

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*

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург– 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Гусев Владимир Николаевич

Официальные оппоненты:

Жабко Андрей Викторович

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», кафедра маркшейдерского дела, заведующий кафедрой;

Ческидов Василий Владимирович

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт, заместитель директора.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Защита диссертации состоится 28 сентября 2022 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.244.08 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.
Автореферат разослан 28 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КУЗИН
Антон Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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., Столчев 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.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности по п. 1 «Разработка технических средств, технологий и методик производства геометрических измерений пространственно-временных характеристик состояния земной поверхности, недр, подземного пространства городов и графического отображения информации в различных видах», п. 3 «Изучение сдвижения и деформаций породных массивов и земной поверхности, разработка методов и средств наблюдений, контроля и прогноза геомеханического состояния».

Цель 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. 30.04.2022 г.).

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 съёмочной 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 съёмочной информации, использованием для ее обработки математического аппарата дисперсионного и корреляционного анализов. Полученные результаты согласуются с рекомендациями заводов-изготовителей БПЛА, с оценками специалистов маркшейдерских служб карьеров и внедрены в маркшейдерском отделе ООО «Карьерпроект» (г. Санкт-Петербург).

Апробация результатов. Основное содержание диссертации докладывалось на следующих конференциях: 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 диссертационной работы 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 работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка, включающего 128 литературных источников, изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц, 18 рисунков.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю профессору В.Н. Гусеву за помощь в определении общей идеи работы и направления исследований, коллекти-

ву кафедры маркшейдерского дела и кафедры инженерной геодезии, в частности доценту Санниковой А.П., 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе реализован обзор общих задач маркшейдерской съемки на открытых горных работах, приведены и детерминированы основные методы их выполнения. Приведено теоретическое исследование современного и актуального способа маркшейдерской съемки открытых горных объектов с помощью применения геодезического квадрокоптера, оценен и спрогнозирован его потенциал развития. Предложено создание единой методики использования геодезического квадрокоптера на открытых горных работах, обоснованное значительными преимуществами данного маркшейдерского способа измерения и обусловленного кризисом существования нормативной литературы в сфере применения беспилотных летательных аппаратов в горном деле.

Вторая глава диссертационной работы посвящена изучению генезиса внешних факторов влияния на погрешность маркшейдерской съемки при использовании геодезического квадрокоптера, их математическому обоснованию, результатом которого является составление интегральной формулы влияния факторов на результат маркшейдерской съемки, имеющей весомое практическое значение для предварительной подготовки выполнения маркшейдерского измерения геодезическим квадрокоптером.

В третьей главе осуществлено структурное формирование обоснованной как математически, так и практически, методики выполнения маркшейдерской съемки на открытых горных работах с применением геодезического квадрокоптера.

В четвертой главе представлена актуальная методика маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера на открытых горных работах. Определены преимущества и производительность выполнения измерений карьеров данным способом относительно классических методов маркшейдерского обеспечения, а именно: трудоемкость, времязатратность и доступность. Осуществлен экономический анализ некоторых показателей исследуемой методики маркшейдерской съемки.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

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.

Дисперсионный анализ внешних факторов влияния, выполненный на основе достаточного количества и высокого качества набора эмпирий, позволил выявить уровень их воздействия на итоговую погрешность выполнения маркшейдерской съемки.

В приведенном исследовании, высота полета геодезического квадрокоптера, поперечное и продольное перекрытия снимков и количество использованных опознавательных знаков в процентном эквиваленте определения являются мажоритарными показателями, величины которых составляют 48%, 21% и 13% соответственно, от интегральной ошибки съемки.

Полная диаграмма результатов математического анализа и представление степеней влияния всех факторов изображена на рисунке 1.

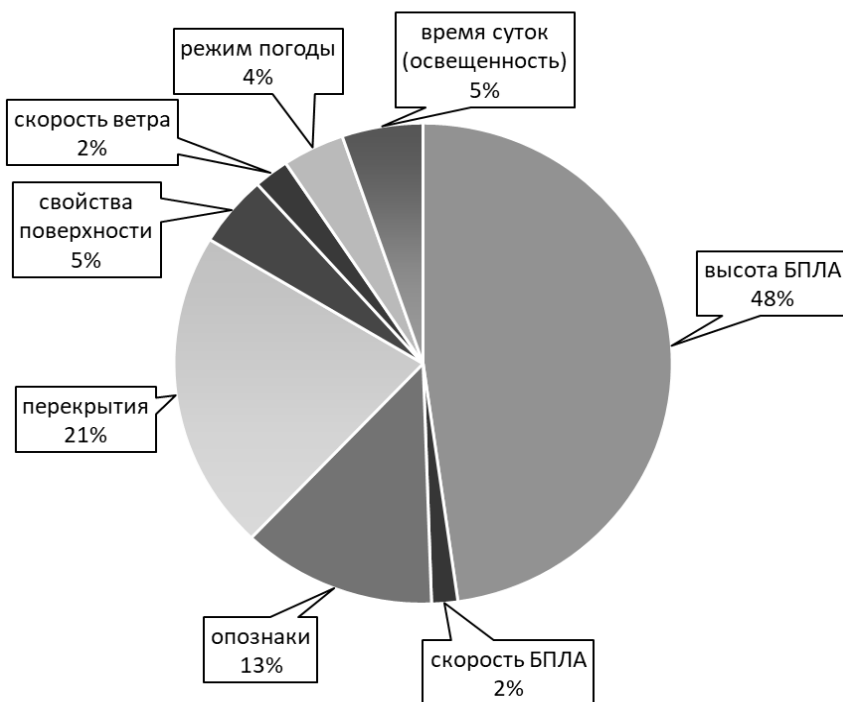


Рисунок 1 – Степень влияния изучаемых факторов на точность съёмки квадрокоптером.

Важным выводом произведенного математического анализа является факт отношения доминантных факторов влияния к группе регулируемых (управляемых), что несомненно дает возможность прямого контроля над основной значительной долей погрешности измерения.

Главенствующая роль высоты полета геодезического квадрокоптера, как фактора влияния, связана со сложностью нетривиального осуществления оценки координаты по высоте. В настоящем исследовании данная проблема возникает в силу надирного положения геодезического квадрокоптера по отношению к плоскости маркшейдерской съемки, не позволяющего определять некие отклонения положения беспилотного аппарата по высоте в отличии от смещений нахождения квадрокоптера во время полета в плоскости планового обоснования, что в итоге в большей степени приведет к

очевидности изменения его положения на снимках и производных изображениях. Тем самым численная величина средней квадратичной ошибки высотной координаты больше планового координатного определения измеряемого объекта.

Наряду с тем, высота полета несет в себе прямую корреляционную зависимость с номинальным пространственным разрешением аэрофотоснимков, определяемым размером проекции пикселя на местности. Проектируемая высота осуществления фотографирования должна обеспечивать получение снимков с требуемым пространственным разрешением для используемой аэрофотоаппаратуры в соответствии с ГОСТом Р 59328-2021.

Принимая во внимание продольное и поперечное перекрытия снимков, как существенного фактора влияния на погрешность маркшейдерской съемки, формируется закономерность, выраженная в увеличении процентного смеживания снимков, в силу их регулируемого характера, в случаях, негативно оказывающих действие на маркшейдерский полет геодезического квадрокоптера в процессе полевых работ: значительная высота БПЛА, погода, поверхность сложной конфигурации, отсутствие опознавательных знаков и так далее. Однако, прямолинейность и тривиальность данной зависимости требует от специалиста-оператора БПЛА компетенций, соответствующих рациональной оценке целесообразности использования ресурсов геодезического коптера.

Как и все исследуемые факторы, воздействующие на погрешность полета, мажоритарный параметр опознавательных знаков имеет определенные характерные особенности и прямую связь с другими исследуемыми факторами влияния. Значимость фактора опознаков обусловлена геометрическим их расположением и рациональным детерминацией количества точек привязок в границах территории маркшейдерского полета. Следует соблюдать условия распределения опознавательных знаков, придерживаясь необходимых геометрических положений, коррелируемых с поверхностными перепадами объекта измерения. Количество опознаков выбирается на основе практического опыта и компетентного представления процесса маркшейдерской съемки с использованием геодезического квадрокоптера специалистом, в соответствии с площадью поверхности съемки. Излишнее число опознаков не оправдывает уменьшение

погрешности маркшейдерского измерения всей снимаемой поверхности, нарушая утилитарность процесса предполетной подготовки, выраженной дополнительной времязатратностью и трудоемкостью.

Исследованная категориальность и приоритетность, в особенности доминантных факторов влияния, как производная дисперсионного анализа, стало основой регрессионной модели формирования ошибки маркшейдерской съемки, являющейся значимым подспорьем к созданию алгоритма прогнозирования и управления общей погрешностью.

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.

Результаты дисперсионного и регрессионного анализов стали основой математического алгоритма предложенной методики маркшейдерской съемки с использованием геодезического квадрокоптера.

Математический анализ обеспечил детерминацию мажоритарности факторов влияния на геодезический квадрокоптер во время выполнения маркшейдерского обеспечения, выявление их процентного соотношения в интегральной величине погрешности съемки. На основе определения соотношений и корреляционных зависимостей количественных и качественных величин факторов влияния на ошибку маркшейдерского полета, выполнено формирование единого уравнения (1), переменные которого соответствуют элементам воздействия на погрешность съемки геодезического квадрокоптера.

$$M, \text{ см} = 137,9 + 0,1611H + 0,3406V_1 + 0,085 V_2 - 1,842 P_1 - 0,853P_2 - 24,52N - 0,652Z - 0,067K - 1,936NR + 2,655R + 1,817V - 0,842D - 0,975Y + 0,332O - 0,332S + 0,002911H2 + 0,03529V22 + 0,01724P12 - 0,00642H*V2 - 0,00746H*P1 + 0,2492P2*N, \quad (1)$$

где H, м – высота выполняемого полёта,

V_1 , м/с – скорость квадрокоптера,

V_2 , м/с – скорость ветра,

P_1 , % – величина продольного перекрытия,
 P_2 , % – 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.

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.

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

Особенностью применения предполетной подготовки, связанной с формулой прогнозирования заключается в комбинированной подстановке значений и величин в данное уравнение. 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.

При подготовке к выполнению полета геодезического квадрокоптера для выполнения маркшейдерского обеспечения осуществляется фиксирование и регулировка параметров факторов влияния в модели прогнозирования и управления погрешностью, относящихся именно к группе регулируемых.

Предлагаемая методика выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера регламентирует определенные параметры факторов влияния и другие нормативы производства полета, обеспечивающие осуществления маркшейдерского полета в пределах допустимых значений погрешностей, соответствующих задач: маркшейдерская съемка, определение объемов складов и отвалов горных пород, геомеханический мониторинг устойчивости уступов и бортов карьеров.

Рациональная и эффективная селекция значений исследованных факторов воздействия предоставляет маркшейдеру надежность и уверенность в предварительном определении ошибки планируемой съемки, максимально приближенной к истинному значению, что приводит к однозначному достижению оптимизации полета геодезического квадрокоптера, обеспечивающей повышения эффективности маркшейдерского обеспечения открытых горных работ путем применения БПЛА.

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.

Полученное уравнение модели прогнозирования и управления погрешностью маркшейдерского полета обеспечивает преднамеренную подготовку к выполнению определенной геометрической задачи на открытых горных работах.

Важным преимуществом сформированной модели математического алгоритма фактором влияния на ошибку съемки является гибридность значений параметров и гибкость их фиксирования в уравнении, дающее широкие возможности специалисту в полной мере комбинировать величинами так, чтобы добиться минимального значения потенциальной ошибки для достижения выполнения поставленной задачи по маркшейдерскому обеспечению карьера, в частности осуществления маркшейдерской съемки.

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.

Согласно предложенной методике выполнения маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера, 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 1.

Таблица 1 – Погрешности выполнения маркшейдерской аэрофото-съемки в соответствии с ее масштабом

Масштаб съемки	Погрешность съемки относительно планового положения (XY), см	Погрешность 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]

Примечание: 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 – предгорный и горный рельеф.

Конфигурация расположения и количество опознавательных знаков в пределах измеряемой площади является одним из важнейших факторов влияния на конечную погрешность маркшейдерской съемки с помощью геодезического квадрокоптера. В то же самое время, с точки зрения процесса полевых работ, расставление опознавательных знаков на горном объекте на стадии предполётной подготовки – процедура, которая занимает определенное время, иногда составляющее половину всего течения периода полевых работ. Трудности расположения опознавательных знаков, чаще всего, связаны с одновременно происходящим ведением горных работ, что, несомненно, дает определенные препятствия для специалиста, как в физическом смысле, так и в понимании безопасности. Помимо этого, времязат-

ратность определяется сворачиванием опознаков после выполнения маркшейдерской съемки.

Выходом из сложившейся ситуации может являться попытка исключения из полевого процесса и, соответственно, из полученной модели фактора влияния опознавательных знаков, заменяя отсутствие данного параметра съемки повышенным числовым значением эквивалентного мажоритарного фактора влияния без превышения допустимых значений погрешности маркшейдерской съемки при выполнении соответствующей задачи.

При формировании модели прогнозирования, представленной формулой нахождения погрешности маркшейдерской съемки, фактор влияния опознавательных знаков был проанализирован как параметр, имеющий разную количественную составляющую.

Примечательно, что достаточная погрешность измерения, соответствующая требованиям допустимой погрешности на открытых горных работах, имела места быть даже в тех случаях, когда при выполнении эмпирии опознавательные знаки отсутствовали. Данное обстоятельство, приведенное в таблице 2, выполнялось при постановке нормальных условий величин других параметров и при выполнении полетов с поперечным и продольным перекрытием снимков на 75% и 85%, соответственно, и более.

Таблица 2 – Результаты погрешностей маркшейдерских измерений при поперечных и продольных перекрытиях на 75% и 85%, соответственно, и более

№	М, см	Н, м	V1, м/с	V2, м/с	P1, %	P2, %	N, шт	св-ва пов-ти	режим погоды	время суток
142	11,8	100	10	7,5	75	85	0	зачищ.	солн.	день
146	6,7	100	10	7,5	85	95	0	зачищ.	солн.	день
150	10,5	100	10	7,5	75	85	0	зачищ.	солн.	день
166	10,8	100	10	2,5	75	85	0	зачищ.	солн.	день
170	11,8	100	10	7,5	75	85	0	зачищ.	солн.	день
186	8,8	100	10	7,5	75	85	0	зачищ.	солн.	день
194	9,9	100	10	7,5	75	85	0	зачищ.	солн.	день

Показатели погрешностей, не превышающие допустимые значения для открытых горных работ, при выполнении маркшейдерских измерений с предложенными перекрытиями снимков, как исходного выставяемого параметра полета геодезического квадрокоптера, подтверждает аподиктическое утверждение о возможности исключения опознавательных знаков, как от части предполетной подготовки к полевым работам, как от одного из самых трудоемких и времязатратных процессов.

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 квадрокоптера при маркшейдерских съемках на карьерах.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикация в издании из Перечня ВАК:

1. **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.

Публикации в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus:

2. **Blischenko A.A.** Modern mine survey techniques in the process of mining operations in open-pit mines (quarries) / **Blischenko A.A.** // Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues, 2019. – p. 58-62. DOI: 10.1201/9781003017226-8.

3. Blischenko, A.A. Anovar of Errors in Surveying Photogrammetric Measurements of Mountain Objects with the Help of Un-manned Aerial Vehicles. / **A.A. Blischenko**, V.N. Gusev // International science and technology conference "Earth science" IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. №720. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012103.

Публикации в прочих изданиях:

4. 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. – DOI 10.21440/2307-2091-2020-3-140-148.

5. **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.

6. **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.

7. **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.

Свидетельство:

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618624. Программа для определения объема склада малого размера, измеренного с помощью комплекса для геодезической аэрофотосъемки на основе квадрокоптера среднего сегмента. Авторы: Гусев В.Н., Иванов В.В., **Блищенко А.А.** Опубликовано 30.07.2020 Бюл. № 8. Заявитель СПГУ.