат.

Таким образом, процесс выполнения исследования помог выявить новые дополнительные предметы изучения при опытном использовании геодезического квадрокоптера в качестве маркшейдерского прибора. Данные контринтуитивные элементы изысканий определяют возникновение новых направлений исследовательской деятельности, доказательно и определено вызывая особый интерес и необходимость анализа для дальнейших усовершенствований методик применения беспилотных технологий в условиях производства маркшейдерского обеспечения на карьерах. Убедительное количество опытов, высокое итеративное качественное их выполнение и действительный широкий обхват предметов исследования являются первообразными причинами возможности выявления и частичного первоначального анализа дополнительных компонентов факторов влияния на погрешность маркшейдерской съемки, перечень, генезис и содержание которых представляет нетривиальный характер для специалистов маркшейдерского дела и смежных наук:

1. В ходе осуществления выполнения итеративных опытов, в особенности касающихся изучения параметров скорости ветра и беспилотного аппарата, по их результатам была выявлена закономерная зависимость конечной величины от направления ветра. При отсутствии прямого анализа данной корреляции в рамках регламентации исследования, отсутствуют какие-либо прецизионные доказательные функции взаимосвязи и соотношения, выраженные в конкретных величинах. Тем не менее, принимается факт взаимодействия данных факторов. Направление ветра, т.е. его степень действия на геодезический квадрокоптер – действительный параметр, заслуживающий отдельного и глубоко изыскания, определено имеющий высокий потенциал научного содержания и важности для совершенствования маркшейдерской съемки.

2. Одним из регулируемых факторов влияния является количество опознавательных знаков, который по итогу всего исследования оказался значимым параметров природы образования погрешности маркшейдерского полета. Рассматривая данный сегмент изысканий, тождественным количеству точек привязки (опознаков) представляется фактор конфигурации их расположения относительно границ измеряемой площади и в отношении друг друга в Евклидово пространстве, при их количестве больше двух в едином опыте. Данный дополнительный практически выявленный элемент влияния на погрешность полета декларируется как значимый предмет будущего анализа. Основой для перспективного

исследования данного направления могут быть технические требования по расположению пунктов съемочной сети на карьере из выписок РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ». Такое нормативное содействие объясняется аналогичностью и общностью проблематики. Приведенный норматив является недействующим на данный момент, но содержание условно остается для маркшейдеров неофициальным техническим регламентом и в актуальное время.

3. Распространенность и популярность БПЛА в инженерных науках объясняется не только возросшей перспективностью и настоящими преимуществами, но и постоянным процессом совершенствования и перманентным обновлением, как программного обеспечения, так и конструктивных особенностей.

В частности, элементом, имеющего характер стабильного развития, является фотографическая аппаратура – неотъемлемая часть геодезического квадрокоптера. Технические возможности камеры имеют поддержку регулировки самых разных настроек. Параметры фотоаппаратуры изменяются и устанавливаются определенным программным обеспечением, например, один из самых известных является приложение DJI GO, позволяющее определять многообразные, соответствующие ситуации настройки изображения: от чувствительности камеры до величин баланса белого для съемок при характерных условиях погодного режима.

Инвариантное развитие аппаратуры фотографирования и возможностей конструктивного соединения их к приборам беспилотной технологии, многочисленные характеристики и параметры настроек камер, в особенности их корреляция с условиями маркшейдерской съемки и других факторов – это те направления изучения маркшейдерской съемки, произведенной с помощью геодезического коптера, которые имеют глубокие перспективы и далекие горизонты исследований практической необходимости.

4. Процесс представленного исследования проводился в течении чуть менее трех лет, в разные времена года; на месторождениях, имеющих участки горных работ бывшего лесного массива, еще не подверженного сведению, а также в местах присутствия водохранилищ, чаще всего образованных в связи с добычей песка методом гидронамыва. Лес, вода, равномерно лежащий снег – факторы негативно влияющие на восприятие поверхности геодезическим квадрокоптером (фотографической аппаратурой) во время полевых работ, что констатирует неудовлетворительные результаты камеральных работ, конечного результата маркшейдерской съемки в целом. Последствия попаданий в кадр таких элементов окружающей среды и ситуационных условий карьера – один из главных недостатков метода выполнения маркшейдерского обеспечения с помощью беспилотных технологий, в особенности малого размера.

Однако, достаточные количественные и качественные выполненные эмпирии дали возможность получения предварительного анализа данного казуального параметра,

консультативные наставления по которому отражены в предложенной методике применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах. В нее, без исключения, вошли все вышеперечисленные дополнительные факторы влияния на погрешность маркшейдерской съемки в статусе оцененных практически и ставших источниками введения актуальных и дебютных установок и советов в процессе производства полевых работ.

2.4 Формирование математического обоснования полученных эмпирей. Определение выбранных методик математического анализа

Создание актуального научного метода, являющегося, по сути своей, системой категорий, ценностей и принципов, при формировании которых ими руководствуется научное сообщество, – это целая исследовательская сфера. Она включает в себя комплекс консистентных новых и ранее полученных знаний, подвергающихся систематизации и корректировкам. Генезис метода – теоретические умозаключения и выводы на основе практических (наблюдаемых и измеряемых) данных об объекте исследования.

Важным аспектом представляемого исследования является факт о создании именно методики, а не метода. Это объясняется действительностью представленных изысканий маркшейдерского полета с помощью геодезического квадрокоптера, носящих более конкретный и предметный характер, разумно и рационально подготовленный и адаптированный к конкретной задаче алгоритмов действий в рамках методологического подхода. Кроме того, по своему содержанию понятие «методика» ближе всего стоит к термину «технология», что наиболее точно отражает исследования, описанные в данном научном материале. Главной стороной научной методики для любой науки является требование объективности, исключающее субъективное толкование результатов. Данный критерий достигается именно математическим обоснованием новых принципов, представляющих суть предложенного метода.

Математический анализ, являющийся системой разделов математики, включающих в себя совокупности исчислений, представляет собой главный инструмент обработки эмпирических исследований и формализации, доказательства верности предложенных умозаключений по предложенной методике. В связи с большим количеством разнообразия методов математического анализа – одним из самых важных фактом определения валидности исследования – это рациональный и осмысленный выбор типа математического анализа.

Касаемо представленного исследования, задачей изысканий является определение степени взаимодействия на геодезический квадрокоптер факторов влияния на маркшейдерскую съемку в условиях карьеров. В связи с задачей формирования и обоснования методики маркшейдерского полета преследуется достижение двух главных целей:

1. Детерминация мажоритарности факторов влияния на геодезический квадрокоптер во время выполнения маркшейдерского обеспечения, выявление процентного соотношения констелляции факторов влияния на предмет исследования (БПЛА).

2. На основе определения соотношений и корреляционных зависимостей количественных и качественных величин факторов влияния на погрешность съемки, сформировать единое уравнение, содержащее в себе переменные, соответствующие элементам воздействия на ошибку маркшейдерского полета геодезического квадрокоптера.

Вышеперечисленные цели, достигнутые с помощью математического анализа, являющегося фундаментом предложенной методики, которая помимо совокупностей валидных исчислений эмпирий будет иметь конкретную систему выполнения маркшейдерского полета, алгоритм действий полевых работ, используя геодезический квадрокоптер. При выполнении установок исследования, представляющих вычислительный характер обоснования, были применены два математических способа: дисперсионный двухфакторный и регрессионный анализы, соответственно целям изыскания. [38, 39, 63]

2.5. Двухфакторный дисперсионный анализ, задачи и результаты

Проведенные исследования, в частности массивное количество наблюдений и измерений, полученных практическими маркшейдерскими полетами, с научной точки зрения – для математического обеспечения методики, требуют качественные исчисления, выполненных рациональным способом, отражающим действительный характер выполняемых работ и определяющих достижение цели всего анализа. Поиск и определение преобладающих факторов влияния на геодезический квадрокоптер во время выполнения маркшейдерского обеспечения и выявление их процентного соотношения в исследовании обеспечивается двухфакторным дисперсионным анализом. [100, 119]

Выбор конкретного способа математической обработки эмпирий обусловлен общими задачами, находящимися релевантными в достижении цели в обработке результатов:

- изучение влияния каждого фактора в отдельности на признак в выделенных группах испытуемых;
- изучение одновременного влияние двух факторов на признак в выделенных группах испытуемых.

Применимо непосредственно к представленному исследованию двухфакторный дисперсионный анализа позволил решить следующие задачи:

- 1) дифференцируя факторы влияния на пары, выявить уровень воздействия и в некоторой степени надежность (коэффициенты детерминации) на погрешность маркшейдерского полета;

2) определить взаимодействие факторов влияния по отношению к друг другу в конкретных испытаниях при условии постоянства других предметов исчисления;

3) на основе рассчитанных результатов, определенных дисперсионным анализом, сформировать полную картину процентного соотношения и корреляционной составляющей каждого фактора влияния на погрешность маркшейдерской съемки, выполненной геодезическим квадрокоптером.

Пошаговый алгоритм применения используемого математического инструмента рассмотрим на конкретном примере изучения факторов влияния высоты полета и режима погоды (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Матрица результатов погрешности полета относительно высоты полета и режима погоды

Высота полета и режим погоды					
Фактор В (режим погоды)	Фактор А (высота полета, м)				
	60	80	100	120	140
Облачно	4,1	4,0	8,5	9,2	14,5
	4,5	5,0	8,0	10,0	13,2
	5,5	5,8	9,0	10,2	12,3
Солнечно	2,0	3,0	6,1	6,5	8,0
	3,0	2,0	6,0	5,1	8,5
	2,5	4,0	5,1	5,4	7,4

В матрице представлены результаты ошибки маркшейдерского полета коптера, конкретного практического характера, обусловленного исследованием факторов влияния – высоты полета и режима погоды.

Принимая факт количества факторов влияния, представляющих список из восьми предметов исчисления, определена величина числа двухфакторных дисперсионных анализов в данном исследовании, составляющая двадцать восемь исчислений, выполненных мобилизованным математическим инструментом (таблица 2.2).

Каждый анализ подразумевает под собой, с практической стороны системы, массив опытов (маркшейдерских полетов) при изменяющихся предметах исследования (факторов А и В) и других константных величинах факторов влияния. Возвращаясь к модели дисперсионного анализа «высота полета – режим погоды», обусловленной тридцатью валидными опытами, следующий алгоритмический шаг – это нахождение общих и частных средних, выполненных по формулам (2.1 и 2.2);

$$\bar{x} \sum_1^N x_i / N = 6,6 \quad (2.1)$$

$$\bar{x}_i \sum_1^{n_i} x_i / n_i = 4,7 \quad (2.2)$$

где N – число всех измерений равное 30;

n_i – число измеренных погрешностей в каждой клетке таблицы, соответствующие определенным уровням факторов А и В.

Таблица 2.2 – Список двухфакторных дисперсионных анализов исследования

Номер анализа	Фактор А	Фактор В
1	высота БПЛА, м	скорость БПЛА, м/с
2	высота БПЛА, м	кол-во опознавательных знаков, шт
3	высота БПЛА, м	перекрытия снимков, %
4	высота БПЛА, м	измеряемая поверхность
5	высота БПЛА, м	скорость ветра, м/с
6	высота БПЛА, м	режим погоды
7	высота БПЛА, м	время суток (освещенность)
8	скорость БПЛА, м/с	кол-во опознавательных знаков, шт
9	скорость БПЛА, м/с	перекрытия снимков, %
10	скорость БПЛА, м/с	измеряемая поверхность
11	скорость БПЛА, м/с	скорость ветра, м/с
12	скорость БПЛА, м/с	режим погоды
13	скорость БПЛА, м/с	время суток (освещенность)
14	кол-во опознавательных знаков, шт	перекрытия снимков, %
15	кол-во опознавательных знаков, шт	измеряемая поверхность
16	кол-во опознавательных знаков, шт	скорость ветра, м/с
17	кол-во опознавательных знаков, шт	режим погоды
18	кол-во опознавательных знаков, шт	время суток (освещенность)
19	перекрытия снимков, %	измеряемая поверхность
20	перекрытия снимков, %	скорость ветра, м/с
21	перекрытия снимков, %	режим погоды
22	перекрытия снимков, %	время суток (освещенность)
23	измеряемая поверхность	скорость ветра, м/с
24	измеряемая поверхность	режим погоды
25	измеряемая поверхность	время суток (освещенность)
26	скорость ветра, м/с	режим погоды
27	скорость ветра, м/с	время суток (освещенность)
28	режим погоды	время суток (освещенность)

Таблица 2.3 – Частные средние, соответствующие определенным уровням факторов А и В

Фактор В (режим погоды)	Фактор А (высота полета, м)				
	60	80	100	120	140
облачно	4,7	4,9	8,5	9,8	13,3
солнечно	2,5	3,0	5,7	5,7	8,0

Контроль вычислений осуществляется по формуле (2.3):

$$\bar{x} = \sum_1^p \sum_1^d \bar{x}_i n_i / N, \quad (2.3)$$

где p_i – уровни фактора В,

d_i – уровни фактора А.

Сравнение частных и общего средних является качественной оценкой совместного влияния на погрешность маркшейдерского полета факторов высоты полета геодезического квадрокоптера и режима погоды в момент выполнения испытания. Существенные различия в частных средних, а также их отличие от общего среднего обуславливается двумя причинами: изменение уровня А и В, т.е. рассматриваемые факторы оказывают существенное влияние погрешность съемки; возникновением случайных причин: погрешность выполненных измерений, различная представительность выборок, другие, не учитываемые в данном конкретном анализе, факторы.

Характеристикой влияния факторов А и В на показатель погрешности является факторная сумма квадратов отклонений (2.4):

$$S_{\text{факт}} = \sum_1^{pd} n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 = 296,5 \quad (2.4)$$

Таблица 2.4 – Частные средние, соответствующие определенным уровням факторов А и В

Фактор В (режим погоды)	Фактор А (высота полета, м)				
	60	80	100	120	140
облачно	11,0	8,5	10,7	30,5	135,5
солнечно	50,8	39,2	2,3	2,7	5,5

Рассеивание вычисленных значений x_i от частных средних является итогом действия только лишь случайных, т.е. остаточных факторов, так как частные средние определены для одного и того же уровня изучаемых факторов.

Таким образом, остаточная сумма квадратов отклонений представляет собой характеристику влияния на изменения показателя x остаточных факторов (2.5):

$$S_{\text{ост}} = \sum_1^p \sum_1^d \sum_1^{n_i} (x_i - \bar{x}_l)^2 = 11,0 \quad (2.5)$$

Общее рассеивание измеренных значений, вызванное действиями рассматриваемых факторов А и В, а также случайными факторами, вычисляется по формуле (2.6):

$$S_{\text{общ}} = \sum_1^N (\bar{x}_l - \bar{x})^2 = 307,5 \quad (2.6)$$

Контролем правильности вычислений сумм квадратов отклонений служит равенство (2.7):

$$S_{\text{факт}} + S_{\text{ост}} = S_{\text{общ}} = 307,5 \quad (2.7)$$

Следующим шагом математического анализа является вычисления факторной и остаточной дисперсии (2.8 и 2.9):

$$\sigma_{\text{факт}}^2 = \frac{S_{\text{факт}}}{pd-1} = 15,6 \quad (2.8)$$

$$\sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{S_{\text{ост}}}{N-pd} = 0,3 \quad (2.9)$$

$F_{\phi} = \sigma_{\text{факт}}^2 / \sigma_{\text{ост}}^2 = 56,9$ и больше $F_{\phi} = 1,9$, при $q=0,05$ и $r_1 = pd - 1 = 19$ и $r_2 = N - pd = 40$ (по распределению Фишера).

Таким образом, можно утверждать, что высота полета коптера и режим погоды оказывают существенное влияние на погрешность маркшейдерского полета: $k_d = (S_{\text{факт}}/S_{\text{ост}}) \times 100 = 96,4\%$.

Для оценки воздействия на показатель погрешности отдельно фактора высоты полета и режима погоды, необходимо произвести вычисления групповых средних по уровням факторов А и В (2.10):

$$\bar{x}_{A_l} = \frac{\sum_1^{n_A} x_i}{n_{A_l}} = \frac{\sum_1^p n_i \bar{x}_i}{n_{A_l}} ; \bar{x}_{B_l} = \frac{\sum_1^{n_B} x_i}{n_{B_l}} = \frac{\sum_1^d n_i \bar{x}_i}{n_{B_l}}, \quad (2.10)$$

где n_{A_l} и n_{B_l} – сумма частот по каждому уровню факторов А и В.

Результаты вычислений групповых средних по уровням факторов А и В представлены в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 – Групповые средние по фактору В

Фактор В (режим погоды)	Фактор А (высота полета, м)				
	60	80	100	120	140
облачно	8,3				
солнечно	5,0				

Таблица 2.6 – Групповые средние по фактору А

Фактор В (режим погоды)	Фактор А (высота полета, м)				
	60	80	100	120	140
облачно	1,8	2,0	3,6	3,9	5,3
солнечно					

Величиной, отражающей влияние на погрешность съемки, являются существенные различия в групповых средних \bar{x}_{A_i} и \bar{x}_{B_i} , а также их существенное отличие от общего среднего, характеристикой которого в свою очередь является сумма квадратов отклонений факторов (2.11 и 2.12):

$$S_A = \sum_1^d n_{A_i} (\bar{x}_{A_i} - \bar{x})^2 = 757,7 \quad (2.11)$$

$$S_B = \sum_1^p n_{B_i} (\bar{x}_{B_i} - \bar{x})^2 = 80,7 \quad (2.12)$$

Вычисление дисперсии по факторам высоты полета и режима погоды осуществляется по формулам 2.13 и 2.14:

$$\sigma_A^2 = \frac{S_A}{d-1} = 189,4 \quad (2.13)$$

$$\sigma_B^2 = \frac{S_B}{p-1} = 26,9 \quad (2.14)$$

тогда $F_A = \sigma_A^2 / \sigma_{\text{ост}}^2 = 690,5$; $F_B = \sigma_B^2 / \sigma_{\text{ост}}^2 = 98,0$. Определяя случайные числа по F-распределению, находим: для фактора А (высота полета) – $F_{qA} = 2,61$; для фактора В (режим погоды) – $F_{qB} = 2,84$. Поскольку $F_A > F_{qA}$ и $F_B > F_{qB}$, каждый из рассматриваемых факторов существенно влияет на погрешность маркшейдерской съемки.

Контролем правильности расчетов сумм квадратов отклонений по факторам А и В будут являться приведенные равенства (2.15. и 2.16):

$$S_{\text{общА}} = S_A + S'_B + S_{\text{ост}} = 1619,6 \quad (2.15)$$

$$S_{\text{общВ}} = S_B + S'_A + S_{\text{ост}} = 307,5, \quad (2.16)$$

где $S'_B = \sum_1^p \sum_1^d n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{A_i})^2 = 850,9$;

$S'_A = \sum_1^p \sum_1^d n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{B_i})^2 = 215,8$.

Данные суммы определяют рассеивание частных средних относительно групповых средних. Например, рассеивание частных средних \bar{x}_i относительно средних \bar{x}_{A_i} по фактору А вызвано влиянием на показатель \bar{x} фактора В.

Коэффициенты детерминации по факторам А и В соответственно (2.17 и 2.18):

$$k_d(A) = (S_A/S_{\text{общ}}) \times 100 = 78,6\% \quad (2.17)$$

$$k_d(B) = (S_B/S_{\text{общ}}) \times 100 = 8,4\% \quad (2.18)$$

Следовательно, на погрешность маркшейдерской съемки геодезического квадрокоптера наиболее существенно воздействует высота его полета.

В результате вышеприведенного алгоритма расчета двухфакторного дисперсионного анализа, были определены коэффициенты детерминации остальных двадцать семи исчислений, величинные результаты которых отражены в таблице 2.7.

При последующей математической обработке был осуществлен расчет процентного соотношения восьми факторов влияния на погрешность маркшейдерской съемки, диаграмма итоговых вычислений которых представлен на рисунке 2.2.

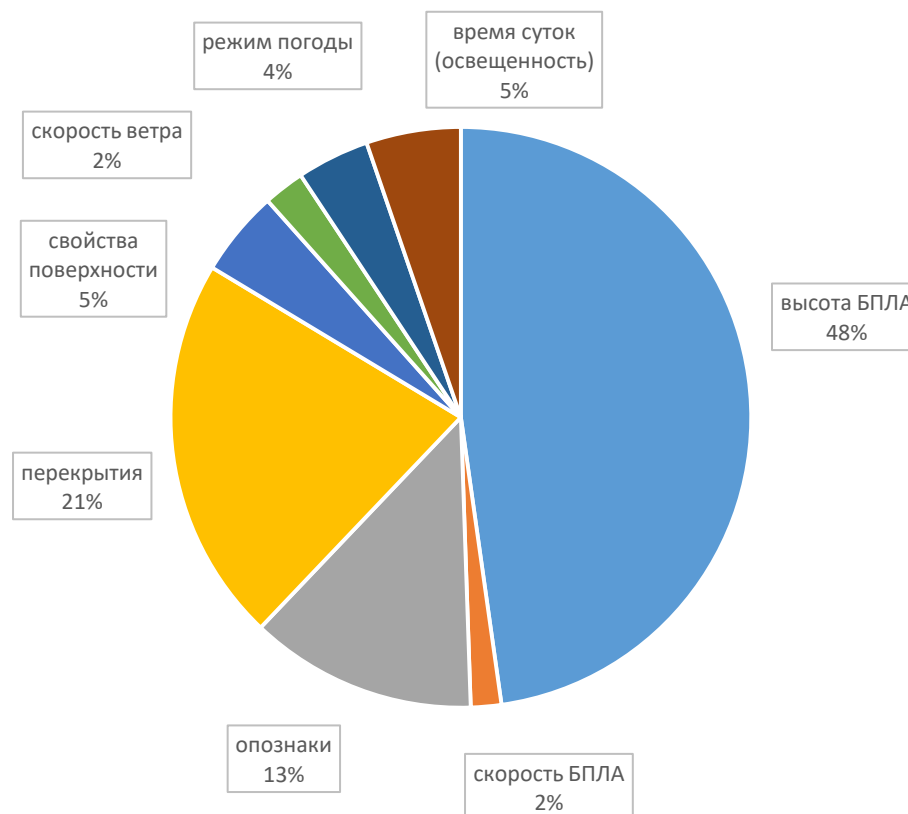


Рисунок 2.2 – Степень влияния изучаемых факторов на точность съёмки квадрокоптером

Таблица 2.7 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа

Наименование пар факторов	Коэффициент детерминации фактора 1, %	Коэффициент детерминации фактора 2, %
высота БПЛА/скорость БПЛА	97,6	2,0
высота БПЛА/опознаки	62,6	21,9
высота БПЛА/перекрытия	39,3	38,7
высота БПЛА/свойства поверхности	68,4	14,1
высота БПЛА/скорость ветра	80,1	11,2
высота БПЛА/режим погоды	72,3	15,6
высота БПЛА/время суток (освещенность)	65,8	16,0
скорость БПЛА/опознаки	10,0	65,1
скорость БПЛА/перекрытия	8,1	76,8
скорость БПЛА/свойства поверхности	35,8	49,9
скорость БПЛА/скорость ветра	43,2	51,5
скорость БПЛА/режим погоды	28,5	62,2
скорость БПЛА/время суток (освещенность)	20,4	65,1
опознаки/перекрытия	40,2	55,2
опознаки/ свойства поверхности	68,1	21,2
опознаки/скорость ветра	67,5	14,5
опознаки/режим погоды	55,2	34,8
опознаки/время суток (освещенность)	61,3	25,4
перекрытия/ свойства поверхности	70,1	14,5
перекрытия/скорость ветра	88,1	10,2
перекрытия/режим погоды	72,4	15,8
перекрытия/время суток (освещенность)	66,1	20,8
свойства поверхности/скорость ветра	45,2	35,8
свойства поверхности/режим погоды	56,8	28,9
свойства поверхности/время суток (освещенность)	60,5	30,2
скорость ветра/режим погоды	34,1	58,9
скорость ветра/время суток (освещенность)	32,1	66,0
режим погоды/время суток (освещенность)	40,8	56,1

Двухфакторный дисперсионный анализ, как математический инструмент, обеспечил полноту понимания амплуа и величины степени воздействия факторов влияния по отношению на предмет исследования – погрешность маркшейдерского полета с помощью геодезического квадрокоптера. По итогу вычислительного исследования, выявлена доминантности высоты полета БПЛА, перекрытия снимков и количества опознавательных знаков в отношении не только оценки точности полета, но и процесса маркшейдерской съемки в целом. Роль миноритарных факторов влияния не так велика в своей математической величине, однако,

учитывая валидность проведенных расчетов и их суммарное значение воздействия на итоговую погрешность, достаточно значима.

Главным выводом является то, что факторы, имеющие наибольшее влияние на точность съемки, являются регулируемы. Тем самым, маркшейдер при подготовке к полевым работам для маркшейдерской съемки, может напрямую устанавливать уменьшение погрешности благодаря пониманию соотношения факторов влияния при формировании ошибки полета геодезического квадрокоптера.

2.6 Регрессионный математический анализ, задачи и результаты

Следующим шагом на пути к обоснованию и разработке методики использования квадрокоптера для маркшейдерских съемок карьеров является создание программного продукта, способного выполнять предварительную (предполетную) оценку точности маркшейдерских измерений. Для достижения поставленной задачи был проведен регрессионный анализ модели с использованием классического метода наименьших квадратов. В модели учтены категориальные факторы (свойства поверхности, режим погоды, время суток), квадратичные влияния числовых факторов, а также их парные взаимодействия. Дальнейшее усложнение модели не целесообразно ввиду высокой мультиколлинеарности факторов. Для того, чтобы учесть влияние категориальных факторов с более чем двумя значениями, провели их преобразование в фиктивные переменные.

На основе определения соотношений и корреляционных зависимостей количественных и качественных величин факторов влияния на ошибку маркшейдерского полета, выполнено формирование единого уравнения, переменные которого соответствуют элементам воздействия на погрешность съемки геодезического квадрокоптера (2.19).

$$M, \text{ см} = 137,9 + 0,1611H + 0,3406V1 + 0,085 V2 - 1,842 P1 - 0,853P2 - 24,52N - 0,652Z - 0,067K - 1,936NR + 2,655R + 1,817V - 0,842D - 0,975Y + 0,332O - 0,332S + 0,002911H^2 + 0,03529V^2 + 0,01724P^2 - 0,00642H*V2 - 0,00746H*P1 + 0,2492P2*N, \quad (2.19)$$

где H, м – высота выполняемого полёта,

V1, м/с – скорость квадрокоптера,

V2, м/с – скорость ветра,

P1, % – величина продольного перекрытия,

P2, % – величина поперечного перекрытия,

N, шт – количество опознаков; категориальные факторы:

S – солнечно,

O – облачно,

Z – зачищенная поверхность,

- К – кустарники,
 NR – низкая растительность,
 R – редколесье,
 V – вечер,
 D – день,
 Y – утро.

Следует отметить, что приведенная формула представлена в общем виде, и для каждого конкретного сочетания факторов будет иметь упрощенный вид. Каждый из исследованных категориальных факторов (свойства поверхности, режим погоды, время суток) принимает значения 0 или 1, то есть в итоговой формуле задается бинарно для упрощения восприятия и использования. Раскладка регрессионного анализа, включающего все операторы данной математической обработки, приведена на рисунке 2.3.

Регрессионная статистика									
Множественный R	0,883250554								
R-квадрат	0,780131541								
Нормированный R-квадрат	0,777091885								
Стандартная ошибка	2,471316424								
Наблюдения	441								
Дисперсионный анализ									
		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия		6	9404,838578	1567,473096	256,6512505	2,5863E-139			
Остаток		434	2650,613712	6,107404867					
Итого		440	12055,45229						
		<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
Y-пересечение		13,023018	3,091067837	4,21311297	3,06517E-05	6,947694218	19,09834177	6,947694218	19,09834177
H,м		0,221987737	0,007286649	30,46499646	7,5266E-110	0,207666229	0,236309245	0,207666229	0,236309245
V(бпла), м/с		0,279871499	0,079889209	3,503245352	0,000507337	0,122853654	0,436889343	0,122853654	0,436889343
V(ветер), м/с		0,045732687	0,032350446	1,413664791	0,158177215	-0,017850336	0,10931571	-0,017850336	0,10931571
ПродПер		-0,754708717	0,048685882	-15,50159272	1,90299E-43	-0,85039814	-0,659019294	-0,85039814	-0,659019294
ПоперПер		0,364576244	0,07068698	5,157615218	3,81041E-07	0,225644874	0,503507614	0,225644874	0,503507614
N (опознaki), шт		-2,466089913	0,241349443	-10,21792252	4,16415E-22	-2,940448967	-1,99173086	-2,940448967	-1,99173086
ФОРМУЛА:		$M=13,0230179963331+0,221987737*N+0,279871499*V(БПЛА)+0,045732687*V(ветра)-0,754708717*(ПродПер)+0,364576244*(ПоперПер)-2,466089913*(Опознaki)$							

Рисунок 2.3 – Раскладка регрессионного анализа и приведение формулы прогнозирования погрешности в MS Excel

Коэффициент детерминации составленной модели прогнозирования и управления погрешностью составляет 78,9 %, что характеризует достаточную надежность уравнения, имеющего высокую прогнозирующую способность по шкале Чеддока.

На основе полученной зависимости будет разработан программный продукт, позволяющий предварительно оценивать вероятное качество планируемого полёта путем задания набора исследованных нами факторов: выбранных наблюдателем значений перекрытий снимков, планируемой высоты полета квадрокоптера, его скорости, скорости ветра на выбранной высоте, свойств поверхности, режима погоды и времени суток.

Математическая обработка выполненного исследования, являющаяся производной набора обширного массива эмпирических данных, представляет собой широкий спектр для

дальнейшей формализации анализа полученных сведений. Полученные данные исследования являются значимым подспорьем к формированию методических указаний по выполнению аэрофотограмметрической съемки горных объектов с помощью квадрокоптера.

2.7 Выводы по главе 2

1) Одной из производных создания, формирования и обоснования методики геодезического квадрокоптера для выполнения маркшейдерских задач является проработка источников отрицательного влияния на искомую конечную методику, представляющие собой факторы влияния на измерительный процесс, при возникновении которых проявляется погрешность, которая оказывает воздействие на конечную точность и, как следствие, на итоговую заданную инженерную задачу.

Данные факторы можно представить в виде некоторой классификации: регулируемые и нерегулируемые. К регулируемым относятся следующие параметры влияния на погрешность:

- высота маркшейдерского полета;
- скорость маркшейдерского полета;
- продольное и поперечное перекрытие снимков;
- свойство снимаемой поверхности;
- количество опознавательных знаков.

Нерегулируемые факторы влияния на погрешность маркшейдерского полета геодезического квадрокоптера:

- режим погоды при производстве маркшейдерского полета;
- время суток в момент выполнения полета;
- скорость ветра при осуществлении экспериментальных маркшейдерских полетов.

2) Достаточные количественные и качественные выполненные эмпирии в предложенном исследовании дали возможность получения предварительного анализа каждого параметра полета геодезического квадрокоптера, что позволило определить консультативные наставления в его методике рационального использования на открытых горных работах. В нее, без исключения, вошли все дополнительные факторы влияния на погрешность маркшейдерской съемки в статусе оцененных практически и ставших источниками введения актуальных установок и советов в процессе производства полевых работ.

3) Математический анализ, являющийся фундаментом предложенной методики, помимо совокупностей валидных исчислений эмпирий имеет конкретную систему выполнения маркшейдерского полета, алгоритм действий полевых работ, используя геодезический квадрокоптер. При выполнении исходных установок исследования, представляющих вычислительный характер обоснования, были применены два математических способа:

дисперсионный двухфакторный и регрессионный анализы, в результате которых были получены основные цели изысканий:

– факторы, имеющие наибольшее влияние на точность съемки, являются регулируемыми. Тем самым, маркшейдер при подготовке к полевым работам для маркшейдерской съемки, может напрямую устанавливать уменьшение погрешности благодаря пониманию соотношения факторов влияния при формировании ошибки полета геодезического квадрокоптера;

– на основе определения соотношений и корреляционных зависимостей количественных и качественных величин факторов влияния на ошибку маркшейдерского полета, выполнено формирование единого уравнения, переменные которого соответствуют элементам воздействия на погрешность съемки геодезического квадрокоптера, что стало основой формирования предложенной методики приведенного исследования.

ГЛАВА 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ, КАК ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОГРЕШНОСТЬ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЪЕМКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ КВАДРОКОПТЕРОМ

3.1 Генезис погрешностей выполнения маркшейдерских съемок на карьерах с помощью геодезического квадрокоптера

Для достижения цели формирования методики выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера, которая в полной мере будет соответствовать требованиям маркшейдерского дела с точки зрения как научного обозрения, так и действующей практической технологии, необходимо было исключить субъективные смыслы толкования предложенной методики маркшейдерского обеспечения – обосновать с помощью конкретных вычислительных алгоритмов и их результирующих численных величин чистоту валидности и объективность сути представленной методики. Кроме того, рациональный выбор методов математического анализа, позволивший достичь поставленных целей вычислительных изысканий, дал возможность в полной мере получить общую картину изучаемых факторов влияния на погрешность маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера.

Для удобства выдвижения теоретических умозаключений и упорядоченности выполнений практических опытов, ранее была предложена условная классификация факторов влияния на погрешность маркшейдерского полета, представляющая собой их деление на «регулируемые и «нерегулируемые, что было обосновано принципом возможности управления ими оператором прибора беспилотной технологии измерения (рисунок 2.1).

В результате выполнения должного и систематически корректного математического анализа факторов влияния и включения его выводов непосредственно в искомую методику, создание нового представления о делении параметров ошибки полета будет оправдано и обусловлено принципом значительности степени влияния на погрешность съемки (рисунок 3.1).

Каждый фактор влияния, причинность его возникновения имеет собственную специфическую тематику исследования, перспективность которых может привести к актуальным открытиям, свойства и выводы которых в полной мере имеют возможность оказать положительный динамический резонанс на все перспективные направления применения БПЛА в инженерной сфере, в частности на методику маркшейдерского полета. В силу относительной современности и актуальности использования БПЛА, как приборов маркшейдерских измерений, его исследовательские характеристики имеют безграничную и широкую возможность для ученых, компетентно представляющих концепцию применения беспилотной

технологии, и напрямую имеющие возможность улучшить методики, способы его применения, по мере получения результатов изысканий по этой теме.

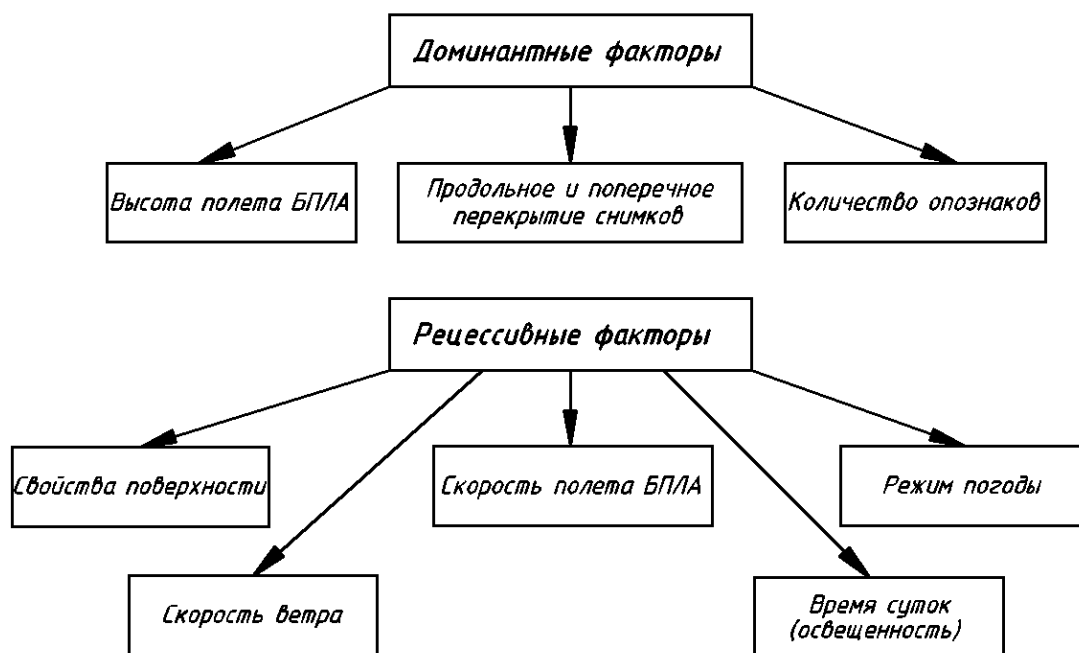


Рисунок 3.1 – Бифуркация факторов влияния на погрешность маркшейдерской съемки по принципу значительности воздействия

3.2 Доминантные факторы влияния, их сущность и степень воздействия на погрешность маркшейдерского полета

Определяющим, весомым успехом результатов математических изысканий являются совпадение и включение доминантных факторов в группу регулируемых, что дает преимущество в управлении ошибкой измерения оператором.

Касаемо степеней воздействия факторов влияния, нельзя отрицать подавляющую роль высоты полета геодезического квадрокоптера в спектре процентных величин воздействия конгломерации факторов на погрешность. Опираясь на данные математического анализа, в частности дисперсионного метода, почти половина (48%) составляющей ошибки маркшейдерской съемки – это роль высоты полета измеряющего коптера. Авангардность данного фактора, как главного источника генезиса отклонений измерений, обусловлено многими причинами, имеющими характер следствия конструктивности коптера, в особенности фотографического аппарата.

1. Вследствие неравномерного изменения давления в пространстве и времени направление и скорость ветра постоянно подвергается изменению. А с высотой, скорость ветра повышается ввиду убывания силы трения. Пример данного факта может найти отражение в приложениях, которые представляют собой специальные программы для операторов БПЛА,

оказывающие помощь в определении благоприятных для полетов условий погоды в текущий или заданный момент времени и местонахождения. Например, один из самых популярных приложений UAV Forecast (рисунки 3.2 - 3.3).



Воскресенье 00:00 MSK			
Высота над земл. ↑	Скорость ветра →	Скор. порывов →	Температура ↓
1 500m	42 km/h ↘	49 km/h ↘	-9°C
1 250m	43 km/h ↘	50 km/h ↘	-7°C
1 000m	44 km/h ↘	52 km/h ↘	-5°C
900m	45 km/h ↘	53 km/h ↘	-5°C
800m	45 km/h ↘	54 km/h ↘	-4°C
700m	46 km/h ↘	55 km/h ↘	-4°C
600m	46 km/h ↘	57 km/h ↘	-3°C
500m	47 km/h ↘	58 km/h ↘	-3°C
400m	44 km/h ↘	57 km/h ↘	-2°C
300m	41 km/h ↘	56 km/h ↘	-2°C
200m	38 km/h ↘	55 km/h ↘	-1°C
100m	33 km/h ↘	52 km/h ↘	-1°C
50m	27 km/h ↘	48 km/h ↘	0°C
10m	19 km/h ↘	41 km/h ↘	0°C

Рисунки 3.2 – Таблица неблагоприятных показателей скоростей ветра, порывов и температуры с увеличением высоты в программе UAV Forecast



Понедельник 00:00 MSK			
Высота над земл. ↑	Скорость ветра →	Скор. порывов →	Температура ↓
1 500m	25 km/h →	30 km/h →	-10°C
1 250m	24 km/h →	30 km/h →	-9°C
1 000m	22 km/h →	29 km/h →	-7°C
900m	21 km/h →	28 km/h →	-6°C
800m	20 km/h →	26 km/h →	-6°C
700m	18 km/h →	25 km/h →	-5°C
600m	17 km/h →	23 km/h →	-4°C
500m	16 km/h →	22 km/h →	-4°C
400m	14 km/h →	21 km/h →	-3°C
300m	13 km/h →	19 km/h →	-3°C
200m	11 km/h →	18 km/h →	-2°C
100m	9 km/h →	16 km/h →	-2°C
50m	7 km/h →	13 km/h →	-2°C
10m	3 km/h →	8 km/h →	-2°C

Рисунки 3.3 – Таблица благоприятных показателей скоростей ветра, порывов и температуры с увеличением высоты в программе UAV Forecast

Таким образом, конструктивная особенность геодезического квадрокоптера, выраженная в малых размерах и определенной степени парусности формы, а также особенность

корреляционной зависимости высоты полета и параметров ветра, находят отражение в правильности линии маршрута полета, качестве фиксации и фокусировки изображения и, как итоге, в погрешности маркшейдерской съемки.

2. Параметры камеры, фотоаппаратуры, установленной на геодезическом квадрокоптере, играют важную роль в качестве изображений, являющихся основой создания плотного облака точек будущей модели измеряемой поверхности.

Практические измерения, проводимые в рамках научного исследования, выполнялись с помощью геодезического прибора Phantom 4 Pro V2.0. Камера дрона оснащена 1-дюймовой матрицей CMOS с разрешением 20 Мп и механическим затвором, позволяющим создавать фотографии в динамике, даже если летательный аппарат движется с высокой скоростью. Кроме того, геодезический прибор оснащен оптимизированным широкоугольным объективом с диафрагмой $f/2.8$, который обеспечивает высокую детализацию фото и видео с яркими и реалистичными цветами.

Однако, логично утверждать, что геометрия объектива является параметром прямопропорциональной зависимости – чем выше коптер, тем больше обеспечивается охват территории снимаемой поверхности, обеспечивая увеличение характерных точек для связывания их между собой, улучшая тем самым построение цифровой модели. Данное преимущество имеет строго обратное отрицательное последствие, которое характеризуется качеством изображения, обусловленного показателем разрешения фотоаппаратуры. Зачастую динамическое движение геодезического коптера на высокой скорости и высоте становится источником значительного уменьшения графичности и корректности фотографии, и, как следствие, нарушения целостности группы облака точек (рисунки 3.4 – 3.5).



Рисунок 3.4 – Фотография, включающая изображение опознака, произведенная на высоте 120 м



Рисунок 3.5 – Фотография, включающая изображение опознака, произведенная на высоте 75 м.

Таким образом, оператор беспилотного аппарата должен иметь компетенции и опыт, включающие в себя парадигму понимания компромиссности выставления численного значения высоты полета, как главного параметра образования погрешности процесса маркшейдерской съемки.

3. Высота, как параметр размера, – это расстояние по вертикали, являясь параметром дальности. Определенная удаленность коптера от базовой станции несет в себе накопление незначительных ошибок полета, нарушения целостности связей между устройствами и отсутствие зрительного контакта с прибором, что является нежелательным потенциальным фактором риска нарушения связи между оператором и БПЛА. Условные, общепринятые величины дальности расположения базового приемника от места работы БПЛА равны ≈ 20 км, ≈ 50 км, в зависимости от частотности станции. В процессе маркшейдерской съемки геодезический коптер выступает в роли ровера, поэтому для расчета накопления погрешности, в связи с дальностью базовой станции, может быть использована формула, которая зачастую приводится в исчислениях ошибок спутниковых геодезических сетей (3.1):

$$\sigma = \gamma_1 + \gamma_2 D, \quad (3.1)$$

где γ_1 – постоянная величина ошибки, зависящая от типа БПЛА,

γ_2 – постоянная величина ошибки, зависящая от расстояния между базой и ровером,

D , км – расстояние между базой и ровером.

Следующим по значительности после высоты полета геодезического квадрокоптера фактором влияния является параметр продольного и поперечного перекрытий снимков. Всякую аэрофотосъемку площади, в частности маркшейдерскую съемку горных объектов, осуществляют с взаимным перекрытием смежных снимков маршрута, которое имеет название –

продольное перекрытие, и с взаимным перекрытием снимков смежных маршрутов, называемое поперечным перекрытием, в соответствии с рисунком 3.6.

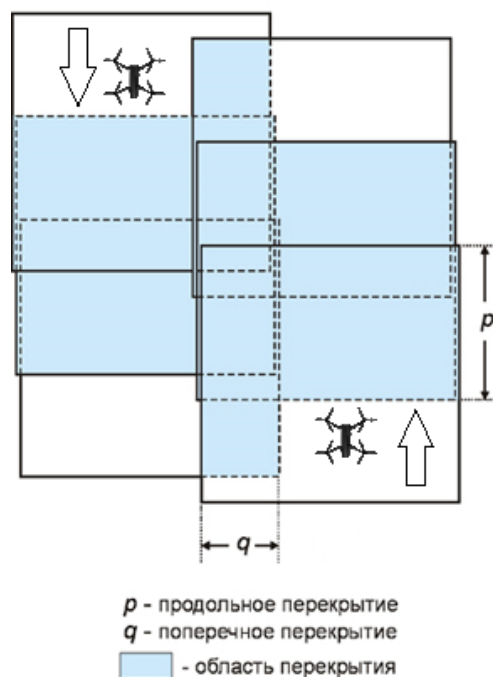


Рисунок 3.6 – Схема образования области перекрытия фотографирования в результате перекрытий снимков

По результатам проведенного исследования: эмпирических натуральных опытов и дисперсионного анализа, процентное значения влияния на погрешность маркшейдерской съемки перекрытий фотографирования, выполненной геодезическим беспилотным прибором измерений, составляет 21%. Стоит отметить, в очередной раз, обусловленность исследования в достижении доказательства значительности влияния перекрытия, как релевантного параметра маркшейдерского полета, и утверждении принадлежности этого фактора, как регулируемого к доминантной группе формирования общей ошибки съемки в условиях открытых горных работ.

Управляемость смежностью снимков для маркшейдерского полета, дает возможность специалистам избегать определенных негативных условий и фактических явлений процесса аэрофотосъемки, определяя соответствующие численные величины продольного и поперечного перекрытия. Тем самым, маркшейдер-оператор БПЛА фактически имеет рычаги воздействия на конечную погрешность полета, в данном случае составляющую чуть более пятой части от общей ошибки, что, в свою очередь, непосредственно влияет на точность маркшейдерского полета. Перекрытия снимков – актуальный релятивный фактор влияния, как и высота полета коптера, имеет ряд характерных причин необходимости вариативности собственного численного значения, чаще всего имеющих прямую связь с другими исследуемыми факторами влияния, что является зоной ответственности и компетентности маркшейдера, как специалиста в области пилотирования геодезических коптеров.

1. Ветер, его скорость и направление по отношению к траектории движения прибора беспилотной технологии имеет возможность деструкции и флуктуации линии полета (маршрута). Таким образом, величины перекрытий, чаще всего имеющих систему измерений, представляющих проценты, могут иметь характер непостоянства, а главное – расхождение значения перекрытия от заданного исходного значения данного параметра, что может привести к стохастической форме создания стереопар, облака точек и так далее.

При упорядоченной системе смежности продольного и поперечного перекрытий снимков, их математическая основа представляется формулами расчета процентного выражения, соответственно (3.2 – 3.3):

$$P_x = \frac{l_x \times 100\%}{l}; \quad (3.2)$$

$$P_y = \frac{l_y \times 100\%}{l}, \quad (3.3)$$

где l_x и l_y - размер перекрывающихся частей снимка,

l - длина стороны снимка.

2. Как и в случае с высотой полета геодезического квадрокоптера в отношении формирования фактора перекрытий существенную роль играет качество фотографической аппаратуры. Разрешение (пиксельность) снимков определяет характер формирования группы фотографий, чьи свойства на прямую влияют на создание облака точек, их качественное и количественное состояние. Таким образом, выявляется практичная и логичная обратная зависимость положительных характеристик и параметров фотографического оборудования, имеющих возможность создания снимков высокого качества и величин процентных соотношений продольных и поперечных перекрытий, значение которых можно подвергнуть уменьшению при лучшей аппаратуре инициализации фотоснимков.

Динамичность прогресса конструктивности параметров фотооборудования, касаемые проблемы характера перекрытий, как фактора влияния на погрешность маркшейдерского полета, с постоянной и нарастающей устойчивостью сводят данную проблему на нет.

3. Выполнение маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера выполняется для достижения разных инженерных целей, что является причиной выполнения полетов над разными видами поверхностей.

Прямая корреляция повышения процентного параметра продольного и поперечного перекрытий с увеличением неровности снимаемого рельефа, является результатом анализа массива эмпирий проведенного исследования, маркшейдерские полеты которого проводились, как и на планарных участках местности, так и в местах горных работ с бортами и уступами, значительной высоты.

Кроме того, в целях получения дополнительных и прикладных сведений о возможностях геодезического коптера, как авангардного средства съемки поверхности, были проведены испытания полета над участками местности, представляющие собой, водную гладь, плоскостные заснеженные поля и земли лесного фонда. Итоговые оценки и выводы, касаемые данных изысканий, после определенного последовательного анализа, будут указаны в рекомендациях по маркшейдерскому полету в методике, а также, некоторые из них, теоретически декларированы и математически представлены в научном труде Блищенко А. А., Применение БПЛА при маркшейдерском обеспечении съемки лесного фонда / А. А. Блищенко, А. П. Санниковой // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27 (№1).

4. После проведенного исследования, представляющего массивную полевую и расчетную части, одним из многочисленных выводов является факт прямой связи факторов влияния между собой, их взаимная синергия и каузально-секвенционные соотношения.

Так, например, помимо ветра, качества фотоаппаратуры и снимаемого вида поверхности, параметром, оказывающим определенное влияние на выбор и установку числового значения продольного и поперечного перекрытий в условиях полевых работ, является режим погоды, в частности освещенность, разного рода блики и ореолы. Данные явления, представляющие параметры, напрямую связанные с качеством фотоаппаратуры и отчасти с другими факторами влияния на общую погрешность съемки, непосредственно зависят от погоды в момент производства маркшейдерского полета.

В ситуации, которая представляет собой маркшейдерский полет, имеющий характер такого вида сложности, решается алгоритмичными и прикладными действиями, касающиеся управления беспилотным аппаратом в процессе съемки, которые в свою очередь подробно представлены в методике как предписания, регламентирующего и рекомендательного характера.

Принимая во внимание итеративность и перманентность продольного и поперечного прикрытия снимков, как значительного и кардинального фактора влияния на погрешность маркшейдерской съемки, формируется однозначная и достаточно тривиальная закономерность, выражаемая в увеличении процентного смеживания снимков оператором коптера, в силу регулируемого характера перекрытий, как фактора влияния, по отношению к ситуациям, негативно оказывающих действие на процесс съемки в процессе полевых работ: ветер, погода, поверхность горных работ сложной конфигурации и так далее. Однако, прямолинейность и элементарность данной зависимости требует от специалиста-оператора рационального понимания процесса маркшейдерской съемки, учитывая целесообразность использования ресурсов геодезического коптера, что выражается в верной концепции установки процентов перекрытий фотографирования, учитывая временную составляющую, которая

прямопропорционально значению смежности снимков для выполнения целесообразной маркшейдерской съемки.

В связи со специфичностью и техническими особенностями выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера, отличающихся от классических методов своей сущностью и квинтэссенцией принципов производства, высока роль специалиста-оператора. Управляющий измерительным прибором помимо профессиональных компетенций в области маркшейдерского дела, обязан иметь опыт проведения полетов и понимать концепцию использования беспилотной технологии, как инженерного инструмента в условиях открытых горных работ. Примером проявления высокой квалификации маркшейдера, при предполетной подготовке процесса съемки, является определение мест для расположения опознавательных знаков.

Как и все исследуемые факторы влияния, параметр опознавательных знаков имеет определенные характерные особенности, отражающие инженерные и геометрические принципы своеобразности маркшейдерской съемки при применении БПЛА.

1. Сегмент опознавательных знаков, как фактор влияния на погрешность маркшейдерской съемки, в градации значимости параметров воздействия имеет весомую роль, при этом, оставаясь регулируемым. Таким образом, важной составляющей выполнения всего маркшейдерского процесса является геометрически обоснованное расположение опознаков и рациональная детерминация их количества в границах территории осуществления облета.

Закономерность выявления зависимости маркшейдерской погрешности от числа опознаков – мажоритарная часть полевого и камерального процесса выполнения эмпирии. Результаты исследования отражают процентное отношение количества опознаков, как фактора влияния, к целому количественному показателю воздействия их всех на погрешность аэрофотосъемки, и составляет 13%. Тем самым, указывая на фактическую важность выбора количества опознаков.

Число опознавательных знаков, выполняющих роль контроля и уравнивания всей модели, зависит от площади границ объекта съемки и предельно допустимой погрешности выполнения определенной инженерной задачи.

Опознаки, по своей сути, выполняют роль точек привязки, поэтому с их применением можно провести параллель использования реперов опорной или съемочной маркшейдерских сетей на месторождении, которые также обеспечивают точность съемки, соотнеся измерительный процесс с ними геометрически. Таким образом, количество опознавательных знаков определяется практическим путем, и обычно не превышает трех штук, которых достаточно для достижения условной точности маркшейдерской съемки, также, как и в типичной геодезической засечке.

Во-первых, их увеличение будет нарушать определенную корреляцию трудоемкости и повышения точности: претенциозная трата времени на расположение дополнительного опознака и его координирование, с точки зрения эффективности, не оправдывает минимизированное уменьшение погрешности привязки всей модели к точкам координации всей снимаемой поверхности.

Во-вторых, традиционная площадь поверхности маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера не превышает 100 га, что эмпирически указывает на отсутствие утилитарности процесса предполетной подготовки при условии расположения опознавательных знаков в большом количестве.

2. Однако, число опознавательных знаков может не иметь какое-либо преимущество в привязке снимаемых горных объектов, если будет не соблюдено условие правильного геометрического их расположения. Продолжая проводить параллель процесса определения диспозиции опознаков с геодезической засечкой, необходимо придерживаться рекомендации их распределения:

1) в случаях выставления опознаков по створной линии или близкого к этому, по этой образованной оси возможно нарушение координированности снимаемого объекта, выраженное в резком падении или увеличении высот точек предмета съемки в сторонах от линии.

2) необходимо выполнять условие распределения точек привязки, заключающееся в составлении ими геометрической «жесткой» фигуры: треугольник, квадрат и др.

3) помимо выполнения расположения опознаков в фигуру, обязательно стремящуюся к равносторонности, следует соблюдать правильность распределения привязочных точек не только в координатной плоскости XU , но и учитывая разницу в высотах Z , основанием которой является трехмерность пространства, описываемое как Евклидово пространство. Приведенная рекомендация особенно характерна для объектов съемки, представляющих собой поверхности, характеризующиеся непостоянством высоты рельефа, например, горная местность, или карьеры, уступы и борта со значительными перепадами.

4) по возможности, определение мест нахождения опознаков должно осуществляться максимально близко к границам объекта маркшейдерской съемки. Данная рекомендация обосновывается типичным искажением и параллаксом фотографий при выполнении съемки и, как в итоге, целой модели, производные которой в незначительной степени будут иметь определенные aberrации в случае условно централизованного распределения опознавательных знаков на не полной площади поверхности, над которой будет выполняться маркшейдерский полет геодезического коптера.

Примеры расположений опознавательных знаков представлены на рисунке 3.7. В итоге, с учетом типичного, эмпирически подтвержденного использования трех опознавательных

знаков при маркшейдерской съемке, оптимальное положение точек привязок будет представлено равносторонним треугольником, максимально захватывающим площадь снимаемого объекта, вершины которого будут располагаться на разных высотах.

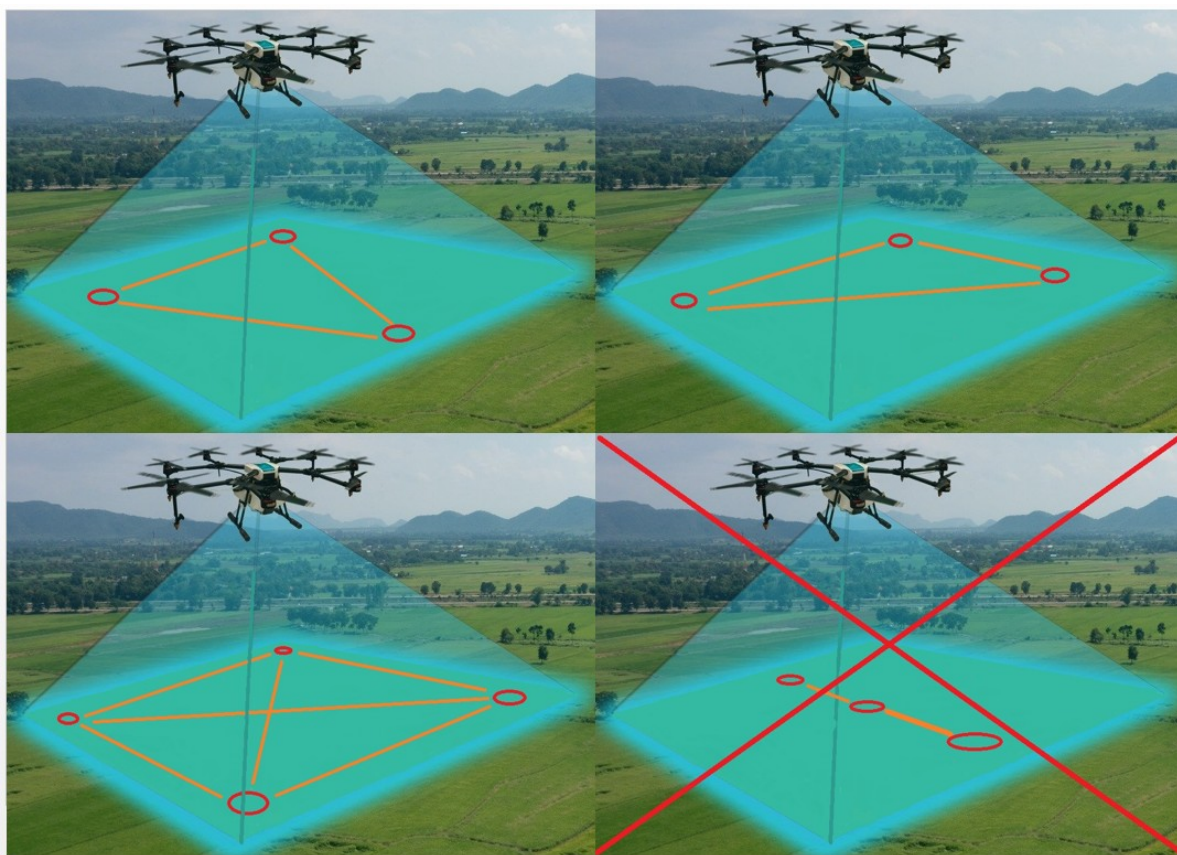


Рисунок 3.7 – Примеры конфигураций расположений опознавательных знаков на измеряемой поверхности

3. Значительная высота полета, приводящая к ухудшению показателя пиксельности фотографий, провоцирующая потери качества снимков, вызывает трудоемкости привязки набора выравненных стереопар и модели к опознавательным знакам. Помимо высоты весомую роль в ухудшении фотографий имеет актуальная погода, в частности туман и идущие дождь и снег, приводящие к нарушению четкости работы объектива фотографической аппаратуры геодезического коптера.

Логичным и рациональным решением проблемы привязки объекта к координированным точкам в процессе камеральной обработки из-за абберации фотографий, будет применение опознавательных знаков, представляющих собой предмет яркого цвета, с выделенными и отчетливыми обозначениями и достаточной крупностью, не теряя параметры их удобства и носибельности. Типичный опознавательный знак, повсеместно применяющийся маркшейдерами при выполнении измерительных работ с помощью БПЛА, представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Оознавательный знак традиционного вида

Дополнительной характеристикой опознавательных знаков может являться изменчивость их положения. Чаще всего раскладка точек привязки производится перед процессом маркшейдерского полета, на этапе предполетной полевой подготовки. Однако, существует и практика постоянного нахождения на горном предприятии не только реперов опорной и съемочной маркшейдерской сети, но и инвариантности позиций опознаков (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Оознавательный знак постоянной маркировки

Применение неизменяемых свое координатное положение опознавательных знаков на горном предприятии должно быть обусловлено надежностью и точностью расположения относительно движений фронта горных работ во избежание случаев нарушений их целостности или уничтожения, а также положением опознаков на соответствующей поверхности, располагающей к яркости и четкости изображения и не влияющей на центр точки координатного определения.

3.3 Рецессивные факторы влияния, их сущность и степень влияния на погрешность маркшейдерского полета

Факторы влияния, относящиеся к группе рецессивных, по отдельности имеют не высокий процент воздействия по отношению к общей погрешности. Однако, их суммарная процентная величина составляет 18%, что уже говорит о их весомости и необходимости изысканий.

Таким образом, совокупность миноритарных факторов указывает на важность недопущения недооценки каждого из факторов рецессивного вида, обратное будет существенной ошибкой маркшейдера, как специалиста-оператора при подготовке к полевым работам, при формировании параметров полета, так и ученого-исследователя при анализе ролей параметров полета на погрешность маркшейдерской съемки и на итог выполнения инженерной задачи в целом.

Возможность уменьшения погрешности маркшейдерской съемки определяет необходимость изучения генезиса и закономерностей появления каждого из факторов влияния на ошибку полета, в частности рецессивных параметров.

При постановке инженерной задачи, ставящейся перед маркшейдером, указывается необходимость съемки определенного объекта, характер которого может быть представлен поверхностью разного вида: горные выработки на открытых горных работах, нативные плоскости с почвенно-растительным слоем, покрытые кустарниками или представленные лесным фондом при условии разного времени года, и как следствие вариации осадков и их последствий и другое.

Каждый из дисперсионного вида поверхности, как модель, как результат решения задачи, имеет дифференциальную природу образования из-за вариативности погрешностей, коррелирующих с видом объекта маркшейдерской съемки. Данное умозаключение частично, но с высокой долей точности и надежности основано на опытах измерений разных поверхностей в процессе маркшейдерской съемки в исследовании, как фактор влияния, наименование которого

– свойство поверхности. Этот параметр делился на группы проведения опытов, наиболее характерных для практических задач в сфере открытых горных работ.

1) Зачищенная поверхность – объект измерения, представляющий плоскость, нативность которой утрачена в соответствии с проектными решениями добычи полезных ископаемых, выраженных в предварительной горной подготовке массива – преждевременной зачистки почвенно-растительного слоя с помощью горной техники (бульдозер), далее претерпевающего процесс складирования до периода рекультивации горного предприятия. Чаще всего маркшейдерская съемка такого объекта, представляется в актуальном топографическом плане поверхности и имеет пионерское значения для маркшейдера, так как является первичной графикой для расчета объема вынутого массива, – первоначальный вид части горного предприятия перед началом добычных работ.

Следует утверждать, что маркшейдерская съемка такой поверхности, не только имеет важную роль в процессе рационального геометрического обеспечения горного предприятия, но и наиболее благоприятна для выполнения полета с помощью геодезического квадрокоптера. Фотографирование указанного горного объекта не несет в себе последствия нарушений целостности облака точек, и последующих каких-либо проблем в камеральных процессах обработки маркшейдерской съемки (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Зачищенная поверхность в условиях ведения горных работ на карьере

2) Низкая растительность – почвенно-растительный слой поверхности, образованный в результате природных процессов в течении нескольких лет без антропогенного воздействия. Высокая трава, кустарники малого размера, торфяные и камышовые заросли, как объекты съемки геодезическим коптером, в относительном спектре целой погрешности полета имеют

малую значимость в количественном выражении, и в последующей качественной формализации результатов обработки. (рисунок 3.11)

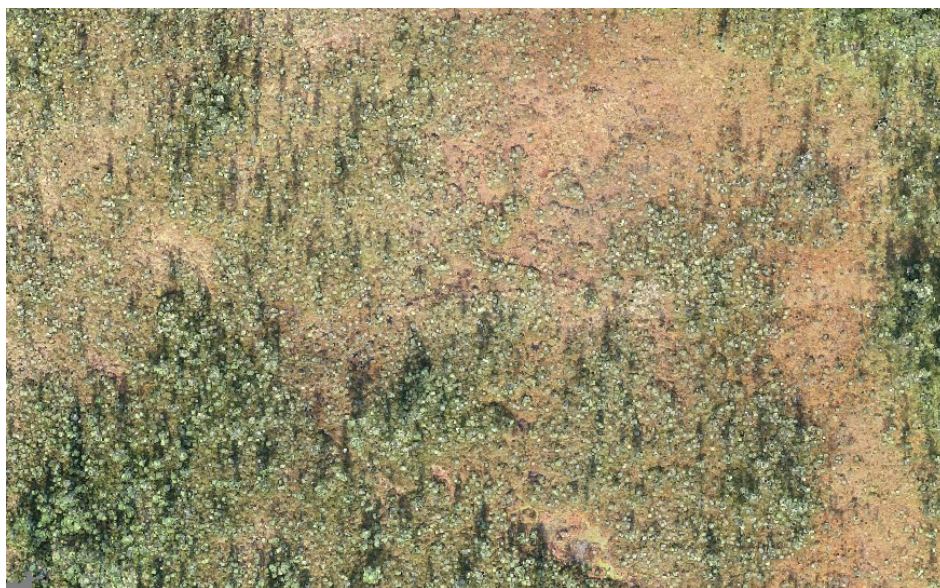


Рисунок 3.11 – Низкая растительность на поверхности в условиях ведения горных работ на карьере

3) Редколесье – как один из представленных видов поверхности приведенного исследования имеет практически такую же незначительную роль в конечной погрешность съемки при производстве полевых работ, однако, нарушает малые участки малоразряженного облака точек в камеральном процессе обработки полета (рисунок 3.12). При стремлении специалиста выполнить высокодетальную обработку поверхности могут возникнуть закономерности флюктуации точек съемки в местах присутствия деревьев, что является одним из доказательств апологетизма иррациональности слишком частой и детальной камеральной обработки поверхности в условиях открытых горных работ и других инженерных задачах.



Рисунок 3.12 – Редколесье на поверхности в условиях ведения горных работ на карьере

Маркшейдерская съемка с помощью геодезического квадрокоптера вышепредставленных видов поверхностей, в условных геодезических обозначениях при составлении актуальной графической документации и планов, представляющих собой уголья, позволяет установить точные их контуры границ, что улучшает качество производства графики, как главную часть маркшейдерского обеспечения в горном производстве.

Исследование диссертационной работы, из-за широкоохватывающих количественных и качественных признаков и свойств выполнения, в очередной раз привело к безграничным сторонам перспективных изысканий, даже касаемых поверхностей маркшейдерской съемки. Так, например, помимо вида поверхностей, представленных присутствием ПРС (почвенно-растительный слой) и/или степеней их произрастания, возможна классификация объекта маркшейдерских изысканий по типу геометрии. Ведущим признаком предложенного типа измеряемой плоскости является относительная возвышенность ее частей участков – дисперсия значений координаты Z в границах площади съемки.

Таким образом, условно, в первом приближении типы поверхностей можно разделить на равнинный, плоскогорный и горный. Эмпирии, проводимые в рамках исследовательской работы, конкретно и непосредственно не были направлены на выявление закономерностей получения погрешности в соответствии с представленными типами измеряемого объекта. Однако, предложенная методика будет вмещать в себя декларации и разъяснения необходимости проведения определенных мероприятий предварительной подготовки полета по обеспечению безопасности выполнения маркшейдерской съемки при действительных возвышенностях в условиях площади измеряемой местности.

Отдельным примером искомой поверхности специфического характера, но по природным признакам схожим с представленными типами плоскостей снимаемого объекта, являются поверхности, с расположенными на них складами полезного ископаемого и отвалообразованиями – насыпи, представляющие собой неотъемлемые объекты горного производства. В отличии от естественных возвышенностей или при их отсутствии, маркшейдерские измерения навалов горных пород выполняются в более ограниченном пространстве, точечным способом аэрофотографирования.

Определение объемов складов и отвалов – одна из самых важных инженерных задач, стоящих перед маркшейдером, как специалистом, отвечающим за геометризацию производства в условиях карьера. При наличии многообразной выборки экспериментов, составляющих основу диссертационной работы, важнейшим научным направлением исследования было выявление корреляции обмера навалов и высоты полета геодезического квадрокоптера, как

мажоритарного фактора влияния на погрешность процесса маркшейдерской съемки. Полученные результаты математически объяснены и практически представлены в научном труде Блищенко А.А. Оценка точности измерения складов на горных объектах с помощью беспилотной технологии / А.А. Блищенко, А.К. Сухова, А.К. Лобынцева // Маркшейдерский вестник, №4 (137), 2020 г, с. 23-27. [19]

В основе предложенных умозаключений данной статьи были заложены закономерности и выводы, ставшие основой для создания программы для электронно-вычислительной машины: «Программа для определения объема склада малого размера, измеренного с помощью комплекса для геодезической аэрофотосъемки на основе квадрокоптера среднего сегмента», запатентованной от 30 июля 2020 г под №2020618624. [99]

Еще одним условием поверхности объекта маркшейдерского процесса является характер его покрытия. Очередной пример конвенционализма классификации объекта представляет собой его деление по принципу природного закрытия истинной поверхности измерения: снежный покров, водная гладь, лесные массивы. Представленная спецификация, не смотря на свой естественный критерий конгломерации, педалируется в силу наиболее трудоспособного, а иногда даже невозможного характера выполнения маркшейдерской съемки при участии данных природных объектов. Однако, при условии существования или преднамеренного применения определенных приемов или инженерных манипуляций в процессе выполнения маркшейдерского полета, в свою очередь носящих предусмотрительный и рекомендательный характер в представленной далее методике использования геодезического коптера, некоторые группы выполненных эмпирий указывают на возможность повышения эффективности маркшейдерского полета с учетом присутствия вышепредставленных классов покрытия искомой поверхности. Так, например, описание опытов, связанных с исследованием маркшейдерского обеспечения лесных фондов, предлагается в научной статье Блищенко А. А., Применение БПЛА при маркшейдерском обеспечении съемки лесного фонда / А. А. Блищенко, А. П. Санниковой // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27 (№1). [20]

Процесс маркшейдерской съемки, в частности подготовительные полевые работы на открытых горных работах, в силу разных обстоятельств и актуальных ситуаций производства, может выполняться достаточное время, что может привести к затягиванию полета в промежутке дневных суток. Выполненные исследования маркшейдерских полетов показали действительные параметры, которые в полной мере отражаются на конечный результат съемки. Освещенность объекта измерения является производной времени суток, в который проводится

маркшейдерское обеспечение, и, в математическом обосновании изысканий, составляет 5%, как часть общей погрешности факторов влияния в процентном соотношении.

Фотографическая аппаратура, являющаяся основной составной конструкционной частью геодезического квадракоптера, осуществляет выполнение процесса полета, заключающегося в создании фотографий. Их обработка, создание облачных моделей поверхности оправдывает производительность коптера, как маркшейдерского инструмента, при положении выполнения съемки при нормальных условиях, обусловленного в частности четкостью и яркостью получившихся изображений.

Таким образом, освещенность объекта измерения коррелирует с дневным светом и суточным промежутком времени в целом. Соответственно, экспозиция освещения поверхности, не смотря на свой миноритарный характер влияния на общую погрешность полета, объясняется необходимостью изучения и не допущения пренебрежения этим параметром в ходе процесса подготовки к полевым работам и осуществлении камеральной обработки завершенной инженерной задачи.

Первообразованием света во время полета, как параметра влияния маркшейдерского процесса обеспечения, является не только время суток, но и режим погоды, фактор также являющийся субъектом изыскательных измерений и выполненных эмпирий. Исследования, касаемые данного параметра, показателями которого являлись опыты, проводимые в солнечную и облачную погоду, также показали степень его проявления и воздействия по отношению к общему результату ошибки полета, составляющему 4%. Следовательно, сумма незначительных факторов влияния, выражающихся в экспозиции света при процессе фотографирования поверхности, составляет примерную десятую часть (9%) от общей погрешности, что представляет собой весомое численное значение, требующее аккуратное и предусмотрительное отношение к корректировкам всех этапов маркшейдерского полета, выполняемого с помощью геодезического квадракоптера.

Результаты математических анализов, проведенных на основе массива производственных опытов, выявили факторы, влияющие на маркшейдерский полет коптера при выполнении задачи обеспечения геометризации карьера в меньшей степени в сравнении с другими параметрами съемки. Данные факторы влияния в процентном соотношении значительности составляют по 2%, что отражает их миноритарную роль в маркшейдерской ошибке съемки. Однако, их присутствие в исследовании оправдано и обусловлено не только как дополнительными параметрами, отражающими прецизионность исследования и показателями вариативности генезиса образования погрешности при маркшейдерском полете геодезического

коптера, но и факторами, в силу своего разного характера проявления, создающими необходимый научный интерес к их изучению для формирования сопутствующих вариантов регулирования маркшейдерской съемкой для уменьшения общей ошибки полета.

Скорость ветра, как миноритарный фактор влияния на погрешность, имеет природный генезис. Особенность данного параметра заключается не столько в его численном значении, в малой степени оказывающем воздействие на конечную ошибку полета, что является лишь преамбулой к передовому направлению анализа данного фактора, который заключается в пространственном представлении его действия.

Влияние на конечную ошибку полета скорости ветра является первообразной от геометрического представления действия данной скорости. Так, например, наравне со скоростью ветра, выраженного в численном значении, стоит направление ветра, а именно действие этого направления на сам геодезический коптер и траекторию его движения. Пространственный вектор скорости ветра, представляющий собой спектр направлений ветра на геодезический коптер и его магистральное движение, выраженный геометрически по всему азимуту (360°), может градиентно, в зависимости от соответствия направлений магистрали и ветра воздействовать на полет, в результате чего и образуется действительное влияние на флюктуацию беспилотного аппарата по тангажу, курсу и рысканию, что и вызывает ошибку съемки. (рисунок 3.13)

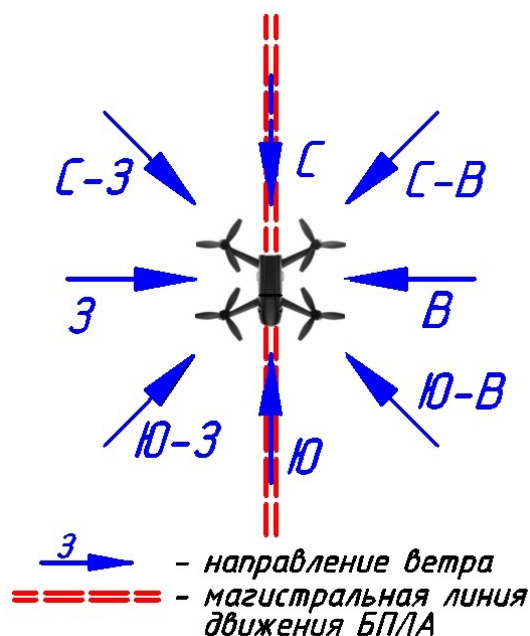


Рисунок 3.13 – Варианты направления ветра на геодезический коптер и его траекторию движения

Таким образом, раскрывается очередной сегмент перспективных изысканий беспилотной технологии в маркшейдерском деле, выраженный в проблеме влияния ветра на геодезический

коптер, основанный как на вычислительных процессах анализа, так и на геометрически-пространственных исчислениях, что показывает широкую область приведенных актуальных исследований.

Скорость беспилотного аппарата – типичный фактор влияния, имеющий малое значение в общей конгломерации образования цельности погрешности. Кроме того, главной особенностью данного параметра является его регулируемый характер, напрямую зависящий и неразрывно связанный с другими факторами, что является обычным признаком для всех исследованных параметров полета.

Примером такой связи является корреляция скорости полета с фактором продольного и поперечного перекрытия, в свою очередь зависящий от интервала работы затвора камеры, как устройства фотографической аппаратуры, являющегося важным конструктивным сегментом геодезического квадрокоптера. Для полного и детального раскрытия фактора влияния, а именно скорости полета и его влияния на конечную погрешность маркшейдерской съемки, необходимы дополнительные эмпирические испытания для выявления конкретной зависимости с интервалом работы затвора фотоаппаратуры, и определения рационального и компромиссного соотношения связи между скоростью движения беспилотного аппарата и четкой работы его фотографического устройства, в частности однозначно итерационного процесса выполнения снимков.

Возможность такого рода испытаний в очередной раз доказывает и отражает безграничность перспективности использования беспилотной технологии в маркшейдерском обеспечении карьеров, даже не смотря на миноритарный характер такого фактора влияния, как скорость геодезического коптера в процессе съемки.

3.4 Выводы по главе 3

1) Одной из главных целей формирования методики выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера является исключение субъективных смыслов толкования представленной технологии маркшейдерского обеспечения. Для достижения поставленной цели на основе проведенных вычислительных изысканий, декларировано необходимое подробное и прозрачное представление об изученных факторах влияния на ошибку маркшейдерского полета при использовании геодезического квадрокоптера. В связи с необходимостью рационального разъяснения данных параметров и грамотного включения их непосредственно в предложенную методику, как и остальных математических и практических результатов изысканий, было определено новое представления о бифуркации факторов влияния на ошибку полета, оправданное и обусловленное принципом значительности степени влияния на конечную погрешность съемки.

2) Каждый фактор влияния, его происхождение, причинность проявления и непосредственные связи и синергия с другими параметрами полета становится прямым условием определения тематики исследования, как специфической, обоснованную своей перспективностью и необходимостью в текущем моменте. Дальнейшее раскрытие и будущие анализы приведенных изысканий о факторах влияния могут привести к достижению инженерных открытий, в действительности обладающих большим потенциалом в сфере применения БПЛА в инженерной сфере, в частности в маркшейдерском деле.

3) Целью выполненного исследования, в первую очередь, являлось изыскания и анализ параметров полета, их критериев, величинных характеристик, а также степеней влияния, определяющих и составляющих маркшейдерскую съемку с помощью геодезического квадрокоптера в целом. Однако, по ряду причин, при достижении поставленной цели приведенные поиски повлекли за собой проявление и создание более широких направлений перспективных сегментов исследований концепции применения БПЛА на открытых горных работах, характеризующихся как с научной точки зрения, так и с практического использования в процессе полета и при его подготовке.

Появившаяся конъюнктура исследовательской работы доказывает необходимость и актуальность создания методики применения БПЛА в горном деле, в частности в маркшейдерском обеспечении карьеров, что обусловлено динамикой и современностью науки и техники.

ГЛАВА 4 ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КВАДРОКОПТЕРА НА КАРЬЕРАХ, КАК РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Методика применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах

Настоящая методика применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах разработана с учетом требований Закона Российской Федерации «О недрах» (в редакции Федерального закона от 3 марта 1995 года N 27-ФЗ) (с изменениями на 8 августа 2021 года). Правила применения настоящей методики установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. N 9 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Создание и подготовка методики осуществлялась также с помощью других нормативных документов [31,- 35, 48, 92, 93]:

1) ГКИНП-09-32-80 «Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов». Утверждены ГУГК при Совмине СССР 22.04.1980 и Министерством гражданской авиации СССР 25.04.1980 - Недра, М., 1982;

2) Руководство по аэросъемочным работам. Утверждено заместителем Министра гражданской авиации 30.06.1986 №45/И;

3) Руководство по аэросъёмке в картографических целях (РАФ-89). М., РИО ВТУ ГШ, 1989. Утверждено ВТУ ГШ и ГШ ВВС;

4) ГОСТ Р 59562-2021 «Съемка аэрофототопографическая. Технические требования» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 10 июня 2021 г. N 542-ст. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартиформ, М., 2021;

5) ГОСТ Р 59328-2021. «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 19 февраля 2021 г. N 85-ст. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартиформ, М., 2021.

Методика основывается на теоретических умозаключениях, практических результатах и выводах исследований данной диссертационной работы, являющихся первообразными условиями выполненных эмпирий, дисперсионного и регрессионного анализов, изысканий, образованных в результате математических алгоритмов. Методика в большей степени отражает именно практическую часть маркшейдерского обеспечения, выраженную в процессе предполетной подготовки и непосредственно полевых работ, при этом, имея косвенные рекомендации по камеральной обработке полученных данных полета.

Определенные требования к методике применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах, в частности к отдельным технологическим процессам и операциям, а также требования к специальным видам работ в общем комплексе маркшейдерских работ в

условиях карьера в случае необходимости устанавливаются Заказчиком отдельно в техническом задании для Исполнителя.

Под методикой применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах следует понимать документ рекомендующего характера. Содержанием методики отражается оптимальная технология производства маркшейдерской съемки и других геометрических измерений, исходя из возможностей БПЛА и ресурсов геоинформационных систем, программ, обеспечивающих нормальный технологический цикл полевых и камеральных работ, связанных с использованием недрами и прогнозированием опасных ситуаций в условиях карьера.

Целью разработки данной методики является повышение эффективности маркшейдерского обеспечения открытых горных работ путем применения технологии съемок с использованием беспилотной технологии: техническое регулирование технологических процессов проектирования и выполнения маркшейдерской аэрофотосъемки, установление параметров полета в зависимости от определенных природных условий, актуальной ситуации ведения горных работ и конкретной поставленной инженерной задачи, обеспечивающих высокое качество получаемых материалов аэрофотосъемки и их комплектность, при погрешности съемки, не превышающей нормативные требования к точности маркшейдерских работ при добыче полезных ископаемых открытым способом.

В Российской Федерации настоящая методика не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и распространена в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии и является лишь предлагаемой рекомендательной нормативной документацией.

1. Область применения.

Настоящая методика, на основе проведенной исследовательской работы по анализу факторов влияния на погрешность маркшейдерского полета, устанавливает требования к комплексу работ по цифровой аэрофотосъемке, выполняемой для создания и/или обновления топографических карт и планов, получения других пространственных данных, геометрических сведений и количественных значений, касающихся результатов ведения горных работ открытым способом.

Методика предназначена для применения организациями, независимо от форм собственности и подчинения, выполняющими маркшейдерское обеспечение месторождений путем аэрофотосъемочных работ в целях получения геометрической и пространственной информации о местности.

Предлагаемая методика применения геодезического квадрокоптера на открытых горных работах рекомендована к использованию в условиях карьеров относительно небольших

геометрических размеров ($\approx \leq 100$ га). Однако, в связи с надежностью валидности выполненных эмпирических изысканий, прецизионности их математического обоснования и аналогичности общих принципов ведения горных работ при добыче разного вида полезных ископаемых, возможна транспозиция представленной методики на карьеры, представляющие собой открытые горные работы большего масштаба.

2. Общие положения.

Комплекс маркшейдерских работ с применением геодезического квадрокоптера включает в себя следующие процессы:

- проектирование маркшейдерской съемки при использовании беспилотной технологии (предполетная подготовка);
- выполнение маркшейдерской съемки (полевые летно-съёмочные работы);
- камеральная обработка материалов, полученных по результатам полета (послеполетная обработка данных);
- контроль качества выполненных маркшейдерских работ;
- сдача Исполнителем итоговых материалов Заказчику.

Особые или дополнительные требования по выполнению маркшейдерской съемки при необходимости могут быть указаны в техническом задании.

Настоящая методика представлена в большей степени именно первыми двумя этапами комплекса маркшейдерских работ: подготовка и непосредственно полевая съемка, что обусловлено приведенным исследованием диссертационной работы, которая представляет собой изыскания по факторам влияния именно в процессе полета, их математическим анализам и возможностью прогнозирования погрешности на стадии проектирования маркшейдерской съемки.

3. Требования к маркшейдерским работам с применением геодезического квадрокоптера.

Маркшейдерскую аэрофотосъемку следует выполнять системой, состав и технические характеристики которой удовлетворяют требованиям раздела 5 ГОСТ Р 59328—2021. Выбор вида воздушного судна определяется экономической целесообразностью применительно ко всему комплексу работ маркшейдерского обеспечения карьера в зависимости от поставленной задачи, указываемой в техническом задании, площади и характера поверхности съемки. Если технические возможности воздушного судна позволяют, то на борту могут также эксплуатироваться не только фотографическая аппаратура, но и другое средство измерения (например, лидар).

Техническое обслуживание геодезического коптера и калибровка цифровой фотоаппаратуры должна выполняться с периодичностью, рекомендуемой заводом-изготовителем или указанной в технической документации, а также в случаях замены элементов воздушного судна и после попадания его в аварию и при других инцидентах. В случае отсутствия таких рекомендаций в технической документации, периодичность ТО и калибровки определяется эксплуататором прибора беспилотной технологии, который напрямую несет ответственность за поддержку технического состояния БПЛА.

Помимо технических требований к геодезическому квадрокоптеру, как к маркшейдерскому прибору, необходимо соблюсти юридические регламенты и условия, обеспечивающих законное выполнение маркшейдерских работ с применением беспилотной технологии.

Согласно правилам учета беспилотных воздушных судов, которые утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 25.05.2019 г. № 658, ему подлежат в том числе и геодезические коптеры с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, в независимости от места изготовления. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.03.2010 г. № 138 регламентирует правила применения воздушного пространства Российской Федерации беспилотными судами. Данный разрешительный порядок предусматривает предоставление плана будущего полета и получение на его разрешение в оперативном органе, а именно в Единой системе организации воздушного движения Российской Федерации (ЕС ОрВД).

Перед планированием выполнения маркшейдерского полета необходимо проверить будущую измеряемую местность, которая может относиться к зонам запрещения или ограничения полетов. Такие зоны определены Приказами Минтранса России от 09.03.2016 г. № 47 «Об установлении зон ограничения» и № 48 «Об установлении запретных зон», в воздушном пространстве Российской Федерации. Если пользователем воздушного судна необходимо выполнить работы в данных ограничительных зонах, он обязан получить разрешение лиц, в интересах которых установлены такие зоны, согласно пункту 40 ФАП-138.

К представленным юридическим ограничениям и регламентам, каждому пользователю воздушного судна, в частности маркшейдеру, при использовании геодезического квадрокоптера следует относиться ответственно и полностью понимать, что за нарушение правил использования воздушного пространства Российской Федерации Кодексом РФ об административных правонарушениях установлена соответствующая ответственность физических и юридических лиц.

Программное средство проектирования полетного задания должно обеспечивать создание аэрофотосъемочных маршрутов с учетом технических характеристик аэрофотокамеры и выбранного вида воздушного судна, параметров и условий маркшейдерского полета, рельефа снимаемой поверхности, границ объекта съемки и т.д.

Требования к маркшейдерской аэрофотосъемке, в частности параметры полета, должны быть изложены в техническом задании на выполнение маркшейдерских работ при единичном выполнении съемки на объекте, соответственно межгосударственному стандарту единой системы программной документации ГОСТ 19.201-78 «Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению». При итеративном характере маркшейдерского обеспечения на горном объекте – предписания могут указываться при оформлении договора на работы на бумажном носителе между Заказчиком и Исполнителем.

4. Маркшейдерская съемка с использованием геодезического квадрокоптера на открытых горных работах.

Маркшейдерская съемка с применением геодезического квадрокоптера в условиях карьера по большей части представляет собой топографическую съемку, общепринятая цель которой заключается в составлении планов и карт определенной земной поверхности методом получения информации о ситуации местности. Маркшейдерская съемка, проводимая с помощью аэрофотосъемочного оборудования, как маркшейдерского прибора, включает в себя комплексы работ, условная квалификация которых представляет отдельные операции с вариативными задачами и целями:

1) Аэрофотосъемка в условиях карьера, которую правильно будет относить именно к маркшейдерской работе в силу своего процесса на объекте горных работ. Маркшейдерская съемка с помощью БПЛА заключается в измерении, тем самым получении информации о поверхности земли и ведении горных работ в актуальное время методом произведения фотографий местности, обработка которых далее происходит в специальных программах, которая не отходит от классических алгоритмов и правил аэрофотограмметрии, как науки об определении форм, размеров и положения различных объектов и участков местности. Съемка выполняется в границах, определенных территорией ведением горных работ, которая может выйти за границы лицензионного участка месторождения, или местностью, площадь съемки которой определяется Заказчиком в техническом задании или в договоре с Исполнителем. Результатом маркшейдерской съемки с применением беспилотной технологии является составление горной графической документации, в частности топографический план местности.

На топографическом плане отражаются: рельеф, элементы гидрографии, дороги, горнотехнические и иные сооружения, ЛЭП, здания, коммуникации, отвалы пустых пород,

застроенные территории, карьер, зоны влияния горных работ, целики, пункты маркшейдерской и геодезической опорной сети, и сетей сгущения, пункты съемочной сети долговременного закрепления, границы растительности с указанием их типа и др. На топографических планах указываются высоты точек съемки, необходимые для отражения контуров поверхности.

Составление горной графической документации предусмотрено с использованием условных обозначений в соответствии с требованиями «Условных обозначений для горной графической документации», а также в соответствии с «Условными знаками топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500».

По результатам маркшейдерской съемки месторождения составляется технический отчет, в котором в виде глав отчета или отдельных журналов представлена информация о состоянии пунктов опорной маркшейдерской сети, объемов добычи за отчетный период, и др. Также выполняется подробное описание нарушений ведения горных работ маркшейдером-специалистом, указанные требования и распоряжения должны быть зафиксированы техническим руководством карьера. Книга маркшейдерских указаний и технические отчеты предоставляются недропользователю.

2) Выполнение измерения объемов горных пород – обмер складов полезных ископаемых и отвалов вскрышных пород или складированного почвенно-растительного слоя в границах месторождения.

Маркшейдерская съемка навалов горных пород проводится после окончания процесса складирования полезного ископаемого или отвалообразования вскрышных пород, контрольная съемка – при выявлении изменения формы или объема, по которой корректируются соответствующие данные.

Частота обмера складов и отвалов обычно регулируется на горном предприятии проектом на производство маркшейдерских работ, – регламентирующий документ, являющийся главной и беспрекословной инструкцией по выполнению всех маркшейдерских работ именно на определенном месторождении.

В отличие от съемки земной поверхности (топографической съемки), выполнение измерения объема навала с помощью геодезического квадрокоптера происходит более точно и на ограниченном пространстве. Соответственно этому, обмер склада или отвала является менее трудоемким и времязатратным процессом маркшейдерского обеспечения беспилотной технологией. Однако, управление параметрами съемки, как и в типичном выполнении полета БПЛА для маркшейдерской съемки поверхности, является ключевым действием во избежание увеличения погрешности полета и преодоления значения ошибки предельно допустимых

величин, как результат, обеспечивается повышенная точность и надежность результата, представленная как объем склада или отвала.

При камеральной обработке материалов съемки, полученных при полевых работах, объемы подсчитываются способом в «две руки» и/или двумя независимыми подсчетами в специализированных программах и софтах, соответствующих по типизации технологиям беспилотных аппаратов в маркшейдерской и геодезической сферах.

Подсчет объемов горных пород проводится с целью обеспечения достоверного учета извлекаемых и оставляемых в недрах запасов. Объемы вынутых и складированных горных пород определяются в тех единицах измерения, в которых их планируют и учитывают.

3) При определенных параметрах съемки, имеющих повышенные требования к выполнению полета, возможно осуществление маркшейдерской работы на карьере, погрешность которой имеет самое малое значение по сравнению с допустимыми ошибками при других маркшейдерских процессах обеспечения, – наблюдение за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов. Особенности методики наблюдений и допустимые погрешности отражены в Приказе Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13.11.2020 г. № 439 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов».

Мониторинг устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов навалов выполняется для выявления зон и участков возможного проявления деформационных процессов, организации инструментальных наблюдений за состоянием этих зон и разработки мероприятий, исключающих или снижающих вредное и опасное воздействие этих деформаций.

Для достижения этих целей как при классических методах измерений, так и с помощью беспилотной технологии выполняются следующие виды работ:

- систематические глазомерные наблюдения за состоянием откосов в карьере и на отвалах с целью выявления зон и участков с проявлением деформационных процессов;
- изучение возникших деформаций, установление их характера, причин возникновения и степени опасности, паспортизация деформаций;
- организация инструментальных наблюдений в выявленных зонах;
- разработка мероприятий, предотвращающих развитие деформаций.

Отличие заключается в инструментальных наблюдениях, которые могут выполняться двумя способами;

- закладка наблюдательных станций вдоль профильных линий и определение их координат с помощью геодезического квадрокоптера;

- раскладка опознавательных знаков на итеративных местах их положения или использование постоянных маркеров для определения их координат с помощью геодезического квадрокоптера;

Инструментальные наблюдения производятся для определения величин сдвижения реперов или опознаков в горизонтальной и вертикальной плоскостях и замеров ширины и протяженности трещин на земной поверхности и бермах уступов;

Сроки проведения повторных наблюдений устанавливаются в зависимости от развития процесса сдвижения.

Результаты полевых наблюдений подлежат аналитической и графической обработке. Камеральная обработка результатов наблюдений производится непосредственно по окончании каждой серии измерений.

По каждому нарушению устойчивости откосов уступов и деформаций отвала составляется паспорт с оформлением необходимого графического материала. Цель паспортизации – накопление и систематизация сведений о характере и причинах их возникновения.

4. Проектирование маркшейдерской аэрофотосъемки, определение ее параметров.

Требования к топографической аэрофотосъемке должны быть изложены в техническом задании на маркшейдерскую съемку объекта. Исходя из содержания искомой задачи по маркшейдерскому обеспечению, а именно характеристики выполняемой работы, которые представляют собой следующие параметры:

- вид маркшейдерской задачи: топографическая съемка; обмер навала горной породы; мониторинг устойчивости бортов, откосов уступов и отвалов;

- описание объекта (площадь измеряемой территории, информация о границах местности);

- масштаб итоговой горной графической документации, высота сечения рельефа и другие требования к формату представления материалов.

4.1 Одним из важных показателей выполнения маркшейдерской задачи является точность съемки: соответствие вида работы и допустимой погрешности базируются на регламентирующих документах, которые имеют действующий статус на территории Российской Федерации или общепризнанных нормативов, в актуальное время используемых на

горном производстве и декларированных в ныне действующих инструкциях, но не имеющих соответствующий эквивалент на данный момент.

4.1.1 Маркшейдерская топографическая съемка, выполняемая с помощью беспилотной технологии, имеет сопоставимый принцип выполнения работы аэрофотограмметрической съемки, алгоритм которой описан в действующей ныне РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ», в соответствии с которой допустимая невязка составляет 0,4 мм на плане, а по высоте – 0,03% высоты фотографирования. Следует указать, что данные величины являются инженерным архаизмом предельных ошибок, так как технический прогресс и технологический скачок беспилотной технологии предоставил возможность выполнять аэрофотосъемочные работы с большей точностью.

Касаемо современных регламентирующих документов, а именно ГОСТ Р 59562-2021 «Съемка аэрофототопографическая. Технические требования» точность выполненных работ описана таким образом: «СКП определения планового положения точек фотографирования в результате послеполетной обработки спутниковых измерений не должны превышать 0,15 мм в масштабе карты (плана); СКП высот не должны превышать 0,3 высоты сечения рельефа».

Ссылаясь на ныне действующую «Инструкцию по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500» ГКИНП-02-033-82, в данной методике конгруэнтность характеристики рельефа, высоты сечения и масштаба съемки принимается в соответствии с таблицей 4.1.

Таблица 4.1 – Соответствие характеристики рельефа, высоты сечения и масштаба съемки

Характеристика рельефа	Масштаб съемки		
	1:5000	1:2000	1:1000 1:500
	Высота сечения рельефа, м		
Равнинный	1,0	0,5	0,5
Всхолмленный	2,0	1,0	0,5
Горный и предгорный	5,0	2,0	1,0

Таким образом, опираясь на требования к погрешностям в ГОСТ Р 59562-2021, точность выполненной съемки в реальных величинах, принятая в данной методике как рекомендуемая, допустимые ошибки полета, представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Погрешности выполнения маркшейдерской аэрофотосъемки в соответствии с ее масштабом

Масштаб съемки	Погрешность выполнения съемки относительно планового положения (XY), см	Погрешность выполнения съемки относительно высотного положения (Z), см
1:5000	75	30, (60), [150]
1:2000	30	15, (30), [60]
1:1000	15	15, (15), [30]
1:500	7,5	15, (15), [30]

В столбце 3, числовые значения, не включенные в какие-либо скобки, отражают погрешность выполнения съемки относительно высотного положения в случае равнинной характеристики рельефа, в круглых скобках – всхолмленный рельеф, в квадратных – горный и предгорный рельеф.

Исследования, проводимые в рамках данной диссертационной работы: изыскания изменения точности полета геодезического квадрокоптера, при вариации параметров съемки, были ориентированы на выполнение маркшейдерской съемки масштаба 1:1000, что соответствует классическому представлению о создании нормативной рекомендуемой документации.

4.1.2 Вышепредставленные показатели точностей в большей степени относятся к эффективности и правильности выполнения маркшейдерской аэрофотосъемочной съемки, по результатам которой осуществляется получение сведений о поверхности земли и ведении горных работ в актуальное время для конечного составления или пополнения топографического плана местности.

Производство измерений объемов вынутых пород, эквивалентных по принципу выполнения типичной маркшейдерской съемке, вид которых может быть представлен складами полезного ископаемого и/или отвалами вскрышных пород, регулируется требованиями к точности полета, указанных в таблицах 4.1 и 4.2.

Контроль величин, получения конкретных значений объемов вынутых пород механическим способом (4.1), методом буровзрывных работ (4.2), а также различных навалов горных пород предусматривается в соответствии с формулами нахождения значений

следующих допустимых погрешностей (%), по сути являющихся двойной средней квадратичной погрешности:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{1500}{\sqrt{V}}, \quad (4.1)$$

где V – объем вынутых горных пород, приведенный к объему в целике, м³.

Формула 4.1 применяется для объемов, соответствующих значениям от 20 до 2000 тыс.м³. При расчетах объемов, не заключающихся в данном диапазоне, следует принимать допустимую погрешность по следующей модели: $10\% < [20-2000 \text{ тыс.м}^3] < 1\%$.

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{2200}{\sqrt{V}}, \quad (4.2)$$

где V – объем вынутых (взорванных) горных пород, приведенный к объему в целике, м³.

Формула 4.2 применяется для объемов, соответствующих значениям от 45 до 2200 тыс.м³. При расчетах объемов, не заключающихся в данном диапазоне, следует принимать допустимую погрешность по следующей модели: $10\% < [45-2200 \text{ тыс.м}^3] < 1\%$.

4.1.3 Процесс маркшейдерского обеспечения, в виде наблюдений за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов, требует от производства маркшейдерского полета выполнение съемки с предельно-допустимой погрешностью, которая руководствуется нормативной документацией «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов». Соответственно данной регламентации, мониторинг бортов карьера/разреза осуществляется с точностью не ниже 1,5 см; наблюдения за отвалами производится с возможной ошибкой не больше 3,0 см.

На основе исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, определено, что при компетентном наборе параметров факторов полета, достаточность ресурсов геодезического прибора позволяет осуществить маркшейдерскую съемку в целях мониторинга бортов карьера, уступов и откосов отвалов в соответствии с нормативными допустимыми погрешностями.

Периодичность наблюдений за деформациями на элементах горных выработок на открытых работах регламентируется проектом на производство маркшейдерских работ данного месторождения, указывается в техническом задании на осуществление маркшейдерского обеспечения и может оперативно количественно меняться в случае глазомерного или технического увеличения деформаций и смещений. Типичная периодичность мониторинга при относительном отсутствии нарушений сдвижений для плановой проверки состояния бортов, уступов и откосов производится два раза в год.

4.2 Факторы влияния – параметры, которые являлись главными объектами исследований в процессе маркшейдерского полета и при его подготовке. Их бифуркация по итогам изысканий (рисунок 2.1), пропорциональное влияние на конечную погрешность маркшейдерской

аэрофотосъемки (рисунок 2.2) должны находить отражение при подготовке выполнения маркшейдерских работ в условиях карьера. Таким образом, при планировании полета, следует пользоваться уравнением, являющимся итогом всего исследования и показывающего предварительную (предполетную) оценку точности маркшейдерских измерений (4.3):

$$M, \text{ см} = 137,9 + 0,1611H + 0,3406V_1 + 0,085 V_2 - 1,842 P_1 - 0,853 P_2 - 24,52 N - 0,652 Z - 0,067 K - 1,936 NR + 2,655 R + 1,817 V - 0,842 D - 0,975 Y + 0,332 O - 0,332 S + 0,002911 H^2 + 0,03529 V_2^2 + 0,01724 P_1^2 - 0,00642 H * V_2 - 0,00746 H * P_1 + 0,2492 P_2 * N, \quad (4.3)$$

где H, м- высота выполняемого полёта,

V1, м/с- скорость квадрокоптера,

V2, м/с -корость ветра,

P1, % -величина продольного перекрытия,

P2, %- величина поперечного перекрытия,

N, шт- количество опознаков, категориальные факторы:

S – солнечно,

O - облачно,

Z - зачищенная поверхность,

K - кустарники,

NR - низкая растительность,

R - редколесье,

V - вечер,

D - день,

Y - утро.

При подготовке к выполнению полета геодезического квадрокоптера для выполнения геометрической инженерной задачи осуществляется установка параметров, относящихся именно к группе регулируемых, опционально определенных, исходя из вида задачи, атрибутов объекта и других факторов, указанных в техническом задании на выполнение маркшейдерских работ. Рациональная и эффективная селекция отвечающих требованиям параметров регулируемых факторов влияния: высота полета БПЛА и его скорость полета, количество опознавательных знаков в рамках измеряемой территории, перекрытия снимков и правильное определение свойств поверхности, обеспечивает маркшейдера надежностью и уверенностью в предварительном определении точности планируемой съемки, при выставлении данных параметров в модель прогноза (4.3) и в получении итоговых величин, по результатам полета, максимально приближенных к истинным значениям.

При владении специалистом достаточным временем для выполнения поставленной геометрической задачи в карьере, возможно плавающее определение момента осуществления маркшейдерского полета. Тем самым, маркшейдер условно имеет перспективу подобрать время полета, при этом самим подстраиваясь под нерегулируемые (внешние) факторы, а не изменяя подход к определению параметров съемки под актуальную ситуацию. Однако, не всегда есть такая возможность, и иррациональность такой концепции нарушает алгоритм конкретного выполнения маркшейдерского обеспечения, требующего четкого и моментного получения информации, актуальной в данный момент и, главным образом, необходимой для осуществления дальнейших эффективных инженерных процессов горного производства.

Приведенная модель прогноза ошибки маркшейдерского полета была создана на основе исследований, проведенных с помощью геодезического квадрокоптера DJI Phantom 4, имеющего определенное фотографическое оборудование со своими качественными характеристиками. Уравнение предварительной оценки точности маркшейдерских измерений в своей математической составляющей остается неизменной вне зависимости от использования других типов квадрокоптеров. Однако, необходимо учитывать данную разницу через поправочный постоянный коэффициент, представляющий собой соотношение разрешаемой способности отдельных типов фотоаппаратур, нахождение которого добивается определением коррелятивной составляющей пиксельности оборудования или соответствием показателей точности съемки разных видов БПЛА при равных параметрах маркшейдерских полетов, что доказывает универсальность и гибкость применения модели прогноза ошибки.

4.3 С помощью подбора факторов в модели, производной интегрального исследования, маркшейдер ищет возможность для достижения выполнения задачи на качественном уровне. В соответствии с проведенными изысканиями, связанных с факторами влияния на маркшейдерскую съемку с помощью геодезического квадрокоптера, были распознаны и проанализированы определенные факты, касающиеся маркшейдерского полета, определяющие порядок его планирования, учёт которых приблизит специалиста к выполнению своей инженерной геометрической задачи в условиях открытых горных работ. Ссылаясь на нормативные источники, декларирующие рекомендации, многократно испытанные и подтвержденные научным и производственным сообществом специалистов; учитывая результаты проведенного исследования, в рамках диссертационной работы и применения относительно новой технологии при маркшейдерском обеспечении на карьере, в данной методике приводится алгоритм процесса планирования маркшейдерской съемки с комментариями и рекомендуемыми дополнениями:

- 1) Проверка работоспособности геодезического прибора, используемого как маркшейдерское средство измерения: определение его внешнего вида на предмет нахождения

повреждений, проверка функциональных возможностей конструктивных деталей и частей беспилотного аппарата, выполнение по необходимости процесса калибровки фотографической аппаратуры, контроль связи пульта с коптером и работы программ планирования.

В случае нахождения неисправностей функционального характера или повреждений, которые могут привести к созданию аварийной ситуации в процессе полета, необходимо отложить выполнение маркшейдерской съемки с помощью беспилотного аппарата на срок, равный числу дней, которые будут потрачены на полное восстановление и техническое обслуживание геодезического прибора.

2) Анализ описания объекта, где будет происходить маркшейдерское измерение: площадь территории, особенности рельефа и местности, геометрическое положение границ, нахождение угодий и природных или антропогенных объектов. Определение географического положения объекта измерения, что определяет систему координат территории, в которой будет осуществляться маркшейдерское обеспечение, нахождение вблизи объекта баз сетей референциальных станций (в случае подключения и запросов сырых данных для последующей камеральной обработки измерений).

Выявляется существование пунктов государственной геодезической сети рядом с местом измерения, координаты которых можно получить в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных», что чаще всего необходимо при проведении инженерно-геодезических изысканий месторождений, которые несмотря на свое первоначальное фундаментальное выполнение, представляют собой типичную маркшейдерскую съемку.

Определение наличия пунктов опорной или съёмочной маркшейдерской сети на карьере, которые необходимы в случае выполнения калибровочных процессов в полевых условиях на местности. Их координаты должны храниться в книге учета пунктов маркшейдерской сети, либо сведения по их точному расположению возможно получить у представителей организации, занимающейся маркшейдерским обеспечением на карьере в данный момент или ранее.

Анализ местоположения объекта также необходим для соблюдения законных оснований для полета. Следует исключить возможность нахождения объекта на территории зон возможно запрещенных или частично ограниченных для полетов. Если пользователю геодезического квадрокоптера необходимо выполнить работы в таких зонах, он обязан получить разрешение лиц, в интересах которых установлены данные зоны. Заказчик должен обеспечивать полное содействие Исполнителю в представленной ситуации. В итоге, разрешительный порядок соблюдения юридических особенностей применения воздушных

судов предусматривает предоставление плана будущего полета и получение на его разрешение в оперативном органе – в Единой системе организации воздушного движения Российской Федерации (ЕС ОрВД).

3) Определение формата представления материалов, из чего следует выявление масштаба съемки. Дефиниция масштабности – один из самых главных первообразных обязательных действий, должного для специалиста. Руководствуясь сведениям, представленных в таблицах 4.1 и 4.2, определяется точность выполнения маркшейдерской съемки. Производной выявления предельно-допустимой погрешности для маркшейдера является важным параметром производства съемки, который напрямую влияет на процесс выполнения инженерной задачи, для достижения которой, маркшейдером необходимо выбрать и установить самые эффективные параметры факторов влияния.

При выполнении других маркшейдерских задач: измерение объемов и мониторинг устойчивости, предельно-допустимая погрешность маркшейдерской съемки должна быть сопоставима и соответствовать требованиям, отраженных в пунктах 4.1.2 и 4.1.3 данной методики.

4) С помощью модели (4.1) методом подбора параметров факторов влияния в составляющие уравнения, определение рационального набора показателей съемки для достижения точности маркшейдерского полета, не превышающего значений предельно-допустимого значения ошибки, исходя из вида поставленной задачи и масштаба производства съемки и других специфических характеристик, приведение которых может быть представлено в техническом задании.

Дефиниция параметров осуществляется среди регулируемых факторов, которые связаны напрямую с ресурсами, возможностями и характеристиками беспилотного аппарата. При проектировании маркшейдерского полета нерегулируемые (внешние) показатели факторов выставляются по умолчанию или по примерному предположению ситуации.

Высота полета геодезического квадрокоптера. Так как данный параметр является главным в образовании погрешности процесса маркшейдерской съемки, оператор беспилотного аппарата, должен обладать определенными компетенциями и опытом, включающих в себя понимание концепции компромиссности выбора высоты полета, с учетом корреляции и переменных зависимостей данного фактора с изменением показателя пиксельности фотографий, провоцирующего потери качества снимков; площади измеряемого объекта и другими.

При определении параметров съемки, необходимо планомерно и предварительно проверить погодные условия, например, с помощью софта UAV Forecast и аналогичных программ, в частности для установления значения высоты полета БПЛА.

Скорость полета геодезического квадрокоптера. Скорость полета БПЛА, как типичный фактор влияния, зависит и неразрывно связан с другими факторами, примером которых является корреляция с фактором продольного и поперечного перекрытия, в свою очередь зависящий от интервала работы затвора камеры.

При определении численного значения скорости полета, необходимо учитывать зависимости от других факторов, а, главным образом, обратить внимание на направление ветра в границах объекта измерения, которое возможно предусмотреть при подготовке к полевым работам, но конечное принятие направления траектории движения геодезического квадрокоптера относительно ветра определяется на этапе старта перед самым процессом маркшейдерской съемки во избежание возникновения флюктуации БПЛА во время полета, что в свою очередь негативно влияет на точность.

Количество опознавательных знаков. Определение числа опознаков и их конфигурации расположения на объекте измерения – одно из самых важных условий полевого и камерального процессов маркшейдерской съемки. В связи с мажоритарным влиянием параметра опознавательных знаков, как фактора полета, следует выполнять и учитывать определенные рекомендации по использованию опознаков, как элементов привязки и уравнивания модели.

Исходя из площади измеряемой территории, следует соблюдать корреляцию достижения точности маркшейдерского полета способом увеличения количества опознаков с повышением трудоемкости и времязатратности данного процесса в интегральном производстве полевой работы. Компромисс этой взаимосвязи достигается и регулируется в первую очередь опытом и компетенциями маркшейдера, как специалиста по выполнению съемки с использованием геодезического квадрокоптера.

Не менее важным является условие расположение опознавательных знаков, которое должно регулироваться определенными постулатами.

Распределение опознавательных знаков, количество составляющих более или равное трем, следует осуществлять так, чтобы сформировалась фигура, жесткой характеристики: треугольник (близкий к равностороннему), прямоугольник (близкий к форме квадрата) и так далее.

Предупреждение: исключено расположения опознаков в створную линию, что может привести к глобальному нарушению высотных отметок потенциальной модели поверхности снимаемой местности.

Объект измерения, представленный как рельеф местности или карьер и другое, может иметь достаточные перепады в высотах поверхности, за счет естественных причин местности или антропогенных факторов, представленных как горные выработки. Данные условия должны

положительно использоваться для выполнения маркшейдерской съемки, распределением опознаков на максимальных перепадах местности, получая максимальную разность в координатах Z среди точек привязки.

Расположение опознавательных знаков должно обеспечиваться нахождением их близко к границам объекта, т.е. к краям создающейся модели поверхности методом аэрофотосъемки с целью уменьшения влияния параллакса и искажений отдельных фотографий и конечной модели и ортофотоплана местности.

При небольшой площади снимаемого объекта обосновано использование опознавательных знаков менее двух, контроль такого решения происходит через внесение данных изменений в модель уравнения прогнозирования погрешности маркшейдерской съемки.

Использование опознаков в процессе маркшейдерского полета может быть исключено в случае достаточного увеличения поперечного и продольного перекрытия снимков, составляющих не менее 75% и 85% соответственно. Данное решение проектирования съемки следует также проверить моделью уравнения прогноза маркшейдерской погрешности полета.

Продольное и поперечное перекрытие снимков. Регулируемость фактора перекрытий снимков предоставляет маркшейдеру-специалисту широкие возможности для проектирования маркшейдерской съемки в силу значительности влияния данного параметра.

Смежность снимков для маркшейдерского полета, как типичный фактор влияния, коррелируется и напрямую связан с остальными характеристиками полета. Поэтому при выборе определенных процентных значений перекрытий, необходимо учитывать другие параметры маркшейдерской съемки: качество фотографической аппаратуры, особенности рельефа поверхности, режим погоды, в частности освещенность, разного рода блики и ореолы. Зависимость данных характеристик по отношению к поперечным и продольным перекрытиям является прямой: для увеличения качества фотографий, при наличии неровностей местности и объективно специфического характера поверхности, для цели уменьшения негативного влияния недостаточной освещенности и при существовании аберраций, необходимо увеличить значение перекрытий.

С учетом влияния на смежность снимков факторов, которые могут быть нерегулируемыми, возможно отклонение от планированных значений перекрытий и их изменение непосредственно перед производством маркшейдерского полета.

Свойство поверхности снимаемого объекта. Виды объекта маркшейдерской съемки были предметами исследования для получения заключения о зависимости погрешности полета от различных поверхностей. Этот параметр делился на виды, наиболее характерных в практике на открытых горных работах: зачищенная поверхность, низкая растительность, редколесье, кустарники.

Их коррелятивные отношения к ошибке маркшейдерской съемки имеют прямую связь. При отсутствии или в случае минимальной растительности снимаемой поверхности, погрешность аэрофотосъемочной съемки, касаемо именно данного фактора влияния, имеет процесс снижения.

При глазомерном определении степени зарастания поверхности и соотношения ее с представленными исследованными вариантами данного фактора влияния, его параметры, то есть их значения, подставляются в уравнение модели прогнозирования. Однако, в силу представления параметра не в виде числового значения, а как конкретной фактической переменной, используется определенная кодировка. Для того, чтобы учесть влияние категориальных факторов, осуществляется их преобразование в фиктивные переменные, используя бинарную кодировку. В формуле 4.3. необходимо задавать значение «1» для действительного параметра, и «0» для всех остальных. Например, при съёмке зачищенной поверхности численное значение категориального фактора Z будет равным 1, а остальные свойства поверхности - нулю.

В результате описанного включения кодировки в состав модели и всех остальных числовых факторов, определяются потенциальная погрешность маркшейдерской съемки, при изменении фактора влияния свойства поверхности и инвариантности параметров других.

Помимо вида поверхностей, представленных наличием растительности, возможна классификации измеряемого объекта по типам, которые в рамках исследовательской работы, конкретно и непосредственно не были адаптированы на определение зависимости получения погрешности в соответствии с данными представленными типами.

Примером конвенционализма классификации измеряемой поверхности является акцентуация по геометрическому типу, главным атрибутом которого является относительная возвышенность частей участков (координаты Z) в границах объекта маркшейдерской съемки. Условное представление системы можно поделить на следующие поверхности: равнинный, плоскогорный и горный.

В случае выявления сведений и описаний об объекте, с характеристикой, соответствующей концепции данной классификации, в первую очередь необходимо выявить относительные высоты на измеряемой поверхности в целях исключения аварийных ситуаций, представленных как столкновение геодезического квадрокоптера с какими-либо препятствиями. В этом случае для проектирования маркшейдерской съемки следует использовать особенные программы предполетной подготовки, обеспечивающие информацией о рельефе объекта и возможностью построения безопасной траектории полета. Примером таких программ являются Litchi, UgCS и др.

При равнинных и плоскогорных поверхностях маркшейдерская съемка чаще всего осуществляется сопоставимо типичному процессу геометрического и инженерного обеспечения карьера.

Вследствие периода времен года и соответствующего режима погоды, измеряемая поверхность может быть подвержена природными покрытиями: снежный покров, водная гладь, лесные массивы. При наличии в границах измеряемой поверхности таких покрытий естественных осадков, как снег и вода, специалисту следует увеличить основные мажоритарные факторы влияния до адекватного численного уровня, не нарушающего конечную точность съемки относительно других характеристик и степеней влияния параметров: высоту полета БПЛА и поперечное и продольное перекрытие снимков. Возрастание высоты и повышения смежности снимков обеспечивает усиление надежности и точности маркшейдерского полета следующим способом: расширение снимков и прирост их количества формирует набор фотографий, на которых возникает возможность захвата большего количества характерных точек, которые в свою очередь рационализируют структуру модели искомой поверхности.

В случае нахождения лесного фонда, в границах измеряемого объекта, необходимо производить обратный процесс смены численного значения высоты полета БПЛА, как ведущего фактора влияния на конечную погрешность полета. При отсутствии значительных возвышенностей, которые могут быть причиной невозможности осуществления маркшейдерского обеспечения с помощью геодезического квадрокоптера, следует понизить высоту БПЛА и выполнять полет на высоте примерно равной 50-60 м, для поперечного и продольного перекрытия снимков устанавливаются значения 75% и 85% соответственно. В данном случае специалист получает шанс, что беспилотный прибор, а именно фотографическая аппаратура произведет съемку поверхности, результатом которой будет достаточное получение отметок объекта для создания соответствующего топографического плана.

Важным примечанием, носящим рекомендуемый характер при маркшейдерской съемке лесного фонда, является определенные условия. Выше представленный вероятный способ получения цифровой модели поверхности, покрытой лесом, имеет место быть в случае отсутствия высокой плотности деревьев и растительной кроны, напрямую зависимой от времени года. Процент залесенности поверхности, для достижения выполнения инженерной задачи с помощью БПЛА и при выполнении остальных условий ситуации, должен составлять не более 70%.

4.4 Рекомендации по безопасному и рациональному определению параметров факторов влияния, представленные именно как регулируемые, в случае предполетной подготовки к выполнению маркшейдерской задачи, указанные в пункте 4.3, в большем случае, относятся к

типичному выполнению маркшейдерской съемки для получения итогового топографического плана. Однако, предложенные регламентируемые положения напрямую могут быть отнесены к другим инженерным задачам на карьере, но при этом имея определенные технические особенности и технологические принципы.

4.4.1 При производстве замеров объемов вынутых пород, вид которых чаще всего представлен складами полезного ископаемого и/или отвалами вскрышных пород, маркшейдерская съемка отличается меньшей площадью искомой поверхности.

Для повышения детализации и разрешения создаваемой модели с помощью маркшейдерской аэрофотограмметрической съемки, необходимо понизить высоту полета БПЛА. С учетом значительности данного фактора влияния, при нормальном условии величин остальных параметров взаимодействия на погрешность полета, изменение высоты будет достаточным шагом проектирования обмера для достижения точности в пределах допустимых значений, соответствующих требованиям маркшейдерской съемки. После определения высоты БПЛА, рекомендуемой как 50-60 м, проверки и подбора логичных параметров остальных факторов в модель формулы прогноза (4.3), осуществляется маркшейдерский обмер складов или отвалов, затем следует определить ошибку итогового измерения объемов, определив по формулам 4.1. и 4.2 ее модальное процентное отклонение – погрешность определения объема навала.

4.4.2 Мониторинг бортов карьера, уступов и откосов отвалов, осуществляемый с помощью беспилотной технологии, в связи с применением максимальных ресурсов геодезического квадрокоптера и трудоемкого процесса как предполетной подготовки, так и самого процесса съемки, производится на основе проекта на производство маркшейдерских работ или технического задания.

В первую очередь, необходимо максимально приближенно к истине определить площадь снимаемой поверхности, где будут расположены наблюдательные станции или опознавательные знаки. Логично предположить, что зачастую снимаемый объект будет представлен в форме вытянутой фигуры, приближенной к виду линейного объекта. Тем самым, в случае использования точек привязок (маркшейдерских опознаков) следует избегать последствий процесса их распределения в створную линию или в прямую, близкую к ней. Негативное следствие данной маркшейдерской ошибки и остальные обязательные рекомендации по расположению опознаков приведены в подглаве 4.3 пункта 4.

Используя формулу модели прогнозирования (4.3) следует подобрать значения параметров, при этом максимально повысив показатели. Исходя из настоящих исследований,

необходимо выполнить следующие минимальные указания по величинам регулируемых факторов:

1) Мониторинг бортов карьера/разреза осуществляется с точностью не ниже 1,5 см. Наименьшие управляемые параметры факторов при достижении данной точности представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Минимальные значения параметров факторов для мониторинга бортов

М, см	Н, м	V (бпла), м/с	Р, %		N (оп), шт
			Поперечное	Продольное	
не более 1,5	100 (и менее)	10 (и менее)	75 (и более)	85 (и более)	2 (и более)

2) Наблюдения за отвалами производится с возможной ошибкой не больше 3,0 см. Наименьшие управляемые параметры факторов при достижении данной точности представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Минимальные значения параметров факторов для наблюдения за отвалами

М, см	Н, м	V (бпла), м/с	Р, %		N (оп), шт
			поперечное	продольное	
не более 3,0	120 (и менее)	10 (и менее)	75 (и более)	85 (и более)	2 (и более)

При ориентировании на данные значения параметров в процессе проведения предполетной подготовки для маркшейдерского полета геодезического квадрокоптера необходимо учитывать внешние факторы, чаще всего представленные как нерегулируемые, и прилагать усилия для достижения их положительных значений с целью эффективного осуществления маркшейдерской задачи в условиях карьера.

Периодичность наблюдений бортов карьера, уступов и откосов отвалов, осуществляемых с помощью беспилотной технологии, декларирована в п. 4.1.3.

4.5 Концепция приведения параметров факторов влияния в формулу модели прогнозирования (4.3), основывается на математических и практических исследованиях, проведенных на действительных месторождениях открытых горных работ под руководством и контрольной проверкой квалифицированных специалистов, в частности сотрудников маркшейдерского отдела, имеющих лицензию на производство маркшейдерских работ. Валидность заключений и выводов о маркшейдерском обеспечении карьеров с помощью

геодезического квадрокоптера указывает на состоятельность и притязательность на официальное применение данной настоящей методики.

4.5.1 Особенностью применения предполетной подготовки, связанной с формулой прогнозирования заключается в комбинированной подстановке значений и величин в данное уравнение. Тем самым, вышепредставленные рекомендации, декларированные индивидуально и самостоятельно, имеют ценность и функциональность при приведении значений и величин других параметров факторов влияния одновременно.

Таким образом, гибридность и гибкость подготовки к полевым работам с помощью формулы прогнозирования дает широкие возможности специалисту в полной мере комбинировать параметрами так, чтобы добиться минимального значения потенциальной ошибки для достижения выполнения поставленной задачи по маркшейдерскому обеспечению открытых горных работ.

4.5.2 Отдельным примечанием является тезис о потенциальной возможности изменения регулируемых параметров перед самым стартом геодезического квадрокоптера. Следующие изменения могут быть связаны с ошибочным представлением актуальности ситуации местности и погоды на момент выполнения полета в процессе предполетной подготовки.

Такое преобразование значений параметров в условиях полевых работ, не отличаются редкостью проблематичности пересмотра предполетных показателей, их модификация преследует цель соответствия актуальной ситуации для улучшения маркшейдерского полета и, как результат, достижения максимального и эффективного выполнения маркшейдерской задачи в условиях карьера.

4.6 Следующим шагом в процессе предполетной подготовке после потенциального регулирования комбинаций параметров факторов влияния является создание непосредственно карты полета геодезического квадрокоптера, его маршрута над территорией искомого объекта. Данная функция должна выполняться маркшейдером, являющимся компетентным в умениях и навыках работы в специальном софте, концепцией которых является создание системы движения беспилотного геодезического прибора. Программы, являющиеся платформой для создания полета, имеют достаточное количество вариаций, выбор которых основывается либо на условиях объекта, либо удобством использования конкретного приложения специалистом.

Например, при работе на местности, поверхность которой имеет ярко выраженный плоскогорный или высокогорный рельеф, рекомендуется использовать программы, позволяющие настраивать высоту полета геодезического квадрокоптера в каждой контрольной и поворотной точке: Litchi, UgCS и др. При выполнении работ, где изначально известны координаты границ измеряемой площади, в рамках которых необходимо провести работы в должной точности, используется программа создания полета DJI GS Pro. Остальные программы

имеют свои отличительные особенности, прикладное использование которых чаще всего связаны с выучкой специалиста и его удобством работы с данными софтами: Pix4D, Map Pilot, DroneDeploy и др.

4.7 Планировка заданной работы, предполетная подготовка к маркшейдерскому полету с помощью беспилотного геодезического прибора – это неотъемлемый этап процесса маркшейдерского обеспечения. Любая подготовка к полевым работам, в частности в маркшейдерском деле, положительно сказывается на конечный результат. Особенная важность предварительной стадии, выраженная в потребности достаточного внимания и профессионализма, в полной мере отражает квалифицированность специалиста, что в очередной раз подтверждает необходимость высоких компетенций маркшейдера в таком, относительно новом и мало изученном методе геометрического обеспечения в условиях карьера, по сравнению с классическими методами, как маркшейдерская аэрофотограмметрическая съемка с использованием геодезического квадрокоптера.

5. Предстартовая стадия предварительной подготовки маркшейдерского аэрофотосъемочного полета.

В пункте 4 максимально приближенно к практической действительности были приведены положения и шаги по предполетной подготовке, которые чаще всего выполняются до этапа полевых работ и правильное выполнение которых найдет положительное отражение на эффективность конечного результата и, в частности, на корректность предстартовой стадии полета. Данный значительный полевой этап имеет рекомендуемый алгоритм, последовательность которого не претерпевает изменений, в отличие от определения нерегулируемых факторов, установка которых осуществляется именно в процессе данной стадии перед непосредственным маркшейдерским полетом геодезического квадрокоптера.

5.1 Определение нерегулируемых параметров факторов влияния следует осуществлять два раза. Первый раз – при выставлении значений управляемых факторов для получения предположительной погрешности и соответствия ее с видом маркшейдерской задачи. В этом случае параметры режима погоды, времени суток и скорости ветра определяются либо, исходя из плана полета и прогноза погоды, на момент выполнения маркшейдерской съемки, либо устанавливаются по умолчанию, как средние или медианные значения параметров. Данная операция допустима, в случае отсутствия прогноза погоды и планировочных решений по намеченному моменту съемки. Кроме того, изначальное определение управляемых факторов возможно в силу их миноритарного влияния на цельное значение погрешности маркшейдерской съемки.

Второе определение нерегулируемых значений факторов влияния производится на этапе предстартовой позиции геодезического квадрокоптера. Данные параметры в этом случае вносят

в модель уравнения прогнозирования погрешности, если специалистами принято решение об уточнении предположительной ошибки полета. Такая детальность и попытка достижения подробности чаще всего необходима в случае выполнения маркшейдерской задачи по мониторингу бортов карьеров или наблюдения деформации уступов отвалов, в силу достаточно малых значений предельно-допустимых значений погрешности съемки для производства данных инженерных задач, отличающихся специфичностью, применительно к использованию беспилотной технологии.

Однако, необходимость определения прогноза ошибки полета параметров неуправляемых факторов влияния, появляется крайне редко. Таким образом, определение нерегулируемых факторов и их значений связано с корректировкой настроек фотографической аппаратуры, конструктивно установленной на геодезическом квадрокоптере, что подробнее декларировано в пункте 5.2.

В связи с бифуркацией нерегулируемых факторов влияния, их дроблением, и важностью в интегральной системе погрешности маркшейдерского полета, определены рекомендации по их правильному употреблению и внедрению в процесс подготовки полета для эффективного производства маркшейдерской съемки.

Режим погоды. Производство маркшейдерского полета в облачную или солнечную погоду не имеет весомой и конкретной разницы в конечном результате съемки и ее погрешности. Однако, данные показатели режима погоды необходимы для настройки параметров камеры в приложении DJI GO, софте необходимом для обеспечения соединения связи пульта управление и БПЛА и настройки дополнительных установок по выполняемому маркшейдерскому аэрофотосъемочному полету геодезического квадрокоптера.

Главными параметрами камеры, необходимыми для модификации при корреляции их изменений режимом погоды, являются настройки ISO и Apperture. ISO – показатель чувствительность фотографической аппаратуры, в частности камеры к свету. Apperture – диафрагма объективы, показатель, отражающий количество света, проходящего через объектив фотокамеры. Таким образом, исходя из вышеприведенных настроек параметров фотооборудования, на основе неуправляемого фактора – режима погоды, регулируется чувствительность аппаратуры, тем самым устанавливая значение света, правильный показатель которого будет способствовать эффективному созданию рациональной модели поверхности для последующего удобоваримого процесса ее камеральной обработки по результатам полевых работ.

Время суток. Момент во временной концепции продолжительности дня главным обозом является первообразной понятия освещенности – фактора влияния, имеющего от части схожие значения влиятельности на единую погрешность маркшейдерского полета с фактором режима

погоды и аналогичное конечное употребление, и приложение внедрения в настройку параметра камеры.

Освещенность, представляемая миноритарным фактором влияния «режим погоды», не столько важна в прогнозировании ошибки выполнения маркшейдерской задачи при определенном времени суток, сколько, в целях валидной установки настройки параметров, в частности чувствительности объектива к свету фотографического оборудования в соответствующем приложении, на стадии предстарта коптера, что показывает общий генезис факторов погоды и освещенности, как главных источников светочувствительности в едином численном значении погрешности выполнения маркшейдерской съемки при использовании геодезического квадрокоптера.

Скорость ветра. Крайний изученный фактор влияния, относящийся к группе нерегулируемых, что показывает его необязательность в прогнозировании маркшейдерской ошибки в целом, но требующий обязательной оценки и эффективного употребления, и внедрения в подготовку полета для успешного достижения инженерной задачи. В отличие от остальных факторов влияния, сущность скорости ветра, как параметра полета, заключается не в его численном значении, как может показаться на первый взгляд, а в его пространственном действии, то есть в геометрическом направлении относительно траектории движения БПЛА в процессе непосредственного полета.

Таким образом, главной рекомендацией по данному фактору, является рациональная и обоснованная настройка движения коптера в границах измеряемой площади, заключающееся в попытке привести траекторию БПЛА синергично и однонаправленно с азимутом ветра. Применение числовой составляющей скорости ветра, заключается лишь в корреляции, представляющей собой прямую зависимость: чем сильнее ветер (скорость его выше), тем сильнее возрастает необходимость не пренебрегать данным фактором, следуя приводить линии движения ветра и коптера в унисон.

Определение движения БПЛА осуществляется в приложениях для создания маркшейдерского полета коптера, некоторые из которых перечислены в пункте 4.6.

Нерегулируемые факторы влияния, представляющие собой миноритарные параметры полета, играют роль базисных значений для урегулирования в основном предстартовых показателей оборудования и заключительной настройки аппаратуры и приложений в актуальное время. Их участие в процессе прогнозирования маркшейдерской ошибки полета, не является главной задачей и выполняется только в определенных обстоятельствах, вызванных максимальной необходимостью полета при минимальных предельно-допустимых значениях погрешностей.

5.2 После этапов, напрямую связанных с научной исследовательской деятельностью и прогнозирования погрешности маркшейдерской съемки, осуществляется порядок выполнения непосредственного полета, отличающийся постоянством, но имеющим возможность внутренней модификации при обстоятельствах, вызванных необходимостью, связанных как с актуальной окружающей средой, так и действительной ситуацией ведения работ на открытых горных работах в момент выполнения маркшейдерского обеспечения.

1) При нахождении специалиста(-ов) и необходимого оборудования на искомом объекте или около него, проверяется работоспособность аппаратуры, готовность приборов измерения, наличие выполненной предполетной подготовки, не касающейся непосредственно полевых работ.

2) Проводится рекогносцировка измеряемого объекта на местности. Главные цели подробного осмотра местности, являющейся целью маркшейдерского обеспечения, следующие:

- выбор наиболее подходящих мест для расположения опознавательных знаков (при необходимости их применения);
- определение старта маркшейдерского полета.

Рекомендации и регламентирующие сведения о распределении опознаков на территории измерений приведены в пункте 4.3. Место старта следует выбирать в местах, где возможен беспрепятственный взлет геодезического коптера (нативная поверхность). Профитом расположения начала места полета будет определение его нахождения в месте, являющимся частью «жесткой фигуры» (вершиной) – вида распределения опознаков, определяющим рациональную подготовку раскладки точек привязки для процесса полета. Такое расположение будет оправдано удобством визуализации процесса полета БПЛА и обусловлено практичностью нахождения старта возле одного из опознаков.

3) В случае применения постоянных точек привязки на объекте измерения, необходимо иметь их координаты для дальнейшей камеральной обработки данных и материалов полученных по результатам полевых работ. В случае одномоментного использования непостоянных опознаков, следует произвести их координирование. Данный процесс выполняется одним из любых способом получения положения точек привязки классических методов маркшейдерского дела.

4) После выполнения процедуры распределения опознавательных знаков (в случае их необходимости) следует осуществить расположение базы – определение постановки и координатной составляющей GNSS-оборудования в режиме статики. Для выполнения данной процедуры возможны два варианта исполнения:

- при наличии у специалиста достаточного парка приборов, в частности в виде геодезического спутникового оборудования, имеющего функциональную возможность

выполнить статические измерения, устанавливается его положение недалеко от места старта геодезического квадрокоптера. Определение расположения базы станции производится для получения «сырых» данных о статических измерениях. Соответствующие материалы необходимы для камеральной обработки маркшейдерской аэрофотографической съемки. В этом случае, подключение базы в режиме статики производится, в том числе с коммерческими сетями референц-станций, обеспечивающих необходимые поправки к геодезическим измерениям.

– при отсутствии у специалиста геодезического спутникового оборудования, возможно выполнения маркшейдерского полета без установки базового GNSS-оборудования. Однако, после выполнения полевых работ, необходимо выполнение запроса «сырых данных» у коммерческих сетей референц-станций, именно той частоты, в которой выполнялся процесс полета геодезическим квадрокоптером.

При любых условиях осуществления получения данных статических наблюдений, следует соблюдать допустимое удаление от базовой станции, корреляционная зависимость которой заключается в зависимости дальности от масштаба осуществляемой съемки. Примеры такой взаимосвязи приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Допустимые удаления воздушного судна от базовой станции

Масштаб назначенной съемки	Допустимое удаление от базовой станции, км
1:500	30
1:1000; 1:2000; 1:5000	40
1:10000	55
1:25000	60

5) на месте старта осуществляется окончательная сборка геодезического квадрокоптера и проверка его функциональности и конструктивной составляющей. Подготавливается носитель, обеспечивающий допуск к программе построения полета коптера, его подключение к пульту управления.

6) осуществляется включение геодезического квадрокоптера, после которого происходит внутренняя проверка функциональности системы работы БПЛА. Далее с помощью программы связи пульта и коптера производится соответствующий процесс соединения.

7) в обязательном порядке производится калибровочный процесс оборудования. Калибровка геодезического квадрокоптера совершается согласно инструкции завода-изготовителя, ее необходимость имеет итеративный и неукоснительный характер исполнения, в

особенности случаев, связанных с запуском геодезического квадрокоптера возле линий электропередачи, зданий и сооружений, которые могут иметь металлические конструкции и другие подобные препятственные объекты, имеющие возможность нарушения работы компаса, гироскопов, акселерометров, альтиметра и других частей конструктивной составляющей коптера.

8) далее в программах, связанных с соединением связи пульта и коптера, а также определяющих настройки параметров фотографического оборудования, которые осуществляются на основе анализа факторов влияния и рекомендаций, посвященных каждому из них, устанавливаются окончательные показатели регулирования будущего полета БПЛА.

9) исходя из актуальной ситуации и действующего ведения горных работ на измеряемом объекте, осуществляется по необходимости окончательные настройки параметров самого полета, связанных с регулируемым факторами и другими показателями в софтах, обеспечивающих создание планировочных решений осуществления полета БПЛА.

10) по окончании всех основных и дополнительных настроек, касающихся оборудования и плана полета, осуществляется старт маркшейдерской съемки, а именно взлет и начало движения по заданной траектории геодезического квадрокоптера. Далее, в процессе маркшейдерского полета рекомендуется производить постоянный визуальный контакт с БПЛА, а также вести наблюдения за его траекторией и показателями полета на носителе, отражающем актуальное состояние движения геодезического квадрокоптера.

11) по завершению маркшейдерского полета, осуществляется выключение геодезического квадрокоптера (аккумуляторной батареи), носителя программного обеспечения, геодезического спутникового оборудования при его наличии, производится сбор опознавательных знаков непостоянного характера при их применении в процессе маркшейдерской съемки.

По результатам осуществления маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера на открытых горных работах, специалист получает набор материалов и данных, требующих дальнейшей постобработки, камеральной дешифровки и создания модели измеренной поверхности и дальнейших действий, соответствующих определенной маркшейдерской задаче, поставленной перед специалистом. Полученные сведения в виде материалов разного вида и формата представляют собой следующий набор:

– фотографии, полученные с помощью фотоаппаратуры на геодезическом квадрокоптере, запись и сохранение которых осуществляется на флэш-накопители, чаще всего встроенном как внешняя карта памяти в БПЛА;

– «сырые» данные, набор сведений об измерительном геодезическом процессе, запись которых осуществляется на GNSS-оборудование;

- данные о координатном положении геодезического квадрокоптера в момент процесса работы затвора камеры и движения БПЛА в целом. Данные сведения осуществляют запись на специальных серверах, скачивание которых осуществляется, например, через wi-fi, при подключении устройства, имеющего возможность доступа к адресу данного сервера;

- при использовании опознавательных знаков в процессе маркшейдерской съемки, специалистом получены сведения о координатном положении точек привязки, запись и сохранение которых осуществляется на накопителях памяти определенного типа геодезического прибора, выбранным специалистом для получения данных о геометрическом расположении опознаков.

Данный набор материалов далее претерпевает операции и действия, обеспечивающие их преобразования и формирования определенных данных постобработки, позволяющей, их применение в специализированном программном обеспечении (Agisoft Metashape Pro), выполняющем создание и редактирование модели поверхности, и осуществление других форматов представления измеренного объекта в зависимости от вида поставленной маркшейдерской задачи.

5.3 Итогом полевых работ является осуществление технического контроля маркшейдерской аэрофотосъемки, имеющего обязательный характер исполнения. Для технического контроля маркшейдерского полета передается весь комплект материалов, перечисленный выше. Передаваемые материалы должны отвечать требованиям, изложенным в настоящей методике и в техническом задании (при наличии).

Процесс технического контроля материалов обеспечивает проверку следующих компонентов маркшейдерского полета геодезического квадрокоптера:

- полноту покрытия съемочных участков измеряемого объекта;
- комплектность материалов и данных, полученных по результатам аэрофотосъемки;
- соблюдение установленных допусков и требований по оформлению полевой документации;
- фотограмметрическое качество выполненных полевых работ;
- соответствие полноты и точности выполненной маркшейдерской задачи в рамках полевых работ требованиям технического задания;
- соблюдение правил безопасности ведения работ.

Ведомственный организованный контроль на этапе производства полевых работ является важным мероприятием в целях повышении качества маркшейдерской съемки, направленным на обеспечение эффективности производства и безопасности недропользования, предупреждения нерационального использования недр и нарушений требований по их охране,

как и маркшейдерского обеспечения карьеров с применением геодезического квадрокоптера в целом.

4.2 Особенности выполнения маркшейдерской съемки при использовании геодезического квадрокоптера

Методика маркшейдерской съемки в условиях открытых горных работ с применением геодезического квадрокоптера в отличие от классических методов выполнения маркшейдерского обеспечения имеет принципиальное отличие, выраженное в концепции осуществления геометрических задач в условиях карьера или в других вариативных типах местности. При применении тахеометра, геодезического спутникового оборудования, лазерно-сканирующих систем и других приборов образовывается ключевая прямая связь между исполнителем и прибором, который при такой системе взаимодействия естественным образом становится именно инструментом для достижения инженерной цели. Использование беспилотной технологии для маркшейдерского обеспечения, в свою же очередь, отодвигает роль специалиста в конкретном управлении прибором, который образует по сути собственную зону деятельности, имеющую автономный характер, что, впрочем, не вызывает негативного воздействия на конечный результат.

Именно такая особенность концепции применения беспилотной технологии в маркшейдерском деле является первообразной нетипичной методикой ее использования и соответствующих производных специфичных характеристик рекомендаций по выполнению полета, причинно-следственного характера.

В дополнении к рекомендациям, представленных в методике маркшейдерской съемки в рамках данной диссертационной работы, возможны определенные уточнения и анализ нетривиальных параметров и свойств БПЛА, как маркшейдерского прибора, этапов его использования в процессе аэрофотосъемки.

Беспилотные технологии в маркшейдерском обеспечении способствуют организации работы, главной характеристикой которой является максимальное уменьшение трудозатратности и временной протяженности хода полевых работ. Предельное внимание и высокие компетенции специалисту следует применить в процессе определения планировочных решений подготовки к полету геодезического квадрокоптера. Данному этапу способствуют специальные программы, делящиеся на обеспечивающие связь пульта управления и коптера и формирующие программу его полета.

Помимо технического соединения пульта управления и БПЛА, соответствующая программа (например, DJI GO), обеспечивает возможность регулирования настроек полета,

связанную напрямую с функциональными возможностями и ресурсами геодезического прибора, в частности фотографической аппаратуры.

Главным условием успешного выполнения маркшейдерской аэрофотограмметрической съемки является высокое фотограмметрическое качество выполненных полевых работ, а именно получения фотографий определенной четкости изображения и разрешения, и их правильного внутреннего и внешнего ориентирования. Данное требование возможно выполнить, имея достаточные знания и навыки не только в фотограмметрии, но и теории фотографии и стереофотографии. Настройка параметров условий фотографирования и параметров изображения осуществляется в программах, например, DJI GO, в софте, который был использована при данных исследовательских работах. Главные критерии регулировки при постановке условий фотографирования: ISO (чувствительность камеры к свету), aperture (диафрагма объектива), shutter speed (скорость затвора) и exposure value (величина экспозиции). Некоторые сведения о показателях ISO и Aperture и работе с ними отражены в пункте 5.1 представленной методики. Несмотря на это, данные параметры фотографирования, в особенности shutter speed и exposure value, критерии, влияющие на функциональную работу аппарата, и его параметры полета, являются важными составляющими работы фотооборудования на геодезическом квадрокоптере. Для успешного достижения выполнения маркшейдерской съемки с соответствующими качественными фотографическими выходными материалам, необходимо практически установить значение данных критериев, в соответствии с условиями съемок. Определение теоретических зависимостей и рациональных значений скорости затвора, напрямую влияющего на скорость съемки и полета БПЛА, и величину экспозиции, как показатели определенного количества света, попадающего на светочувствительный материал, когда открыт затвор, имеют широкий потенциал для будущих исследований, результаты которых однозначно увеличат эффективность выполнения маркшейдерской съемки, выраженное в получении качественных фотографий.

В процессе изысканий практического и математического характера, связанных с факторами влияния, определенно оказывающих воздействие на производство маркшейдерской аэрофотограмметрического полета, кроме их определения количественных и качественных значений, соотношения влияния на конечную погрешность съемки, были выявлены направления и особенности, касаемые установки вариативных параметров геодезического квадрокоптера и других условий съемки, однозначно нуждающихся в дополнительных исследованиях и представляющие огромный интерес, как для ученых в данной области, так и практикующих инженеров.

При определении степени влияния параметров полета, были определены основные факторы: высота БПЛА, продольное и поперечное перекрытие снимков, опознавательные

знаки. При условии важности суммы оставшихся условно миноритарных параметров полета, важность и необходимость дополнительных исследований данных факторов коррелируется с их степенью влияния на всю маркшейдерскую съемку. При изменении их количественных величин, существенно меняется конфигурация полета, времязатратность и другие условия выполнения полета. Поиск и анализ зависимостей, связанных с данными параметрами, осуществление экспериментов более широких диапазонов численных значений мажоритарных факторов, и их вариативная настройка при разных условиях влияния миноритарных параметров, является лишь одними из многочисленных направлений нужных изысканий, касающихся изучения геодезического квадрокоптера, как маркшейдерского прибора.

Ключевой причиной выбора геодезического квадрокоптера, как прибора для маркшейдерских съемок является его производительность. Условно исключив изыскания, связанные с внутренними и внешними воздействиями на коптер, проведение экспериментов, отвечающих требованиям науки и внедрения результатов в практическую деятельность, направленных на исследование пропорциональных свойств использования маркшейдерско-геодезических приборов при нормальных единых условиях, стало бы фундаментальным трудом для определения действительной производительности геодезического квадрокоптера, в том числе.

4.3 Обоснование эффективности и экономические показатели предлагаемой методики маркшейдерского обеспечения в условиях карьера

Научный прогресс, заключающийся во внедрении беспилотной технологии в гражданские сферы деятельности, в частности в горное дело, обоснован конкретными преимуществами коптеров, составляющие степень их многочисленности и влиятельности, наглядно отражающих отличительность БПЛА, как маркшейдерского инструмента, от других представителей парка маркшейдерско-геодезических приборов.

Главное преимущество, например, геодезического квадрокоптера относительно классических приборов в маркшейдерской сфере однозначно является производительность, – ключевое свойство БПЛА, которое объясняется несколькими факторами, определяющими беспрецедентную ценность исследуемого прибора:

1) фотографическая аппаратура совершенного вида для актуального времени, представляемая как самый главный модуль всего БПЛА, и соответствующая возможность выполнения высококачественных снимков измеряемой поверхности;

2) нахождение геодезического коптера над поверхностью земли в надирном положении относительно объекта измерения, имеет также преимущество в виде отсутствия каких-либо объектов, ограничивающих или мешающих ведению фотографирования.

3) низкая трудозатратность полевых работ, определяющая как автономность работы БПЛА и почти полное отсутствие необходимости специалиста в осуществлении физического движения по территории объекта.

4) относительно легкая управляемость выполнения маркшейдерского полета, однако требующая тщательного и квалифицированного подхода к предполетной подготовке.

5) получение высокоточных и качественных результатов маркшейдерского обеспечения горных объектов с использованием геодезического квадрокоптера с возможностью их представления в разных видах и форматах.

Вышеперечисленные факторы преимуществ функциональны и объективны при их интегральном и синергичном осуществлении действий.

На основе проведенных исследований и теоретических представлениях о выполнении маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера, предположительно и условно определены факторы обоснования производительности данного прибора: времязатратность, трудоемкость, тривиальность и доступность управления.

Изыскания, декларированные в данной научной работе, а точнее их многочисленность выполнения, как в различных условиях, так и на объектах единого характера, способствовала определению продуктивности работы БПЛА в маркшейдерском деле. Так, например, на карьере, площадь которого составляет около 70 га, при ежедневной производительности данного горного предприятия $\approx 3 \text{ тыс. м}^3$, в ходе экспериментов диссертационной работы, итерационно осуществлялись маркшейдерские измерения.

Тем не менее маркшейдерская съемка обычно ведется в местах произведенной добычи полезного ископаемого, отвалообразования и/или снятия почвенно-растительного слоя, которые могут объединять территорию $\approx 10\text{-}20$ га, в зависимости от горных задач в актуальное время, совпадающее с процессом маркшейдерской съемки, которые были выполнены различными маркшейдерско-геодезическими приборами на протяжении времени, включающего в себя около 10-15 измерений.

С учетом такого количество маркшейдерских съемок при различных вариантах способов их осуществления, позволило сделать некоторый сравнительный анализ времязатратности, соответствующий основным маркшейдерским приборам и выраженный в таблице 4.8 в условных единицах соотношения времени, полученный в результате расчета среднего значения затраченного времени на процесс съемки определенным прибором.

Таблица 4.8 – Соотношение времени маркшейдерской съемки единого объекта различными видами приборов

Вид маркшейдерско-геодезического прибора	Тахеометр Sokkia SET 650RX	Геодезическое спутниковое оборудование GPS/GNSS-приемник Topcon Hiper SR	Геодезический квадрокоптер DJI Phantom 4 PRO V2.0
Времязатратность маркшейдерской съемки на едином объекте измерения	7	4	1 (0,5)

Времязатратность квадрокоптера в таблице 4.8 указанная в скобках, обозначает длительность процесса, выраженное в непосредственном полете прибора, т.е. именно в маркшейдерской съемке без подготовительных полевых работ.

Данные приведенные исследования имеют условный характер и являются производными от основного исследования диссертационной работы. Однако, полученные данные в действительности релятивно показывают преимущество геодезического квадрокоптера относительно других приборов касаясь времязатратности выполнения полевых работ. Приведенные материалы отражают истинность ключевого признака, но для уточнения значений критерия и достижения валидности результатов необходимы дополнительные изыскания, нацеленные на изучение времени, затраченного для выполнения маркшейдерской съемки.

Трудоемкость, как объект исследования преимущества БПЛА, синергично работает с времязатратностью, так как именно определенные подготовительные действия перед процессом полета, представляемые для специалиста как процесс затраты физической силы, имеют признак времени, то есть его протяженности для выполнения данного процесса.

Каждый специалист примерно предполагает работы необходимые для подготовки к выполнению съемки на определенном объекте измерения различными видами маркшейдерско-геодезическими приборами.

Тахеометрическая съемка несет затраты времени и труда, направленные на проведение ходов от опорных точек для создания съемочных привязочных реперов для выполнения съемки, данный процесс представляет собой нетривиальный характер осуществления, а иногда при плохих условиях изученности территории приводит к действительно трудоемким процессам маркшейдерского производства подготовки к съемке. Кроме того, тахеометрическая съемка

требует постоянной смены точки съемки, что и вызывает сложности достижения конечной цели.

Геодезическое спутниковое оборудование при подготовке работы может потребовать процесс калибровки, выполняемый либо на пунктах Государственной сети, либо на реперах долгосрочного определения на территории месторождения. Непосредственно сам процесс съемки требует затрачивания физической силы специалиста, в особенности что касается труднодоступных мест, к которым несомненно относятся карьеры, отличительным характером которых является непостоянство координаты Z , выраженное в существовании на объекте горных выработок с определенными геометрическими особенностями.

При производстве маркшейдерской съемки с применением геодезического квадрокоптера, помимо условной рекогносцировки и распределения опознавательных знаков, которое и может в себя включать изучение территории съемки, полевые работы не отличаются затратой физического труда маркшейдеров. Кроме того, нужно помнить, что при определенных условиях объекта, вида маркшейдерской задачи, расположение опознаков может отсутствовать, как процесс подготовки полевых работ, что несомненно значительно снижает трудоемкость и времязатратность процессов выполнения маркшейдерской съемки в целом. В свою очередь, благодаря автономности выполнения полета коптера, сам процесс съемки требует от специалистов лишь физического и дистанционного слежения за прибором и его показателями.

Управление геодезическим квадрокоптером требует от специалиста конкретных умений и компетенций, в результате которых к его званию маркшейдера добавится профессия оператор БПЛА. Но в результате кратковременного и тривиального обучения знаниям, относящихся к пилотажу геодезическим квадрокоптером, специалист, благодаря автономности и автоматизации прибора, на должном уровне выполняет обязанности в процесс маркшейдерского полета, выраженные больше во внимательности чем в других особых характеристиках.

Несложный анализ приборов, основанный на типичных знаниях маркшейдерского дела и геодезии, отражает главные недостатки классических типов маркшейдерских приборов. Работа со спутниковым оборудованием и, в особенности с электронными тахеометрами, чревато ошибками человеческого фактора, что несомненно повышает трудность в управлении этими приборами, учитывая длительность и итеративность их использования при выполнении процесса маркшейдерской съемки.

Не имея значительных результатов каких-либо исследований, не приводя теоретические умозаключения, требующие математических расчетов приведенных доказательств, специалист маркшейдерского дела, знающий вышепредставленные приборы и имеющий опыт их применения, может сделать краткий вывод о действительном преимуществе БПЛА над другими приборами. Несомненно, тахеометр и спутниковое оборудование крепко занимает свою нишу в обеспечении инженерных задач, и имеет свою магистральную линию перспективного развития. Однако, маркшейдерское обеспечение открытых горных работ – истинная зона ответственности геодезических квадрокоптеров, выполняющих свои геометрические задачи в полном объеме и с заметным преимуществом. Такие привилегированная значительность может быть обоснована и обусловлена многочисленными изысканиями, которые имеют права на существование и бесспорно необходимы для перспективы развития маркшейдерского обеспечения на карьерах.

Горное предприятие – это организация, имеющая цель получения прибыли. Каждый отдел приносит, определенную сумму денег даже, если маркшейдерский отдел представлен, не целым предприятием, а частной малой организацией. Таким образом, естественным экономическим показателем преимущества БПЛА, при его использовании, как средства получения прибыли, кроме вышепредставленных является его окупаемость.

Окупаемостью называют возвращение денег, потраченных на какое-то дело, в нашем случае исследуемый маркшейдерский прибор, который в будущем должны приносить прибыль. Сроком окупаемости называют промежуток времени, при котором удастся вернуть деньги, потраченные на проект. Это период возврата средств, после чего от вложений можно получать прибыль.

На основе окупаемости оценивают стабильность, успешность и перспективы предприятия. Анализ по данному критерию удобен для данного тривиального экономического анализа, как лишь малой и условной части всей исследуемой работы. Поэтому при существовании двух способов расчета — простого и дисконтированного, будет выполнен первый путь расчета с помощью формулы 4.4

$$PP = IC/Pr, \quad (4.4)$$

где PP – срок возвращения средств,

IC — сумма вложенных денег,

Pr — прибыль за отдельный период (за каждую маркшейдерскую съемку).

Вследствие изучения рынка маркшейдерско-геодезических приборов, получения определенных финансовых показателей организаций, ориентированных на инженерное

обеспечение открытых горных работ и, соответственно, имеющих маркшейдерскую лицензию, была составлена таблица 4.9. отражающая основные экономические критерии каждого определяемого прибора и результаты расчета окупаемости.

Таблица 4.9 – Экономические показатели и окупаемость приборов различного вида

	Тахеометр Sokkia SET 650RX	Геодезическое спутниковое оборудование GPS/GNSS-приемник Topcon Hiper SR	Геодезический квадрокоптер DJI Phantom 4 PRO V2.0
IC (средняя стоимость прибора на рынке, руб.)	350 000	700 000	800 000
Pr1 (доход от маркшейдерской съемки объекта $S \approx 100$ га, руб)	150 000	150 000	200 000
Pr2 (внутренние траты на маркшейдерскую съемку на объект $S \approx 100$ га, руб)	50 000	50 000	50 000
Pr (чистая прибыль от маркшейдерской съемки на объект $S \approx 100$ га, руб)	100 000	100 000	200 000
PP (срок возвращения инвестиций, количество маркшейдерских съемок)	3,5	7	4

Вследствие постоянно меняющихся цен на рынке приборов для маркшейдерско-геодезического обеспечения и зависимых от них сумм, запрашиваемых за маркшейдерскую съемку, данные экономические показатели имеют условные результаты, но отражают действительное положение в финансовой составляющей геометрических работ на открытых горных работах.

Таким образом, подавляющие показатели производительности в интегральных отношениях со значительными экономическими показателями и современностью и актуальностью выполнения геометрических задач на карьерах и высокотехнологической выдачи результатов, несомненно определяют применение геодезических квадрокоптеров, как

несомненно ключевой маркшейдерско-геодезический прибор при выполнении маркшейдерских съемок на открытых горных работах.

4.4 Выводы по главе 4

1) Представленная методика выполнения маркшейдерской съемки с применением геодезического квадрокоптера на открытых горных работах обусловлена необходимостью существования актуальной нормативной регламентирующей и рекомендательной документации, отвечающей маркшейдерским требованиям, новым решениям ведения процессов маркшейдерского обеспечения в условиях карьеров и современному прогрессу создания приборов, меняющих суть маркшейдерской сферы и производящих революцию в показателях точности и получении результатов, выраженных в высокоцифровых видах и форматах. Предложенная методика обоснована Законом Российской Федерации «О недрах» (в редакции Федерального закона от 3 марта 1995 года N 27-ФЗ) (с изменениями на 8 августа 2021 года) и другими многочисленными руководствами, нормативами, стандартами и положениями, действительного и официального характера. Создание методики основано на выдвинутых теоретических умозаключениях современного характера, математически подтвержденных и эмпирически доказанных, что несет актуальные признаки предложенного документа, его нужность для маркшейдерской сферы и, полностью отражающую, рекомендательную инструкцию и алгоритм выполнения маркшейдерской съемки в условиях открытых горных работ.

2) Применение беспилотной технологии в горном деле, как относительно новой уникальной сферы, имеет беспрецедентные широкие возможности по детальному разбору определенных направлений использования геодезического квадрокоптера, анализа практических примеров вариативных полетов и представления и выдвижения теоретических умозаключений, имеющих определенный потенциал для продолжения проведения исследований широкого спектра исследовательской деятельности, касаемой самых разных аспектов методологии, математики, технической механики, горного дела и других многочисленных смежных областей наук.

3) Необходимость и своевременность предложенной методики выполнения маркшейдерской съемки с применением геодезического квадрокоптера на открытых горных работах подкреплена подавляющими показателями практической производительности использования БПЛА на карьерах относительно других маркшейдерско-геодезических приборов и мажоритарными прагматичными финансовыми критериями применения геодезических квадрокоптеров, отражающих значительное их преимущество в экономическом секторе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится новое решение актуальной научно-производственной задачи: формирование и теоретическое обоснование методики использования геодезических квадрокоптеров для осуществления маркшейдерских съемок на открытых горных работах.

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе выполнения работы, заключаются в следующем:

1. Определена условная классификация влияния внешних факторов на конечную погрешность маркшейдерских измерений при использовании БПЛА, внутри которой указанные факторы фрагментированы на регулируемые (управляемы оператором БПЛА) и нерегулируемые (имеющие случайный, неподконтрольный характер).

2. Доказано из проведенного дисперсионного анализа доминирующее влияние на формирование интегральной ошибки съемки таких управляемых внешних факторов, как высота полета, количество опознавательных знаков и перекрытие снимков.

3. Получена модель формирования погрешности съемки под воздействием внешних факторов, на основе которой разработан математический алгоритм прогнозирования и управления ошибками, позволяющий оптимизировать параметры полета БПЛА для выполнения маркшейдерской съемки, определения объемов складов и отвалов горных пород, геомеханического мониторинга устойчивости уступов и бортов карьеров.

4. Исключение из полученной модели формирования общей ошибки съемки с БПЛА фактора влияния опознавательных знаков с одновременной компенсацией этого через увеличение уровней поперечного и продольного перекрытия до 75% и 85% соответственно, дает возможность получить показатель погрешности съемки, не превышающий допустимых значений для открытых горных работ.

5. Разработана методика выполнения маркшейдерских съемок с использованием геодезического квадрокоптера, в которой представлены рекомендации выполнения съемочного полета с учетом специфики влияния внешних факторов.

6. Разработан алгоритм определения объема склада измеренного с помощью комплекса для геодезической аэрофотосъемки на основе квадрокоптера среднего сегмента, реализованный на языке программирования Visual Basic 6.

7. Результаты исследований внедрены в маркшейдерском отделе ООО «Карьерпроект, г. Санкт-Петербург (подтверждено Актом о принятии к внедрению).

Проведенные исследования показали широкие перспективы для дальнейших изучений факторов влияния на маркшейдерский полет БПЛА, их степеней взаимодействия на погрешность съемки, взаимосвязи и синергии, что открывает новые возможности для выявления закономерностей генезиса ошибки полета для последующего усовершенствования методики применения геодезического квадракоптера при маркшейдерских съемках на карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аврунев, Е. И. Оценка точности 3D-моделей, построенных с использованием беспилотных авиационных систем / Е. И. Аврунев, Х. К. Ямбаев, О. А. Оприцова, А. В. Чернов, Д. В. Гоголев // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 211–228.
2. Алексеенко, Н.А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в биогеографических исследованиях на территории заповедника «Белогорье» / Н.А. Алексеенко, А.А. Медведев, И.А. Карпенко // Материалы международной научно-практической конференции. Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. – Белгород, 2017. - С. 439-445.
3. Алябьев, А. А. Фотограмметрический метод в кадастровых работах: цифровые стереомодели и ортофотопланы / А. А. Алябьев, К. А. Литвинцев, Е. А. Кобзева // Геопрофи. – 2018. № 2. - С. 4–8.
4. Анистратов, Ю. И. Технология открытых горных работ: [учеб. пособие для вузов по спец. "Маркшейд. дело" и "Горн. машины и комплексы"] / Ю. И. Анистратов. – Москва: Недра, 1984. - 287 с. : ил.; 21 см.
5. Антипов, И. Т. О достоверности вероятностной оценки точности пространственной аналитической фототриангуляции / И. Т. Антипов, Т. А. Хлебникова // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т.. – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 4. – С. 47–54.
6. Аржанов, Е. П. Аэрофотосъемочное оборудование: [Учеб. пособие для топогр. техникумов] / Е. П. Аржанов, В. Б. Ильин. – Москва: Недра, 1972. - 183 с. : ил.; 22 см.
7. Арсентьев, А.И. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом: учебное пособие / А. И. Арсентьев; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Санкт-Петербургский гос. горный ин-т им. Г. В. Плеханова (технический ун-т). - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. горный ин-т им. Г. В. Плеханова, 2010. - 114, с., портр.: ил., портр., табл.; 29 см.
8. Бабаев С.Н. Технология мониторинга открытых горных работ с применением беспилотного летательного аппарата // Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет. Журнал: Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013 г., том 1, выпуск 3, с. 151-154.
9. Баклашов, И.В. Геомеханика: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению, подгот. бакалавров и магистров "Горн. дело" и по специальностям "Физ. процессы горн. или нефтегаз. пр-ва" и "Шахт. и подзем. стр-во" направлению подгот. дипломиру. специалистов "Горн. дело": В 1 т. / И. В. Баклашов. - М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 22 см.

10. Баклашов, И.В. Геомеханика: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению, подгот. бакалавров и магистров "Горн. дело" и по специальностям "Физ. процессы горн. или нефтегаз. пр-ва" и "Шахт. и подзем. стр-во" направлению подгот. дипломир. специалистов "Горн. дело" : В 2 т. / И. В. Баклашов. - М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 22 см.
11. Баклашов, И.В. Деформирование и разрушение породных массивов / И. В. Баклашов. – Москва: Недра, 1988. - 270, с.: ил.; 21 см.
12. Барбасов, В. К. Применение малых беспилотных летательных аппаратов для съемки местности и подготовки геоинформационного контента в чрезвычайных ситуациях / В. К. Барбасов, П. Р. Руднев, П. Ю. Орлов, А. В. Гречищев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2 – С. 158–163.
13. Батоцыренов, Э.А. Использование беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях / Э.А. Батоцыренов, А.Н. Бешенцев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - 2018. - С.20-23.
14. Бахаева С.П. Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых // Методические указания к лабораторным работам. Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. Кемерово, 2019 г.
15. **Блищенко, А.А.** Применение БПЛА при маркшейдерском обеспечении съемки лесного фонда / **А.А. Блищенко**, А.П. Санникова // Вестник СГУГиТ, Т.27, №1, 2022 г. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-1-42-51.
16. **Блищенко, А.А.** Использование геодезических приборов на открытых горных работах, тенденция применения беспилотных технологий. // Earth sciences / Colloquium-journal // 14(66) - 2, 2020, p.4-6.
17. **Блищенко, А.А.** Измерения пропорций применения геодезических приборов для маркшейдерского обеспечения открытых горных работ, распространение использования беспилотных технологий статья Российская наука в современном мире. Сборник статей XXX международной научно-практической конференции. 2020, с.85-87.
18. **Блищенко, А.А.** Оценка точности измерения складов на горных объектах с помощью беспилотной технологии / **А.А. Блищенко**, А.К. Лобынцев, А.К. Сухов // Маркшейдерский вестник. – 2020. № 4 (137). – с. 23-27.
19. **Блищенко, А.А.** Совместное использование электронных тахеометров и GNSS-приемников для маркшейдерских съемок на карьерах/ **А.А. Блищенко**, В.Н. Гусев // Естественные и технические науки №4 (130), 2019 г., с. 79-83.

20. **Блищенко А.А.** Современные тенденции использования маркшейдерских приборов на открытых горных работах // «Генезис научных воззрений в контексте парадигмы устойчивого развития». Сборник научных статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 60-61.

21. Борщ-Компониц, В.И. Маркшейдерское дело: [Пер. с рус.] / В. Борщ-Компониц, А. Навитный, Г. Кныш. – М.: Мир, Б. г. (1989). - 367 с.

22. Буянов, Ю.Д. Разработка месторождений нерудных полезных ископаемых: [Учебник для горн. техникумов] / Ю. Д. Буянов, А. А. Краснопольский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1980. - 431 с.

23. Викторов, С.В. Лидарные комплексы беспилотных летательных аппаратов экологического назначения (классификация и тенденции развития) // Региональная экология. – 2016. № 4 (46). - С. 95-101.

24. Веницкий, К.Е. Оптимизация технологических процессов на открытых разработках / К.Е. Веницкий. – Москва: Недра, 1976. - 280 с. : ил.; 22 см.

25. Вытовтов, А.В. Современные беспилотные летательные аппараты. / А.В. Вытовтов, А.В. Калач, С.Ю. Разиньков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 215. №4. – С. 70-74.

26. Генике, А.А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. / А.А. Генике, Г.Г. Побединский // Издание 2-е, переработанное и дополненное. М.: Картгеоцентр, 2004. – 352 с.

27. Горбачева, А. А. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении комплексных кадастровых работ / А. А. Горбачева, Е.И. Аврунев // Проблемы геологии и освоения недр. 2019. Т.1. – С. 436–437.

28. ГОСТ Р 59562-2021 «Съемка аэрофототопографическая. Технические требования» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 10 июня 2021 г. N 542-ст. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартинформ, М., 2021.

29. ГОСТ Р 59328-2021. «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 19 февраля 2021 г. N 85-ст. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартинформ, М., 2021.

30. ГОСТ Р 51833-2001 «Фотограмметрия. Термины и определения» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2001 г. N 523-ст. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартинформ, М., 2002.

31. ГОСТ Р 52369-2005 «Фототопография. Термины и определения» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от от 31 августа 2005 года N 218-ст. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартинформ, М., 2006.

32. ГОСТ Р 57258-2016 «Системы беспилотные авиационные» Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2016 г. N 1674. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартиформ, М., 2017.

33. Гольтяев, П.Е. Решение прикладных задач с помощью спутниковых навигационных систем / П.Е. Гольтяев, П.В. Спиридонов // Маркшейдерия и недропользование. 1 (87) . 2017. – С. 62-66.

34. Горбачева, А.А. Применение беспилотных летательных аппаратов при выполнении комплексных кадастровых работ / А.А. Горбачева, Е.И. Аврунев // Проблемы геологии и освоения недр: сборник трудов XXIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня рождения академика К. И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения профессора К. В. Радугина в 2-х томах. Т. 1. – 2019. – С. 436–437.

35. Гудков В. М., Хлебников А. В. Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 1990. —335 с.: ил. ISBN 5-247-00877.

36. Гусев, В.Н. Исследование комплекса факторов, оказывающих влияние на погрешность реализации маркшейдерской съемки горных объектов с применением геодезического квадрокоптера / В.Н. Гусев, А.А. Блищенко, А.П. Санникова // Записки Горного института. – 2022. Том № 254.

37. Гусев, Владимир Николаевич. Математическая обработка маркшейдерской информации статистическими методами: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Маркшейдерское дело" направления подготовки дипломированных специалистов "Горное дело" / В. Н. Гусев, А. Н. Шеремет; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Санкт-Петербургский гос. горный ин-т им. Г. В. Плеханова (технический ун-т). - Изд. 2-е, испр. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. горный ин-т им. Г. В. Плеханова, 2010. - 97, с.: ил., табл.; 20 см.; ISBN 978-5-94211-449-7

38. Деришев, С. Г. Беспилотные авиационные комплексы для геофизических исследований и мониторинга земной поверхности // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т.. – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 4, ч. 1. – С. 46–50.

39. Долгополов, Д.П. Возможности использования беспилотных авиационных систем для контроля соответствия результатов строительства площадных объектов трубопроводного транспорта проектным решениям // Вестник СГУГиТ, Том 25, № 4, 2020. – С. 85-95.

40. Жабко А.В. Критерии прочности горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. - № 11-1 С. 27-45. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_27.

41. Жабко А.В. Расчет устойчивости отвалов на слабом наклонном контакте / А.В. Жабко, Н.В. Волкоморова, Н.М. Жабко // Известия Уральского государственного горного университета. – 2021. – №1(61) С. 87-101. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-1-87-101
42. Исмагилов, Р.И. Внедрение беспилотных летательных аппаратов для оперативного решения научно-производственных задач в условиях Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева / Р.И. Исмагилов А.Г. Захаров, Б.П. Бадтиев, Н.В. Сенин, А.С. Шариков, А.А. Павлович, А.М. Шепель // Горная промышленность. 2020. Т.3. С. 26-30.
43. Информация Министерства транспорта РФ от 28 января 2021 г. "Информационный бюллетень о порядке использования воздушного пространства Российской Федерации беспилотными воздушными судами".
44. Карпович, М.А. Применение БПЛА при проведении топографо-геодезических изысканий / М.А. Карпович, Л.М. Герштейн, Н.В. Паневин, А.М. Карпович // Транспортная стратегия – XXI. 2013. Т.22. – С. 66-68.
45. Кашников Ю.А. Геолого-геомеханическая модель участка Верхнекамского калийного месторождения / Ю.А. Кашников, А.О. Ермашов, А.А. Ефимов // Записки Горного института. - 2019. - Т. 237. - С. 259-267. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.259.
46. Ковязин, В.Ф. Мониторинг зеленых насаждений с применением беспилотных летательных аппаратов / В.Ф. Ковязин, В.Л. Богданов, В.В. Гарманов, А.Г. Осипов // Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». Аграрный научный журнал. - 4. - 2016. – с. 14-19.
47. Колесник, О.А. Применение воздушно-лазерного сканирования для определения видового состава и запаса древостоя при инвентаризации зеленых насаждений парка территории "Сосновка" в городе Санкт-Петербург / О.А. Колесник А.Б. Прыткова // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы землепользования и управления недвижимостью». 2019. С. 593-602.
48. Кольцов, П.В. Совершенствование методов компьютерного моделирования горнотехнических объектов для маркшейдерского обеспечения открытых горных работ: автореферат дис. кандидата технических наук: 25.00.16 // Ур. гос. горный ун-т. - Екатеринбург, 2006. - 21 с.
49. Коровин, Д.С. Обоснование и разработка метода оценки объема угольного склада на основе аэрофотосъемки с применением беспилотных летательных аппаратов: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.16 // Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук. Кемерово, 2017. - 21 с.
50. Костюк, А. С. Особенности аэрофотосъемки со сверхлегких беспилотных летательных аппаратов // Омский научный вестник. – 2011. – № 1 (104). – С. 236–240.

51. Корецкая, Г. А. Совершенствование технологий маркшейдерских съёмок открытых горных работ / Г.А., Корецкая, Д.С. Корецкий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. Т. 3(97). С. 38-40.
52. Костюк, А.С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА // ГЕОСибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 4, ч. 1. – С. 83–87.
53. Костюк, А.С. Методика калибровки и предварительной обработки снимков, полученных трехкамерной фотографической системой с беспилотного летательного аппарата / А.С. Костюк, А.Л. Быков, Л.В. Быков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 28–31.
54. Корнилов, Ю.Н. Определение элементов внутреннего ориентирования цифровых снимков / Ю.Н. Корнилов, Т.В. Буркова, Ю.Ю. Волкова // Записки горного института. - №156. – С. 229-231.
55. Красильщиков, Я.С. Основы фотографии и кинематографии при геологических работах: [Учеб. для геол. спец.] / Я. С. Красильщиков // 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1985. – 190 с.
56. Кремчеев, Э. А. Состояние метрологического обеспечения систем мониторинга на базе беспилотных воздушных судов / Э.А Кремчеев, А.С. Данилов, Ю.Д. Смирнов. // Записки Горного Института. 2019. Т.235. - С. 96-106.
57. Кузин, А.А. Методика оценки оползневой опасности при освоении территорий на основе геоинформационных систем по геодезическим данным / А.А. Кузин, А.П. Санникова // Геодезия и картография. М., -№ 2, 2016. С. 45-52
58. Кузнецов, С.М. Обработка статистической информации / С.М. Кузнецов, В.Я. Ткаченко, Н.В. Холомеева // Сибирский государственный университет путей сообщения. 2014. Т.3(7). С. 45-54.
59. Кучко А. С. Аэрофотография // Основы и метрология. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
60. Кудравец Д.А. Применение малой авиации в землеустройстве и мониторинге земель / Д.А. Кудравец, О.А. Ткачева // Международный студенческий электронный научный вестник. – Москва. - 2016. - Вып. 4 (часть 4). - С. 532-534.
61. Кутузов, Б.Н. Физика разрушения горных пород взрывом: учеб. пособие / Б.Н. Кутузов, В.П. Тарасенко; М-во высш. и сред. спец. образования СССР. Моск. горный ин-т. – Москва: [б. и.], 1972-. - 20 см.

62. Лаврова, Н.П. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование: учебник для вузов. / Н.П. Лаврова, А.Ф. Стеценко / М.: Недра, 1981. – 296 с. 15.
63. Лигоцкий, Д.Н. Технология разработки месторождений строительных материалов: учебное пособие / Д.Н. Лигоцкий, С.И. Фомин / СПб: СПГГИ, 2011. – 91 с.
64. Мельников, Н.В., Теория и практика открытых разработок / Н.В. Мельников, Э.И. Реентович, Б.А. Симкин и др. Под ред. Н.В. Мельникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1979. - 636 с. : ил.; 24 см.
65. Михайлов, А. П. О применении цифровых фотокамер со шторно-щелевым затвором для выполнения аэрофотосъемки с легкомоторных и беспилотных летательных аппаратов / А.П. Михайлов, Э.Р. Монтель Андраде, П.В. Мануэль Де Хесус // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4. – С. 30–32. 13.
66. Мусина, Г.А. Экологический мониторинг на основе снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов / Г.А. Мусина, Д.С. Ожигин, С.Б. Ожигина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. -4 (2). 2019. – С. 196-204.
67. Мустафин, М.Г. Оценка устойчивости борта карьера / М.Г. Мустафин, А.П. Санникова, П.И. Юшманов // Записки Горного института. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. Т. 198. - С. 198-201.
68. Мустафин, М.Г. Оценка устойчивости борта карьера с учетом данных цифровой фотосъемки поверхностей обнажений / Мустафин М.Г., Санникова А.П. // Записки Горного института. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, Т.199. 2013. - С. 276-280.
69. Новожилов, М.Г. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых: Учебник для студентов специальности "Разработка месторождений полезных ископаемых" по специализации "Открытая разработка месторождений" вузов УССР / М. Г. Новожилов, А. С. Фиделев // Киев: Гостехиздат УССР, 1963. - 394 с. : ил.; 22 см.
70. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов по специальности "Технология и комплексная механизация открытой разраб. месторождений полезных ископаемых". Ч. 1: Технология, механизация и автоматизация производственных процессов на открытых горных работах / М. Г. Новожилов, Ф. И. Кучерявый, В. С. Хохряков [и др.] / 1971. - 512 с. : ил.
71. Оника, С. Г. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения инженерных задач маркшейдерии и геодезии / С. Г. Оника, О. Е. Куликовская, Ю. Ю. Атаманенко // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 15-21.
72. Опарин, В.Н. Формирование объёмной цифровой модели поверхности борта карьера методом лазерного сканирования / В.Н. Опарин, В.А. Середович, В.Ф. Юшкин, А.В. Иванов,

С.А. Прокопьева // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2007. – N5. – С. 102-112.

73. Опритова, О. А. Исследование возможностей применения беспилотных авиационных систем для моделирования объектов недвижимости // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 248–258.

74. Павлов Н.С. Геодезическое обеспечение Обследования малых подводных переходов магистральных газопроводов // Маркшейдерия и недропользование. М., - №3 (83), 2016. С. 44-46.

75. Павлов Н.С. Предпосылки к проведению геодезических обследований технического состояния подводных переходов магистральных газопроводов // Маркшейдерия и недропользование. М., -№2 (82), 2016. С. 61-64.

76. Панюков, П.Н. Инженерная геология: Учеб. пособие для горных вузов и фак. // 2-е изд., перераб. и доп. // Москва: Госгортехиздат, 1962. - 343 с.: ил., карт; 23 см.

77. Павлович, А.А. Методы определения прочностных свойств массива горных пород применительно к открытым горным работам // Записки Горного Института – Т. 185, 2010. – С. 127-131.

78. Присяжнюк, С.П. Беспилотные летательные аппараты в лесопромышленном комплексе: возможности новых технологий // Геоинформатика. – 2012 - № 1. - С. 6-10.

79. Просвирина, Н.В. Анализ и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов // Московский экономический журнал, №10. 2021. С.560-575.

80. Раков, Д.Н. Определение задержки срабатывания затворов фотоаппаратов в аэрофотосъемочных комплексах / Д.Н. Раков, В.Н. Никитин, С.О. Шевчук // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 61–66.

81. Раков, Д. Н. Выбор цифрового неметрического фотоаппарата для беспилотного аэрофотосъемочного комплекса / Д. Н. Раков, В. Н. Никитин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: сб. молодых ученых СГГА. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 27–36.

82. Рац, М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. – Москва: Наука, 1968. – 107 с.: граф; 20 см.

83. РД 07-604-03. Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных пород при добыче полезных ископаемых открытым способом // Госгортехнадзор России. Москва, 2004.

84. РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ // Госгортехнадзор России. Москва, 2004.

85. Ржевский, В.В. Открытые горные работы / В.В. Ржевский, Б.Р. Ракишев // Справочник, ред. К.Н. Трубецкой// М.: Горное бюро, -1994. - 590 с.
86. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Технология и комплексная механизация открытой разработки месторождений полезных ископаемых" / В. В. Ржевский. - Изд. 8-е. - Москва: с.: ил., табл.; 21 см.
87. Российская Федерация. Законы. Воздушный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]. Федеральный закон от 19.03.1997 N 60-ФЗ // СПС «КонсультантПлюс».
88. Российская Федерация. Законы. Закон Российской Федерации «О недрах» (в редакции Федерального закона от 3 марта 1995 года N 27-ФЗ) (с изменениями на 8 декабря 2020 года).
89. Российская Федерация. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1467 «О лицензировании производства маркшейдерских работ» (вместе с «Положением о лицензировании производства маркшейдерских работ»).
90. Руководство пользователя Agisoft Metashape Professional Edition, версия 1.5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_ru.pdf.
91. Руководство по аэросъемочным работам. Утверждено заместителем Министра гражданской авиации 30.06.1986 №45/И.
92. Руководство по аэросъёмке в картографических целях (РАФ-89). М., РИО ВТУ ГШ, 1989. Утверждено ВТУ ГШ и ГШ ВВС.
93. Санникова, А.П. Изучение связи блочности массива и кусковатости горной массы по фотоснимкам при помощи методов компьютерной обработки // Записки Горного института. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2011. Т. 190. С. 301-303.
94. Санникова, А.П. Дистанционное изучение строения горного массива // Актуальные проблемы современной науки. М, 2011. №3. С. 184-185.
95. Санникова, А.П. Оценка устойчивости борта карьера на основе компьютерной технологии моделирования с учетом данных цифровой фотосъемки // Естественные и технические науки. М, 2012. №2. –С. 198-200.
96. Санникова, А.П. Методика оперативного определения трещиноватости пород // Естественные и технические науки. М., -№ 6. 2012. С. 21-24.
97. Санникова, А.П. Горно-геометрический анализ структурных показателей горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень, М., -№ 8, 2012. С. 400-403.
98. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618624. Программа для определения объема склада малого размера, измеренного с помощью комплекса для геодезической аэрофотосъёмки на основе квадрокоптера среднего сегмента. Авторы: Гусев В.Н., Иванов В.В., **Блищенко А.А.** Опубликовано 30.07.2020 Бюл. № 8. Заявитель СПГУ.

99. Середин В.В. Методика оценки напряженного состояния горных пород / В. В. Середин, А. С. Хрулев, А. В. Растегаев, В. И. Галкин // Горный журнал. - 2020. - № 2 (2271). - С. 30-34. DOI: 10.17580/gzh.2020.02.03.
100. Сухов, А.К. Изучение качества фотограмметрических моделей, получаемых в условиях слабой освещенности / А.К. Сухов, М.Г. Выстрчил, В.Н. Гусев, **А.А. Блищенко**, А.В. Данько // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – № 3 (59). – С. 140-148.
101. Смирнов, А.В. Факторы, влияющие на безопасную высокопроизводительную работу очистных забоев / А.В. Смирнов, А.В. Ремизов // Вестник КузГТУ, -2005, -№4(1). –С. 36-40.
102. Товкач, С.Е. Информационно-измерительная система пирометрического типа для малоразмерного беспилотного летательного аппарата // ТГУ, г. Тула, 2010 г.
103. Тригер, А.Л. Обоснование методов и совершенствование технических средств маркшейдерской съемки множества объектов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Московский государственный горный университет. Москва – 2009.
104. Такранов, Р.А. Геологическая фотодокументация горных выработок. / Р.А. Такранов , А.С. Шустерман // М. :”Недра”, 1984. -111 с.
105. Троянский, С.В. Геология и разведка угольных месторождений / С.В. Троянский, С.П. Васильев, Е.Н. Богачева, З.Г. Перфильева // М: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1984. -315 с.
106. Турсбеков, С.В. Современное маркшейдерско-геодезическое приборостроение / С.В. Турсбеков, С.Т. Солтабаева, Б.Н. Нуртуганов, Н.Х. Кенжегалиев // Вестник КРСУ. 2015. Том 15. – С. 145-148.
107. Тутакова, А.Я. Количественная оценка выхода блоков на месторождениях облицовочного камня с помощью трехмерного компьютерного моделирования // Записки горн. инст-та. -2007, -Т.173, -С. 31-32.
108. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», утвержденные приказом Ростехнадзора от 08.12.2020 г. № 505.
109. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов», утвержденного приказом Ростехнадзора от 13.11.2020 г. № 439.
110. Фисенко, Г.Л. Совершенствование методов расчета сдвижений и деформаций горных пород, сооружений и бортов разрезов при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях: Сб. науч. тр. // ВНИИ горн. геомеханики и маркшейдер. дела; - Л.: ВНИИМ, 1985. - 87 с. : ил.; 21 см.

111. Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов и отвалов на разрезах / Г.Л. Фисенко, А.М. Мочалов / Москва: ЦНИЭИуголь, 1975. - 54 с.: ил.; 20 см.
112. Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов угольных карьеров, - М: Углетехиздат, 1956 г. – 230 с.
113. Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов // 2-е изд. Пер. и доп. // М: Недра, 1965. – 378 с.
114. Хлебникова, Т.А. Экспериментальные исследования точности построения фотограмметрической модели по материалам БПЛА / Т.А. Хлебникова, О.А. Оприцова, С.М. Аубакирова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. Т. 1. – С. 32–37.
115. Холодняков, Г.А. Проектирование карьеров при разработке комплексных месторождений. – СПб: изд. Горный университет, 2013. – 193 с.
116. Ческидов, В.В. Современные методы и средства оперативного контроля на горных предприятиях для обеспечения экологической и промышленной безопасности / В.В. Ческидов, Д.С. Куренков, А.И. Маневич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 6. – С. 188-199.
117. Ческидов В.В. Анализ закономерностей распределения соединений серы и железа на примере намывных техногенных массивов. / В.В. Ческидов, Н.Н. Барабанов, М.О. Ложкин, П.А. Смирнов, А.А. Лагутина // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021;(3):142-153. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-3-0-142-153
118. Шеффе, Г. Дисперсионный анализ / Перевод с англ. Б. А. Севастьянова, В. П. Чистякова. - 2-е изд. - М.: Наука, 1980. - 512 с.; 22 см.
119. Шешко, Е.Ф. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: изд. Углетехиздат, 1954. – 223 с.
120. Эпов, М. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке / М.И. Эпов, И.Н. Злыгостев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 22–27.
121. **Blischenko, A.A.** Anovar of Errors in Surveying Photogram-metric Measurements of Mountain Objects with the Help of Unmanned Aerial Vehicles. / **A.A. Blischenko**, V.N. Gusev // International science and technology conference "Earth science" IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. №720.

122. **Blischenko, A.A.** Modern mine survey techniques in the process of mining operations in open-pit mines (quarries) // Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues, 2019. – p. 58-62.
123. Dorokhov, D.V. A Technique for surveying of ground surface deformations in mine field / D.V. Dorokhov, F.K. Nizametdinov., S.G. Ozhigin, S.B. Ozhigina // Journal of mining science. 2018. V.54. pp. 874-882.
124. Demidova, P.M. 3D Modelling in solution of cadastral and geodetic tasks / P.M. Demidova, O.A. Kolesnik, H.A. Fatin // E3S Web of Conferences. № 7014. V. 164, 2020. pp. 1 – 9.
125. Lepikhina, O.Y. Expert assessment of most effective use of land plot / O.U. Lepikhina, A.P. Sannikova // Life Science Journal 11(5), 2014. p. 542-546.
126. Lepikhina, O.Y. Comparative evaluation of the effectiveness of the laser scanning and aerial photography systems using unmanned aerial vehicles // Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 1333. p. 1-5.
127. Osipov, A. Cartographo-Mathematical Modelling of Landscape Diversity for Land Use Planning Purposes / A. Osipov, V. Dmitriev, V. Kovyazin, A. Romanchikov, A. Osipov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, № 574, 2020. p. 1-8.
128. Sannikova, A.P. Methodology for effective determination of rock jointing in calculation of open pit edges / A.P. Sannikova, L.R Bazykina., D.S. Ozhigin // Jr. Of Industrial Pollution Control 33(1) (2017) pp. 852-855.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт о внедрении результатов кандидатской диссертации на предприятии

ООО «Карьерпроект»

172200, Тверская обл., Селижаровский р-н, пгт. Селижарово,
ул. Сельская, д.8, корп. 2, офис 12
Телефон: +7 (904) 638-73-68, e-mail: karierproekt@inbox.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
ООО «Карьерпроект»



Музыкин

2022 г.

АКТ

о внедрении результатов

кандидатской диссертации Блищенко Александра Александровича
по научной специальности
2.8.3 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика,
маркшейдерское дело и геометрия недр.

Комиссия в составе:

Председатель Генеральный директор ООО «Карьерпроект» Музыкин М.Г.

Члены комиссии:

- 1) Главный инженер проекта Виноградов И.П.;
- 2) Главный маркшейдер Киселева Т.С.
- 3) Главный геолог Бирин М.В.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Формирование и разработка методики применения геодезического квадрокоптера для маркшейдерских съемок на карьерах», представленной на соискание ученой степени кандидата наук, использованы в ООО «Карьерпроект» деятельности маркшейдерского отдела при осуществлении маркшейдерского обеспечения месторождений в виде:

- технических предложений по выполнению маркшейдерского обеспечения;
- использования экспериментальных данных по проведенному исследованию в процессе маркшейдерского обеспечения;
- методики выполнения маркшейдерской съемки месторождений и других горных объектов;
- математической модели расчета и прогноза ошибки маркшейдерской съемки при использовании геодезического квадрокоптера, как маркшейдерско-геодезического прибора;
- рекомендаций проведения маркшейдерских съемок при использовании геодезического квадрокоптера.

Использование указанных результатов позволяет беспрецедентно:

- повысить качество выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера;

ООО «Карьерпроект»

172200, Тверская обл., Селижаровский р-н, пгт. Селижарово,
ул. Сельская, д.8, корп. 2, офис 12
Телефон: +7 (904) 638-73-68, e-mail: karierproekt@inbox.ru

- повысить качество предоставляемых услуг недропользователям;
- сократить затраты на проведение работ маркшейдерского обеспечения месторождений;
- повысить производительность труда при маркшейдерском обеспечении месторождений;
- повысить уровень подготовки кадров специалистов маркшейдерского отдела ООО «Карьерпроект»

Председатель комиссии

Генеральный директор ООО «Карьерпроект» _____ /Музыкин М.Г./

**Члены комиссии:**

Главный инженер проекта _____ /Виноградов И.П./

Главный маркшейдер _____ /Киселева Т.С./

Главный геолог _____ /Бирин М.В./

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020618624

**ПРОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА СКЛАДА
МАЛОГО РАЗМЕРА, ИЗМЕРЕННОГО С ПОМОЩЬЮ
КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ АЭРОФОТОСЪЁМКИ
НА ОСНОВЕ КВАДРАКОПТЕРА СРЕДНЕГО СЕГМЕНТА**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Гусев Владимир Николаевич (RU), Иванов Владимир
Викторович (RU), Блищенко Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2020617497

Дата поступления 22 июля 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 июля 2020 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2020618624**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2020618624 Дата регистрации: 30.07.2020 Номер и дата поступления заявки: 2020617497 22.07.2020 Дата публикации и номер бюллетеня: 30.07.2020 Бюл. № 8	Автор(ы): Гусев Владимир Николаевич (RU), Иванов Владимир Викторович (RU), Блищенко Александр Александрович (RU) Правообладатель(и): федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)
--	---

Название программы для ЭВМ:
**ПРОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА СКЛАДА МАЛОГО РАЗМЕРА,
 ИЗМЕРЕННОГО С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ
 АЭРОФОТОСЪЕМКИ НА ОСНОВЕ КВАДРАКОПТЕРА СРЕДНЕГО СЕГМЕНТА**

Реферат:

Программа предназначена для определения приближенного к истине значения объема склада (100-3500) м³, на открытых горных работах с учетом поправочного коэффициента перерасчета. В программе учитываются: высота полета квадрокоптера, коэффициент разрыхления горной породы, погрешность определения объема, количество опознаков. Может применяться в ВУЗах при выполнении лабораторных и расчетно-графических работ, курсового и дипломного проектирования для специальностей «Маркшейдерское дело» и «Инженерная геодезия»; выполнения научно-исследовательских работ, а также на горных предприятиях с целью определения объема складов горных пород. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: графический анализ объема склада; расчет объема полезного ископаемого в складе, учитывая коэффициент разрыхления горной породы; определение объема склада, в зависимости от количества опознаков и др.

Язык программирования: Visual Basic 6
Объем программы для ЭВМ: 48 Кб