

# ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Бахаевой Светланы Петровны

на диссертацию **Сухова Арсения Константиновича**  
на тему «Обоснование применения GRID-моделей для результатов  
фотограмметрических съемок открытых горных выработок», представленную  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика,  
маркшейдерское дело и геометрия недр

## 1. Актуальность темы диссертации

Стремительное увеличение объемов добычи полезных ископаемых при открытой геотехнологии требует использование оперативных и точных методов съемки объектов открытых горных выработок. Одним из таких видов съемки является фотограмметрическая с беспилотных воздушных судов. Для этого вида съемки характерны оперативность, сравнительно небольшие материальные затраты и значительные объемы получаемой информации, по которой создаются цифровые модели открытых горных выработок.

Контроль точности моделей основывается на сравнении с дискретными пунктами, определёнными другими методами съемок, при этом контроль построения цифровых моделей открытых горных выработок на участке модели между такими пунктами отсутствует.

Правилами осуществления маркшейдерской деятельности, утвержденными приказом Федеральной службы по экологическому технологическому и атомному надзору от 19.05.2023 №186, допускается ведение маркшейдерской документации не только на бумажном носителе, но и в электронном виде. Вместе с тем требуемые форматы электронного вида маркшейдерской документации, допустимые погрешности на определение координат по цифровым моделям, допустимые расхождения моделей с результатами маркшейдерских измерений в Правилах отсутствуют.

Совокупность нерешенных задач говорит о необходимости создания подхода, позволяющего одновременно задействовать все точки облака, полученные при съемке, и упростить создание цифровых моделей с возможностью оценки качества результирующей модели, характеризуемого адекватным отражением моделью реального объекта – в рассматриваемом случае открытых горных выработок.

Рассмотренные выше обстоятельства предопределили **актуальность** диссертационных исследования Сухова Арсения Константиновича, посвященных обоснованию применения GRID-моделей для результатов фотограмметрических съемок открытых горных выработок.

## 2. Научная новизна диссертации

2.1 При аппроксимации сегмента модели выявлена линейная зависимость средней квадратической погрешности определения высоты в сегменте от размера сетки деления.

*Бахаева*

ОТЗЫВ  
ВХ. № 9-28 от 29.06.24  
АУ УС

2.2 Для цифровых моделей рельефа определена форма распределения ошибки аппроксимации полиномом первого порядка, согласующаяся с законом  $\chi^2$ -распределения.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и результатов**

Основные научные результаты диссертационной работы отражены в трех научных положениях, выносимых на защиту.

**Первое научное положение:** *Для формирования цифровых моделей открытых горных выработок, получаемых из облака точек при фотограмметрической съемке, следует в качестве аппроксимирующей функции использовать уравнение плоскости, с определением ее наклона и положения в трехмерном пространстве по методу наименьших квадратов.*

Первое научное положение раскрывается во второй главе диссертации. Основанием данного положения служит предлагаемый автором новый подход в описании высоты: вместо применяемых в традиционных GRID алгоритмов интерполяции данных использовать алгоритмы аппроксимации сегментов облака плоскостью, аналогичной TIN, что позволит оценить и повысить точность результирующей модели. Автором разработана блок-схема работы программы по обработке облака точек, полученных по результатам съемки с беспилотных летательных аппаратов (БЛА).

**Второе научное положение:** *Соответствие сегментированной модели исходным данным облака точек следует определять на основе геопространственного анализа взаимосвязи высот точек облака относительно вписанной в каждый сегмент плоскости.*

В качестве доказательства второго научного положения автор приводит результаты многовариантных экспериментов с использованием программных продуктов TeoBox и Agisoft Metashape по расчету коэффициента детерминации для сегментов размером от 0,5 до 10 м при съемке различных объектов: торфяное месторождение, имеющее пересеченный рельеф; угольные склады, которые характеризуются правильной геометрической формой; месторождение россыпного золота, имеющее относительно ровный рельеф. Несомненно, исследования автора представляют новое научное знание, а также сделанные им выводы о наиболее благоприятных и неблагоприятных условиях для обеспечения малой погрешности определения высоты точек в модели имеют ценность для практики.

**Третье научное положение:** *Выбор оптимального размера сегмента модели следует производить с учетом полученной закономерности линейного возрастания средней квадратической погрешности модели от размера сегмента модели в соответствии с техническими (технологическими, нормативными) требованиями точности решаемой задачи.*

Третье научное положение раскрывается в четвертой главе диссертации и является обобщением всей проделанной в ходе исследований работы. Предложенная автором методика формирования GRID сопоставляется с существующими подходами к созданию цифровых моделей. Обосновывается ее преиму-

щества, в первую очередь за счет отсутствия необходимости разряжения исходных данных и возможности обеспечения меньшей СКП высоты на любом участке, величина которой может достигать до 0,22 м вместо 0,58 в традиционных GRID. Предложен также подход к определению высоты полета судна по прогнозируемой ошибке модели к исходным данным. Обоснована принципиальная возможность использования предлагаемого метода формирования цифровых моделей к результатам съемки лазерным сканером. На примере для различных объектов съемки приведены размеры сегментов модели для обеспечения, требуемой ГОСТ 59562-2021 точности по высоте для создания топографических карт и планов с отображением на них рельефа местности.

Защищаемые положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе, в целом обоснованы ссылками на апробированные источники, а также подтверждены результатами проведенных натурных экспериментов и, несомненно, обладают научной новизной и практической значимостью.

#### **4. Научные результаты и их ценность**

Основными новыми научными результатами, полученными в результате проведения исследований, являются:

1) Линейная зависимость среднеквадратической погрешности определения высоты в сегменте от размера сетки деления при аппроксимации сегмента облака точечной модели;

2) Форма распределения ошибки аппроксимации полиномом первого порядка сегмента облака точечной модели, согласующаяся с законом  $\chi^2$ -распределения.

Исследования, проведенные автором, позволили обосновать оригинальную методику создания цифровых моделей открытых горных выработок равной дискретности. Линейная зависимость среднеквадратической погрешности возрастает от размера сетки деления на сегменты, что позволяет прогнозировать появление ошибок определённых величин.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе 1 статье – в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (*из перечня ВАК*), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и системы цитирования *Scopus*; получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

#### **5. Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость:

1) Разработан алгоритм построения цифровых моделей, основанный на разбиении исходного облака точек на сегменты и вписывании в них полиномов первого порядка.

2) Природа и механизм разделения на сегменты отфильтрованного по рельефу облака точек позволяет выявить участки, содержащие точки, ошибочно отнесённые алгоритмами фильтрации к рельефу.

3) Определена зависимость среднеквадратической погрешности высоты сегмента от его размера.

Практическая значимость:

1) Даны рекомендации по определению высоты полёта воздушного судна в момент проведения аэрофотосъёмочных работ в зависимости от требуемой погрешности выполняемых работ.

2) Написана программа для ЭВМ, в которой создаётся база данных с параметрами сегментов, и рассчитываются их среднеквадратические погрешности.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Предлагаемый способ сегментирования при создании цифровых моделей может использоваться для составления, обработки и хранения маркшейдерской информации и формирования горно-графической документации; для определения объемов горных работ, а также для наблюдений за макродеформациями отвалов по специальным реперам наблюдательных станций на горных предприятиях, ведущих добычу полезных ископаемых открытым способом.

Использование метода создания моделей по сегментам для аппроксимации облаков точек имеет значительный потенциал для упрощения процесса моделирования горных выработок маркшейдерской службой горных предприятий.

## **7. Замечания и вопросы по работе**

7.1 При обосновании нового подхода в описании высоты – аппроксимация сегментов облака точек уравнением плоскости автор не обосновывает параметры сегментирования, при которых погрешность модели не превзойдет регламентированную Правилами осуществления маркшейдерской деятельности погрешность определения высотных отметок.

7.2 Блок-схема алгоритма метода формирования моделей (рис. 2.4) не полная, так как расчетом коэффициентов детерминации не завершается корреляционный анализ. Мерой близости эмпирических данных теоретическим, вычисленным по уравнению регрессии, служит средняя квадратическая погрешность уравнения регрессии.

Не выполнены: оценка надежности самого коэффициента корреляции; проверка гипотезы о достоверности связи: отношение коэффициента корреляции к погрешности коэффициента корреляции.

7.3 Автором изначально была принята идея замены облака точек съемки полиномом первого порядка, которым по сути является плоскость. В этой связи такой вид аппроксимации наилучшим образом подойдет для относительно выдержанного рельефа близкого к плоскости. Поэтому при формулировке второго научного положения следует уточнить: соответствие сегментированной модели исходным данным облака точек следует определять на основе геопространственного анализа взаимосвязи высот точек облака относительно вписанной в

каждый сегмент плоскости для условий относительно выдержанного рельефа участка съемки.

Для пересеченного рельефа, каким является открытые горные выработки, аппроксимацию облака точек следует выполнять полиномом более высокого порядка.

7.4 В подразделе 4.6, где автор обосновывает размеры сегментов для различных объектов съемки (табл. 4.3), выполнена некорректная обработка данных – сравнение утроенного значения среднеквадратического отклонения  $3\sigma$  с допустимой разностью между отметками бровки, определенными по плану горных работ 0,4 м. Поэтому карты распределения ошибок построенных моделей для различных размеров сегментирования требуют корректировки.

## 8. Заключение по диссертации

Диссертация **Обоснование применения GRID-моделей для результатов фотограмметрических съемок открытых горных выработок**, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденным приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор **Сухов Арсений Константинович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр**.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры маркшейдерского дела и геологии горного института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», д.т.н., доцент

Бахаева Светлана Петровна

Подпись Бахаевой Светланы Петровны заверяю

*Бахаева* - 22 мая 2024 г.

Подпись Бахаевой С.П.

**ЗАВЕРЯЮ**  
участный секретарь совета  
*М.М. Коспирова*

« 22 » 05 2024 г.

Сведения об официальном оппоненте

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Почтовый адрес: 650000, Кемеровская область – Кузбасс

г. Кемерово, ул. Весенняя, 28:

Официальный сайт в сети Интернет: <http://kuzstu.ru/>

Эл.почта: [rector@kuzstu.ru](mailto:rector@kuzstu.ru); [kuzstu@kuzstu.ru](mailto:kuzstu@kuzstu.ru). Телефон: +7(3842)396960.

*Бахаева*