

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Применение высокоточных цифровых моделей
рельефа для расчёта функционирования карьеров
(на примере Иссинского месторождения
Пензенской области)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 05.03.03 Картография и геоинформатика

географического факультета

Мадашева Эмиля Ерлановича

Научный руководитель
старший преподаватель

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

П.А. Шлапак

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

к.с-х.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Гусев

инициалы, фамилия

Саратов 2025

Введение. В современном мире применение высокоточных цифровых моделей рельефа (далее ЦМР) приобретает все большее значение и играет ключевую роль в различных отраслях деятельности человека. В таких областях, как маркшейдерское дело и управление горными работами, эти технологии стали незаменимым инструментом для получения точных пространственных данных. Однако, для эффективного использования ЦМР необходимо четко понимать точность различных методов их построения и задачи, которые можно решать с их помощью.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа цифровых моделей, полученных разными методами измерений. Основная задача - оценить точность и детализацию цифровых моделей рельефа, выявить их преимущества и недостатки для расчета основных технологических параметров разработки на примере рассматриваемых карьеров.

Методика исследования включает полевые работы по сбору данных различными методами, их обработку в специализированном ПО, а также сравнительный анализ точности полученных результатов. Особое внимание уделяется применению ЦМР для расчета объемов горной массы и других ключевых параметров карьерных разработок на примере Иссинского месторождения карбонатных пород в Пензенской области, а для сравнения методов построения цифровых моделей и расчёта коэффициента разрыхления использовались данные, полученные на Иргизском месторождении, расположенном в Саратовской области.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов работы для оптимизации процессов производства, проектировании, повышения точности маркшейдерских расчетов и снижения затрат на маркшейдерское обеспечение горных работ. Полученные данные помогут определить наиболее эффективные методы построения ЦМР для решения конкретных производственных задач.

Основное содержание работы.

1 Основные понятия о цифровых моделях рельефа

Цифровая модель рельефа представляет собой упорядоченный набор координатных данных, описывающих форму земной поверхности в цифровом виде. Основу модели составляют пространственные точки с привязкой по координатам X , Y и высоте Z [1].

Цифровые модели рельефа используются для описания как природных, так и техногенно изменённых участков местности. В инженерной и горной практике применяются два основных типа структур: регулярные сетки и модели в виде треугольных нерегулярных сетей (TIN), каждая из которых обладает собственными преимуществами в зависимости от задач. TIN-модели позволяют с высокой точностью описывать сложные формы рельефа и широко применяются при необходимости расчёта объёмов, профилей, площади сечения, оценки устойчивости откосов и других инженерных характеристик [2].

Для построения цифровых моделей применяются различные методы съёмки — лазерное сканирование, фотограмметрия, спутниковая RTK-съёмка, аэрофотосъёмка и наземные геодезические измерения. Исходные данные проходят этап предварительной фильтрации, выравнивания и сшивки, после чего формируются цифровые модели рельефа в специализированном программном обеспечении. Важнейшими параметрами, влияющими на точность моделей, являются плотность точек, пространственное разрешение, погрешность по высоте и качество геопривязки. Недостаточная точность исходной модели может привести к значительным отклонениям при расчётах объёмов, массы, коэффициента разрыхления и выходов продукции [3].

Цифровые модели находят широкое применение в маркшейдерских, проектных и производственных задачах, включая мониторинг текущего состояния карьера, контроль за объёмами выемки, построение поперечников и профилей, фиксацию рельефа до и после взрывных работ, а также планирование размещения складов и отвальных тел. Высокоточные модели рельефа позволяют оперативно и объективно оценивать состояние горных работ, минимизировать

потери полезного ископаемого и оптимизировать производственные процессы [4].

2 Сбор, обработка данных и построение цифровых моделей рельефа

Для создания цифровых моделей рельефа на примере Иссинского карьера применялся лазерный сканер Leica BLK360, обеспечивающий высокоточную и детальную съёмку поверхности. Этот сканер позволяет получать облако точек с миллионами координатных записей, отражающих трехмерные особенности рельефа с точностью до нескольких миллиметров. Сканирование проводилось с нескольких стационарных точек, расположенных на различных высотах и углах обзора по всей территории карьера, чтобы обеспечить полное и равномерное покрытие [5].

После сбора данных каждая серия сканов представляла собой отдельное облако точек, которые далее требовалось объединить в единую модель. Для этой задачи использовалось программное обеспечение Cyclone REGISTER 360, позволяющее автоматизировать процесс регистрации и сшивки облаков точек. Система выполняла поиск совпадающих элементов на пересекающихся участках, корректировала смещения и ошибки позиционирования, что позволяло получить согласованную трехмерную модель с минимальными искажениями [6].

Дальнейшая обработка включала очистку облака точек от шумов и выбросов, возникающих вследствие отражения лазерного сигнала от пыли, влаги или других мелких частиц. Эти помехи удалялись с помощью фильтрации, которая исключала точки с аномальными координатами и интенсивностью отражения. Кроме того, применялись алгоритмы выравнивания плотности точек, обеспечивающие равномерное распределение данных по всей модели. Это было важно для корректного построения цифровой поверхности и последующих вычислений [7].

После подготовки облака точек формировалась цифровая модель рельефа, представляющая собой пространственную сетку, отображающую высотные характеристики карьера. Для проведения расчётов объёмов и анализа материалов использовался специализированный программный комплекс CREDO объёмы. В

нём осуществлялся расчёт объёмов выемки и насыпи, учитывая геометрию рельефа и физические свойства горных пород, такие как плотность и коэффициент разрыхления. Это позволило оценить массу и объёмы перемещаемого материала с высокой степенью точности [8].

Использование сочетания лазерного сканирования и профессиональной обработки данных позволило получить цифровую модель с высокой точностью и детализацией, необходимой для выполнения инженерных задач карьерного горного дела. Такая модель даёт возможность не только проводить точные расчёты объёмов, но и анализировать динамику изменений рельефа при эксплуатации карьера, выявлять потенциальные потери материала и оптимизировать технологические процессы [9].

3 Использование цифровых моделей для расчёта технологических параметров карьера

Для расчёта параметров работы карьера применены цифровые модели рельефа, полученные с помощью лазерного сканирования Leica BLK360. Сканирование производилось на дробильно-сортировочных установках (ДСУ) до и после переработки каждой партии сырья, что позволило сформировать точные трёхмерные модели складских площадок. Обработка данных выполнялась в Cyclone REGISTER 360 и Agisoft Metashape с последующим расчётом объёмов в CREDO объёмы [10]

В результате было определено фактическое количество насыпной продукции по фракциям щебня и отсевов. Для доломита фракции 40-70 мм объём насыпной продукции составил 51,42 м³. Объёмный вес горной массы вычислен как отношение массы, зарегистрированной на весовой, к объёму по цифровой модели. Значения естественно-насыпного объёмного веса для различных фракций варьируются в диапазоне 1,27–1,53 т/м³, что соответствует физико-механическим характеристикам доломита и условиям складирования [11].

Контроль выхода готовой продукции произведён по отношению объёмов товарных фракций к общему объёму добытого и переработанного сырья. Для ДСУ-5 выход чистого щебня составил около 62%, для ДСУ-6 – около 63%, что

подтверждает эффективное использование оборудования и высокое качество переработки [12].

Коэффициент разрыхления горной массы определён сравнением цифровых моделей уступа до и после взрывных работ. Значение коэффициента составило 1,518, что указывает на увеличение объёма породы после разрушения. Этот показатель учитывается при планировании горных работ, расчёте производительности техники и составлении технологических карт [13].

Объёмы наполнения ковшей экскаваторов и кузовов самосвалов рассчитаны на основе трёхмерных моделей, полученных путём лазерного сканирования техники в рабочем положении. Обработка облаков точек включала фильтрацию шумов и автоматическое заполнение пропусков для получения сплошной геометрической модели. Данные позволили определить точные объёмы ковшей и кузовов, что способствует оптимизации горнотранспортного процесса и контролю производительности техники [14].

Использование современных цифровых моделей рельефа и оборудования для лазерного сканирования обеспечивает высокую точность расчётов объёмов, массы и плотности горной массы. Это повышает качество технологического контроля и способствует более рациональному планированию и управлению горными работами на Иссинском месторождении [15].

3 Сравнительный анализ высокоточных цифровых моделей

На завершающем этапе исследования был проведён анализ цифровых моделей рельефа, построенных с использованием двух различных методов: лазерного сканирования (на базе сканера Leica BLK360) и спутниковой RTK-съёмки с применением GNSS-приёмников. Цель анализа — оценить точность, применимость и расхождения результатов, полученных при расчёте объёмов горной массы, плотности продукции и коэффициента разрыхления [16].

Установлено, что лазерное сканирование обеспечивает более высокую плотность облака точек и позволяет детально фиксировать микрорельеф, включая мелкие неровности и пустоты. Это критически важно при моделировании выгрузок горной массы из самосвалов, отсыпей продукции и

отходов, а также при расчётах массы и потерь. RTK-съёмка, в свою очередь, обеспечивает оперативную геодезическую съёмку с достаточной точностью, но меньшей детализацией, что может приводить к завышению объёмов из-за сглаживания формы рельефа при интерполяции [17].

В рамках работы были выполнены расчёты объёмов выгрузок горной массы, складов готовой продукции и отходов, а также массы и объёмного веса материалов. Результаты показали, что модели, построенные по данным RTK, в среднем завышают объёмы по сравнению с лазерным сканированием. Это связано с невозможностью учёта локальных неровностей и пустот между элементами рыхлого материала. Вычисления массы по объёмам и весовому контролю подтвердили, что данные лазерного сканирования дают более устойчивые значения удельного веса, приближённые к фактическим значениям.

Также произведён расчёт коэффициента разрыхления, сравнив объёмы массива в целике и после взрыва. Метод лазерного сканирования показал более точные и стабильные значения, особенно на участках со сложной геометрией [18].

Проведённый анализ позволил сделать вывод о необходимости комбинированного подхода: лазерное сканирование следует использовать на участках, где требуется высокая точность и пространственная детализация (например, при моделировании выемки, складирования, расчёте потерь), а RTK-съёмка — при регулярных контрольных измерениях и мониторинге крупных объектов с простой геометрией [19].

Таким образом, выбор метода построения цифровой модели должен определяться характером инженерной задачи, требуемой точностью и доступными ресурсами.

Список используемых источников

1 Новаковский, Б.А. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа / Б.А. Новаковский Р.В. Пермяков // Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа: учебное пособие – МИИГАиК. 2019. – С. 6-7 [Электронный ресурс]:

racurs.ru – URL:
https://racurs.ru/upload/medialibrary/b4a/Novakovskiy_Permakov.pdf (Дата
обращения: 03.02.2025) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2 Цифровые модели рельефа, Методы построение ЦМР - Сбор, обработка
и анализ топографической информации для САПР [Электронный ресурс]:
studbooks.ru. – URL:
https://studbooks.net/2081009/informatika/tsifrovye_modeli_relefa (Дата
обращения: 12.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3 Создание и построение цифровых моделей местности и рельефа -
понятие ЦММ и особенности его создания. [Электронный ресурс]: geo-moon.ru.
– URL: <https://geo-moon.ru/blog/cifrovaya-model-mestnosti> (Дата обращения:
14.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

4 Цифровая модель рельефа по tin - Геоинформационная система.
[Электронный ресурс]: geo.god-tigra. – URL: <https://geo.god-tigra.ru/tsifrovaya-model-rel-yefa-po-tin.php> (Дата обращения: 13.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5 Точность лазерного сканирования - Геоинформационная система.
[Электронный ресурс]: acropol-geo.ru. – URL: <https://acropol-geo.ru/publikaczii/356-tochnost-lazernogo-skanirovaniya> (Дата обращения:
21.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6 Создание цифровой модели рельефа и местности [Электронный ресурс]:
geotop.msk.ru. – URL: <https://geotop.msk.ru/cifrovaya-model-mestnosti.html> (Дата
обращения: 24.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7 Лазерные 3D-сканеры: области применения и обзор моделей / Хабр
[Электронный ресурс]: habr.com. – URL:
<https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/511842/> (Дата обращения:
27.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8 Современный подход к вычислению объемов горных и земляных работ
[Электронный ресурс]: moltgeo.ru. – URL: <https://moltgeo.ru/gorn> (Дата
обращения: 30.03.2025). – Загл. с экрана – Яз. рус.

9 Программы для обработки данных лазерного сканирования местности [Электронный ресурс]: cyberleninka.ru. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmy-dlya-obrabotki-dannyh-lazernogo-skanirovaniya-mestnosti> (Дата обращения: 13.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10 Обзор 3D-сканера Leica BLK360 [Электронный ресурс]: top3dshop.ru. – URL: <https://top3dshop.ru/blog/obzor-3d-skanera-leica-blk360.html> (Дата обращения: 2.04.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11 Лидар: что это, принцип работы и устройство сканера Lidar [Электронный ресурс]: eftgroup.ru. – URL: <https://eftgroup.ru/blog/stati/tehnologiya-lidar-v-geodezii-i-izyskaniyakh-ispolzovanie-lidar-skanerov-dlya-tochnogo-analiza/> (Дата обращения: 13.03.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

12 Применение технологий лазерного сканирования при производстве мониторинга бортов карьера и отвалов [Электронный ресурс]: mar-geo.ru. – URL: https://mar-geo.ru/ekspertnyy-sovet/publikatsii/publikatsii_69.html (Дата обращения: 4.04.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

13 Leica Cyclone REGISTER 360 | Leica Geosystems [Электронный ресурс]: leica-geosystems.com. – URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360> (Дата обращения: 6.04.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

14 Agisoft Metashape Professional. Новые возможности цифровой фотограмметрии | ГК «Геоскан» [Электронный ресурс]: www.geoscan.ru. – URL: <https://www.geoscan.ru/ru/blog/agisoft-metashape-professional-novye-vozmozhnosti-cifrovoy-fotogrammetrii> (дата обращения: 23.04.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

15 CREDO ОБЪЕМЫ. Решение задач моделирования поверхностей | ГК «Геоскан» [Электронный ресурс]: www.geoscan.ru. – URL: www.architect-design.ru (дата обращения: 13.04.2025). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

16 Производство | Иссинский КСМ [Электронный ресурс]: www.ikcm.ru. – URL: <https://www.ikcm.ru/about/proizvodstvo/> (Дата обращения: 27.04.2025). – Загл. с экрана – Яз. рус.

17 Определение основных технологических параметров карьера при проектировании [Электронный ресурс]: cyberleninka.ru. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-osnovnyh-tehnologicheskikh-parametrov-kariera-pri-proektirovanii> (Дата обращения: 29.04.2025). – Загл. с экрана – Яз. рус.

18 ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗРЫХЛЕНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ГОРНЫХ МАШИН [Электронный ресурс]: cyberleninka.ru. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vliyaniya-koeffitsienta-razryhleniya-na-proizvoditelnost-gornyh-mashin> (Дата обращения: 8.05.2025). – Загл. с экрана – Яз. рус.

19 Топографическая съемка методом rtk - Геоинформационная система [Электронный ресурс]: [geo.god-tigra](http://geo.god-tigra.ru). – URL: <https://geo.god-tigra.ru/topograficheskaya-s-yemka-metodom-rtk.php> (Дата обращения: 16.05.2025). – Загл. с экрана – Яз. рус.