

Джакупбеков Б.Т., Асилова З.А.

КЕН БАЙЛИКТАРДЫ ИШТЕТҮҮДӨ БОШ ТЕКТЕРДИН  
УЮНДУСУН ҮЧ ӨЛЧӨМДҮҮ МОДЕЛДӨӨ

Джакупбеков Б.Т., Асилова З.А.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТВАЛОВ ВСКРЫШНЫХ  
ПОРОД ПРИ ОСВОЕНИИ НАГОРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

B. Djakupbekov, Z. Asilova

3D MODELING OF OVERBURDEN DUMPS DURING  
THE DEVELOPMENT OF UPLAND DEPOSITS

УДК: 622.693.26

Иштин негизги идеясы – бош тектердин уюндусун үч өлчөмдүү моделин түзүү жана бош тектердин көлөмүн жана бош тектери үчүн пайдубалдын көтөрүү жөндөмдүүлүгүн эске алуу менен бош тектердин жайлардын туруктуулугун баалоо. Үч өлчөмдүү моделдөө үчүн SketchUp программалык продуктусун жана тоо борундагы бош тектердин уюндусунун туруктуулугун эсептөө үчүн GeoStudio SLOPE/W программалык модуль колдонуу ылайыкташтырылган жана негиздөөсү. Изилдөөнүн илимий-техникалык мааниси бош тектердин уюндусун туруктуулугуна жараша бош тектердин параметрлерин белгилөө болуп саналат, бул ташылган тоо тектеринин көлөмүн жана тоо-кен иштеринин коопсуздугун жөнгө салууга мүмкүндүк берет. Кумтөр кениндеги төгүндүнүн конкреттүү мисалында изилденип жаткан аймактан бош тектердин үч өлчөмдүү моделинен алынган эки өлчөмдүү секцияны колдонуу менен туруктуулук коэффициентин эсептөө келтирилген.

**Негизги сөздөр:** үч өлчөмдүү модель, жүк ташуучу бош тектер уюндусу, туруктуулук, туруктуулук коэффициенти, аянттын көтөрүү жөндөмдүүлүгү, уюндунун көлөмү, жайлардын аянты.

Основная идея работы заключается в создании трехмерной модели отвалов вскрышных пород и оценки устойчивости отвалов, с учетом объема складированных вскрышных пород и несущей способности основания под отвал. Адаптировано и обосновано применение программного продукта SketchUp для трехмерного моделирования и программного модуля GeoStudio SLOPE/W для расчета устойчивости отвалов на склоне. Научная и техническая значимость исследования заключается в установлении параметров отвалов в зависимости от несущей способности отвала, что позволяет регулировать объемы отгружаемых пород и безопасность проводимых горных работ. На конкретном примере отвала на Кумторского месторождения приведен расчет коэффициента запаса устойчивости с использованием двумерного разреза, который был получен от трехмерной модели отвала вскрышных пород с исследуемой области.

**Ключевые слова:** трехмерная модель, отвал вскрышных пород, устойчивость, коэффициент запаса устойчивости, несущая способность основания, объем вскрышных пород, площадь основания.

The main idea of the work is to create a three-dimensional model of overburden dumps and assess the stability of dumps, taking into account the volume of overburden stored and the bearing capacity of the foundation for the dump. The use of the SketchUp software product for three-dimensional modeling and the GeoStudio SLOPE/W software module for calculating the stability of dumps on a slope has been adapted and justified. The scientific and technical significance of the study is to establish the parameters of dumps

depending on the bearing capacity of the dump, which makes it possible to regulate the volume of shipped rocks and the safety of mining operations. On a specific example of a dump at the Kumtor deposit, the calculation of the stability factor using a two-dimensional section, which was obtained from a three-dimensional model of an overburden dump from the study area, is presented.

**Key words:** three-dimensional model, overburden dump, stability, stability factor, base bearing capacity, overburden volume, base area.

Освоение нагорных месторождений сопровождается планированием горных работ, расчетами устойчивости склонов и отвалов. В современных условиях с быстрым темпом роста информационных технологий, развиваются и способы расчета и расширяются методы проектирования технических решений.

Ценность трехмерного моделирования состоит в том, что она позволяет отобразить в объеме не только существующие, но и проектируемые объекты, позволяющие опробовать технические решения непосредственно в процессе проектирования.

Трехмерная модель дает представление того, как отвал и основания под отвал, будут выглядеть в пространственно-планировочных решениях. Это позволяет принимать эффективные решения по проектированию и безопасному складированию вскрышных пород. Одним из наиболее представительных параметров обеспечения безопасного отвалообразования являются площадь основания под отвал и ее несущая способность, изменчивость геометрических параметров отвала (высота и угол отвала) и высота яруса.

Несущая способность основания зависит от свойств вскрышных пород, уровня грунтовых вод и рассчитывается по формуле [1]:

$$F \leq \gamma_c F_u / \gamma_n$$

где,  $F$  – равнодействующая расчетной нагрузки на основание;

$F_u$  – сила предельного сопротивления (равнодействующая предельной нагрузки основания).

$$F_u = Q/S,$$

где  $Q$  – вес отвальной массы и  $S$  – площадь основания отвала;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10.

Давление отвала на наклонное основание рассчитывается по формуле

$$P = Qc \cos \alpha / S$$

где  $\alpha$  - угол наклона склона.

Процессами отвалообразования в условиях нагорных месторождений, существенная роль принадлежит определению параметров устойчивости отвалов ещё на стадии проектирования, к которым относятся: объем вскрышных пород, высота отвала, угол откоса склона основания, занимаемая площадь под основания отвала, форма и ширина уступов между верхним и нижними ярусами. Также выбор этих оснований зависит от геологического строения месторождения, физико-механических свойств, гранулометрического состава вскрышных пород и несущей способности основания под отвал.

Все эти параметры можно получить с помощью трехмерного моделирования отвалов. Используя 3Д-модели отвала, получаем все вышеперечисленные геометрические параметры отвала для расчетов запаса устойчивости отвалов вскрышных пород на наклонной поверхности.

На примере одного из отвалов Кумторского месторождения, рассмотрены этапы построения трёхмерной модели отвала, установления его геометрических параметров, продольных и поперечных разрезов, а также для бумажного представления топографических изолиний отвала [2].

Для данного построения трехмерной модели

объекта было использовано ПО **SketchUp** – пакет графических, чертежных и математических инструментов для объемного (трехмерного) моделирования. Данное ПО обладает рядом особенностей:

- Это программа находится в свободном доступе;
- Режим осмотра модели «от первого лица», с управлением как в соответствующих 3D-визуализациях;
- Имеется возможность устанавливать географически достоверные данные в соответствии с заданными широтой, долготой;
- Интеграция с Google Earth;
- Возможность добавить в модель поверхность земли и регулировать её форму – ландшафт.
- Использование SketchUp совместно с Google Планета Земля;
- Возможность получения продольных и поперечных разрезов исследуемых объектов;

Так, в частности, при моделировании отвалов или сооружений можно легко импортировать аэро- или спутниковую фотографию нужного объекта, а также топографию местности из Google Earth, а затем «строить» виртуальную отвал-модель на поверхность рельефа, которым будет спутниковая фотография отвала-прототипа [3].

Проектирование отвала вскрышных пород на склоне месторождения Кумтор. Долина, протяженностью составляет 3940 м, на котором расположена в пределах высотных отметок 3780- 3670 м (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид склона долины Чон-Сарытор, на котором планируется разместить отвал вскрышных пород.

Для создания трехмерной модели отвала в программе Google SketchUp нажимаем на функцию «Добавить местоположение» импортируем требуемый участок рельефа с географическими данными в масштабе 1:1, с помощью инструментов навигации. После оцифрованной модели рельефа местности обрабатываем его для дальнейшего построения отвала вскрышных пород (рис. 2).

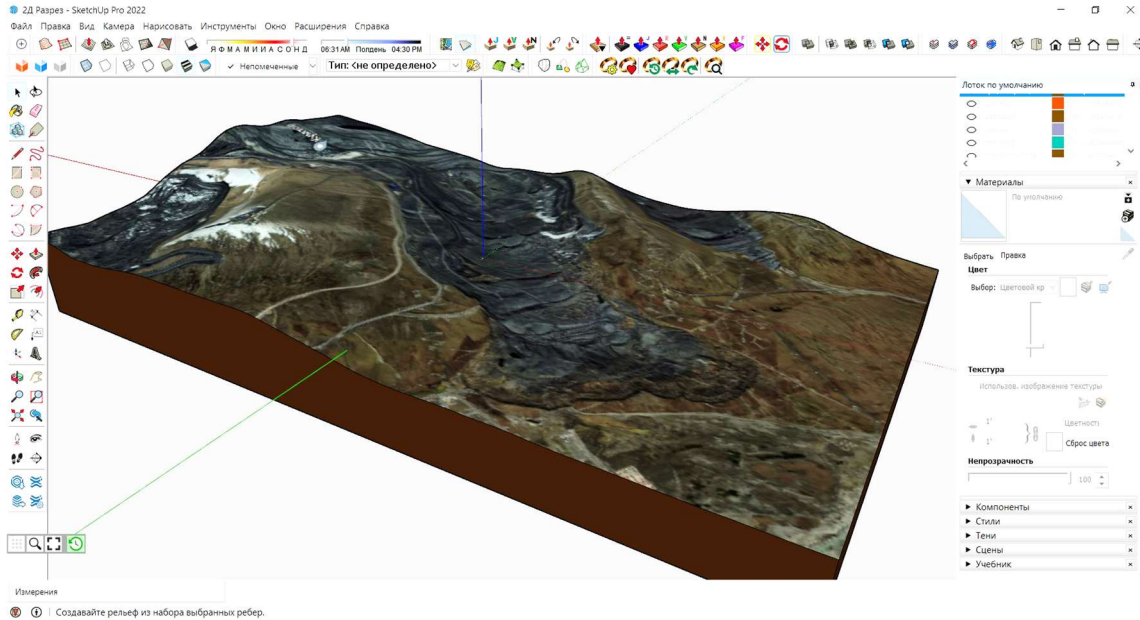


Рис. 2. Оцифрованная модель рельефа местности.

Подготовительные работы по размещению отвала следует выполнять с учетом поверхности склона для рационального построения отвала вскрышных пород.

Проведен анализ данных расчета площади основания отвала, с учетом несущей способности основания под отвал, не менее которого можно складировать отвал, при известном давлении на него. Выявлена площадь складироваемых вскрышных пород при прочности вскрышных пород равном 30 МПа, которая составила  $30 \cdot 10^5 \text{ м}^2$  и показана на рисунке 3.

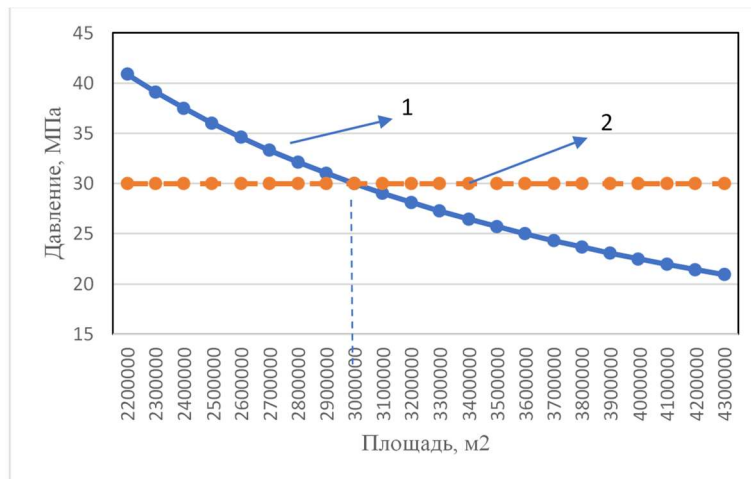


Рис. 3. Зависимость площади основания отвала от давления складироваемых вскрышных пород.

1-давление отвала на основание при известной площади и весе вскрышных пород,

2 - значение предела прочности по сжатию основания.

Установлено, что дальнейшее увеличение объема приведет к потере устойчивости основания. После расчета площади под основания отвала с учетом несущей способности создана геометрическая трехмерная цифровая модель, включающая все параметры отвала вскрышных пород, и показана на рисунке 4.

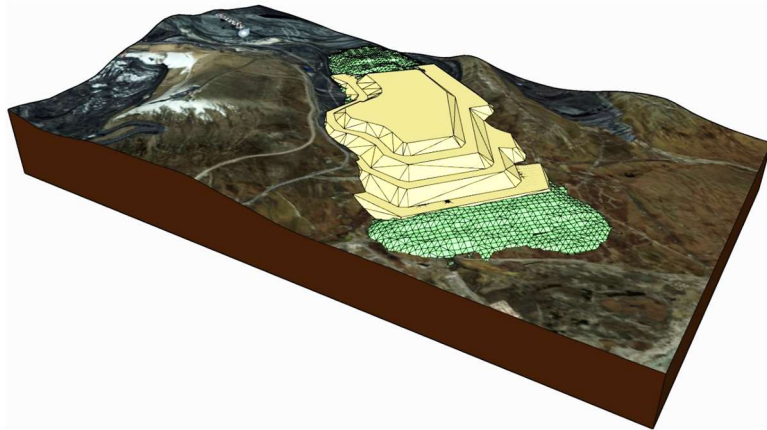


Рис. 4. Трехмерная модель проектируемого отвала.

Из построенной трехмерной модели отвала выделяем эскизы двумерных чертежей расчетных разрезов, показаны на рисунке 5.

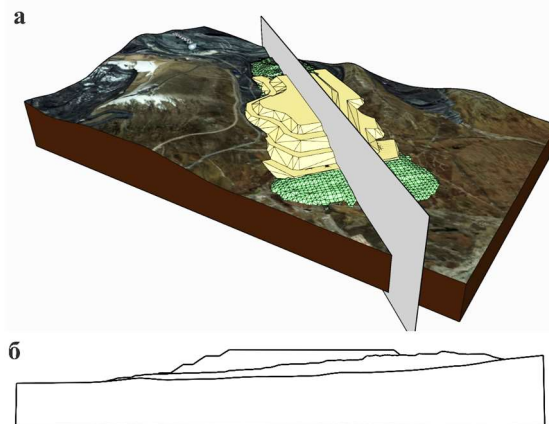
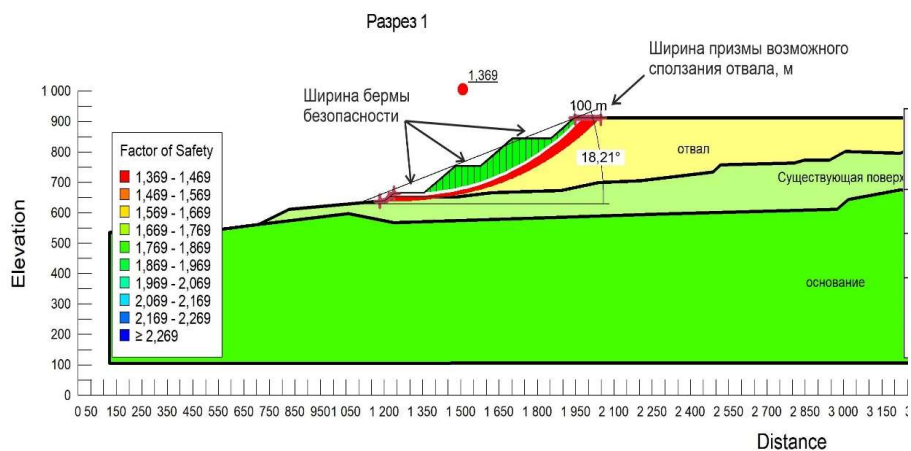


Рис. 5. Построение эскиза чертежа разреза. а - построение продольного разреза по центру отвала, б - двумерный разрез.

Конечный результат работы, это расчет коэффициента запаса устойчивости отвала вскрышных работ с учетом геометрических параметров, физико-механических свойств как отвалов, так и основания под отвал [4]. А также значения несущей способности основания отвала. На рисунке б, показаны расчеты коэффициента устойчивости отвала.






Color	Name	Slope Stability Material Model	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
	основание	Mohr-Coulomb	19,54	10	26,5
	отвал	Mohr-Coulomb	11,4	14	24
	Существующая поверхность отвала	Mohr-Coulomb	19,54	10	26,5

Рис. 6. Результат расчета коэффициента запаса устойчивости.

На рисунке также показана критическая поверхность скольжения (призма обрушения) и красным отмечена зона возможного захвата. В данном отвале коэффициент устойчивости равен 1,37.

#### Выводы:

1. Обоснованная трехмерная цифровая модель отвалов вскрышных пород, учитывающая рельеф местности, геометрические параметры и физико-механические свойства как отвала, так и его основания, и несущую способность основания для рационального построения отвала вскрышных пород.
2. Несущая способность основания зависит от прочности пород и влияет на площадь основания под отвал.
3. Полученные двумерные чертежи разрезов позволяют рассчитываются коэффициенты запаса устойчивости и показывают призму обращения. Для отвала на Кумторском месторождении  $K_u=1,37$ , что позволяет считать склон устойчивым, согласно условиям высокогория.

#### Литература:

1. Основания зданий и сооружений СНиП 2.02.01 - 83\*. - МФГУП ЦПП, 2006. - 48 с.
2. Джакупбеков Б.Т. Определение параметров отвалов на горных склонах с применением программного приложения GOOGLE SKETCHUP// Современные проблемы механики. 2016. - №26 (4). С. 58-64.
3. Тозик В.Т., Ушакова О.Б. Самоучитель SketchUp. - СПб.: БХВ-Петербург, 2013. - 192 с.
4. Кожоголов К.Ч., Никольская О.В., Джакупбеков Б.Т. Устойчивость отвалов вскрышных пород при освоении нагорных месторождений // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2021. Т. 8. № 1. С. 93-96.
5. Асилова З.А. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния оползнеопасного склона бассейна реки Кугарт. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2010. №. 3. С. 28-30.