

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Геологии, нефти и горного дела имени К. Турысова

Кафедра Маркшейдерского дела и геодезии

Юсупов Жохонгир Мамиржанович

«Обоснование устойчивости уступов при открытых горных работах»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В070700 – Горное дело

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Геологии, нефти и горного дела имени К. Турысова

Кафедра Маркшейдерского дела и геодезии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

«Маркшейдерское дело

и геодезия», доктор PhD



Орынбасарова Э.О.

«26»_06_2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Обоснование устойчивости уступов при открытых горных работах»

по специальности 5В070700 – Горное дело

Выполнил Юсупов Ж.М.

Научный руководитель

м.т.н. лектор



Токтаров А.А.

«25».05.2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

Кафедра Маркшейдерского дела и геодезии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

«Маркшейдерское дело

и геодезия», доктор PhD



Орынбасарова Э.О.

«26» 05 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Юсупову Жохонгиру Мамиржановичу

Тема: «Обоснование устойчивости уступов при открытых горных работах»

Утверждена приказом по университету № 2131-б от «24».11. 2020 г.

Срок сдачи законченного проекта «25». 05. 2021 г.

Исходные данные к дипломной работе:

- 1 Геологические данные месторождения «Юбилейное»;
- 2 Конструктивные параметры карьера на месторождении «Юбилейное»;
- 3 Руководство пользователя, учебные демо-версии ПО GeoStudio и GeoStab.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Разработан алгоритм расчета в программе Microsoft Excel для вычисления параметров устойчивости откоса уступов, бортов карьера, а также откосов отвалов графоаналитическим методом;

б) Выполнен расчет и сравнение полученных результатов с существующими и зарекомендовавшими себя на рынке программными обеспечениями GeoStudio и GeoStab.

Рекомендуемая основная литература: [6], [8], [10].

ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Общие сведения о месторождении	24.02.2021	
Горная часть	26.03.2021	
Маркшейдерская часть	10.04.2021	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу

Наименование разделов	Научный руководитель, консультанты	Дата подписания	Подпись
Геология месторождения	Токтаров А.А.	20.05.2021	
Горная часть	Токтаров А.А.	20.05.2021	
Маркшейдерские работы на месторождении	Токтаров А.А.	20.05.2021	
Спец. часть	Токтаров А.А.	20.05.2021	
Нормоконтролер	Нукарбекова Ж.М.	24.05.2021	

Научный руководитель  Токтаров А.А.

Задание принял к исполнению _____

Дата «24» мая 2021 г.

АҢДАТПА

Карьерлер ернеулері, сондай-ақ үйінділер еңістерінің тұрақтылығы пайдалы қазбаларды ашық әдіспен өндіру кезіндегі басты проблемалардың бірі болып табылады. Дипломдық жұмыста борттардың тұрақтылығына үлкен әсер ететін факторлары егжей-тегжейлі сипатталады, сонымен қатар карьерлердің беткейлерінің беріктігін талдау әдістері ұсынылады. Excel-де карьер беткейлерінің тұрақтылығын есептеудің графоаналитикалық әдісі қарастырылады, сонымен қатар заманауи бағдарламалық жасақтамалар Geostudio және GeoStab түрлері тұрақтылығын есептеу үшін қолданылады.

Бұл дипломдық жұмыс геомеханик және геотехник инженерлері үшін, қолданыстағы карьерлерді жобалау және пайдалану кезінде, сондай-ақ тау-кен және инженерлік геология мамандықтарының студенттері үшін пайдалы болуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

Устойчивость откосов бортов карьеров, а также отвалов представляет собой одну из главных проблем при добыче полезных ископаемых открытым способом. В дипломной работе подробно описаны факторы, оказывающие большое влияние на устойчивость бортов, а также излагаются методы анализа прочности откосов карьеров. Рассматривается графоаналитический метод вычисления устойчивости откосов карьерных уступов в Excel, а также с применением современного программного обеспечения для расчёта устойчивости типа, Geostudio и GeoStab.

Данная дипломная работа может быть полезна для инженеров геомехаников и геотехников, при проектировании и эксплуатации действующих карьеров, а также студентам специальностей горная инженерия и инженерная геология.

ABSTRACT

The stability of the slopes of the sides of quarries, as well as dumps, is one of the main problems in open-pit mining. The diploma work describes in detail the factors that have a great influence on the stability of the sides, and also describes methods for analyzing the strength of the slopes of quarries. We consider a graph-analytical method for calculating the stability of the slopes of quarry ledges in Excel, as well as using modern software for calculating the stability of the type, Geostudio and GeoStab.

This diploma work can be useful for geomechanical engineers and geotechnicians, in the projecting and exploitation of active quarries, as well as for students of mining engineering and engineering geology.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Общие сведения о районе месторождения	10
1.1 Геолого-промышленная характеристика месторождения	
1.1.1 Геологическое строение месторождения	
1.1.2 Качественная характеристика и запасы полезного ископаемого	11
2 Горная часть	13
2.1 Способ вскрытия	
2.2 Системы разработки	14
3 Маркшейдерская часть	15
3.1 Основные задачи маркшейдерской службы	
3.2 Маркшейдерские работы	16
4 Спецчасть	17
4.1 Общие сведения о расчете устойчивости бортов карьеров	
4.2 Построение поверхностей скольжения	18
4.2.1 Подготовка исходных данных для построения поверхности скольжения	
4.2.2 Определение предельных параметров устойчивых бортов в однородном массиве	21
4.2.3 Способы построения наиболее напряженной поверхности скольжения	22
4.3 Методы поверочных расчетов	27
4.3.1 Метод алгебраического сложения сил	
4.3.2 Метод многоугольника сил	29
4.3.3 Численный метод	32
4.4 Исследование с помощью современного ПО месторождение Юбилейное	33
4.4.1 Создание файла «Excel» для подсчета запаса устойчивости	
4.4.2 Подсчёт запаса устойчивости в программном комплексе GeoStudio	36
4.4.3 Подсчёт запаса устойчивости в программном комплексе GeoStab	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	41
Приложение А	42
Приложение Б	43

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших задач при добыче месторождений полезных ископаемых открытым методом является устойчивость бортов карьеров.

При оценивании стабильности откосов проблема выбора правильной конструкции борта непосредственно связан с условиями стабильности горного массива. Уровень стабильности бортов карьеров определяет безопасное введение горных работ в карьерах, технологию разработки полезного ископаемого, максимальные углы наклона бортов, максимальную глубину карьеров, а также дренирование месторождений. [1]

Проектируемая глубина отработки крупных нынешних карьеров имеет 500-700 м, в нагорных типах борт карьера возвышается до 1000 м в высоту. При типичной для карьеров скоростях отработки (10-15 м/год) время стояния бортов в предельном состоянии составляет 30-50 лет. На протяжении данного срока следует предоставить стабильность бортов в промежуточных также в конечных состояниях и сберечь ширину автотранспортных и защитных берм. [2]

В глубоких карьерах отклонение максимального угла наклона откосов бортов на 3-4° приводит к перемене объема вскрышных работ на десятки млн. м³. Если угол откоса увеличить с 30 до 34° в карьере глубиной 300 м, то получим сокращение объема вскрышных работ на 10,8 млн. м³ на 1 км длины борта. Если принять во внимание, что углы наклона откосов бортов в неких моментах берутся на 8-10° меньше разрешенных, а длина бортов эксплуатируемых карьеров достигает нескольких сотен метров, то будет явным огромное экономическое значение установления предельных углов наклона стабильных бортов карьеров. [3]

Установление подходящих параметров бортов карьеров, благодаря которому гарантируется их устойчивость, вычисляются совокупностью технологических, а также геологических и гидрогеологических факторов. Наибольшее воздействие из которых проявляют соответствующее: подверженность к ползучести, выветриванию, трещиноватости также набуханию горных пород, их слоистость и прочность, расположение грунтовых вод и обводненность пород, а также тектонические разломы.

Отсутствие устойчивости откосов карьеров, а также отвалов приводит к возникновению деформационных процессов в массиве пород, таких как: просадки, оползни, оплывины также обрушения и осыпи. Данные процессы в свою очередь наносят огромный урон предприятиям: меняют стандартный технологический процесс горных работ, приводят к немалым потерям готового к добыче сырья также создает потребность к неоднократной перевалки оползающих пород; разрушение бортов с углами наклона от 30 до 34° представляют угрозу для рабочих и устройств в карьере.

1 Общие сведения о районе месторождения

1.1 Геолого-промышленная характеристика месторождения

1.1.1 Геологическое строение месторождения

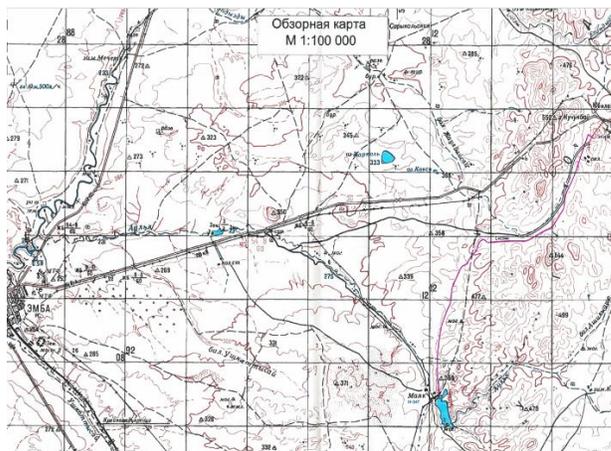


Рис. 1 - Обзорная карта месторождения «Юбилейное»

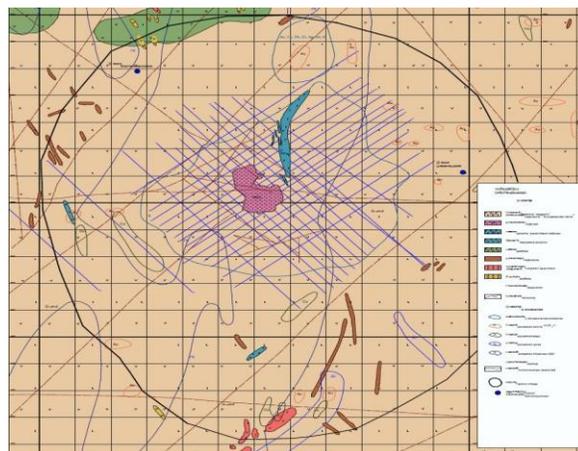


Рис. 2 - Геологическая карта месторождения «Юбилейное»

Месторождение «Юбилейное» считается полигенным, а также полихронным. Пространственно и генетически залежь сопряжено с штоком среднедевонских плагиогранит-порфиров, прорывающих вулканиты Мугоджарской свиты.

Инtruзия в плане обладает изометричную форму, тянувшийся в северо-западном - субмеридиональном направлении с наибольшими размерами в поперечном сечении 220×180 м. Шток является субвертикальным столбообразным телом которое имеет небольшой наклон на юго-восток. Габариты штока - на глубине 500 м имеют 220×120 м, на глубине 1 км - 150×120 м. Выделяются две основные фации плагиогранит-порфиров - амфибол-биотитовая и биотитовая.

Контакты инtruзива с вмещающими породами буквально вертикальные, затушеванные гидротермально-метасоматическими изменениями, развитыми по плагиогранит-порфирам, и вмещающим вулканитам мугоджарской толщи.

Спилиты, базальты, андезита-базальты и андезита-порфириты рудовмещающие породы, прорванными жилами аплитов, а также дайками диабазов. Аплиты не имеют с инtruзивным телом пространственной или генетической связи, толщина жил аплита составляет первые сантиметры.

В границах инtruзива плагиогранит-порфиров развиты гидротермально-метасоматические изменения, что более выражены в участке примерно 2 км^2 , называемой «зоной окварцевания». Мощность изменений минимизируется от

центра к окраинам зоны окварцевания. В зоне окварцевания выражены магнитные аномалии, из-за присутствия магнетита в породах.

В последствии гидротермально-метасоматических изменений сопутствовавшей образованием интрузива плагиогранит-порфиров образованно залежь.

Залежь представляет собой клиновидный тектонический блок, возникший в результате скрещения двух разломов меридионального и северо-восточного направлений. На участке также выявлены небольшие нарушения северо-западного, северо-восточного, субмеридионального и субширотного направлений.

Нарушения сплошности пород подразделяются на доинтрузивные, постинтрузивные и пострудные. Субширотные разломы относятся к пострудными. Значительная часть разломов крутопадающие (70-85°). Большие тектонические нарушения сопутствуются участками деления и расщелачивания.

Таблица 1 - Характеристика рудных тел месторождения Юбилейное

Название рудного тела	Длина, м	Ширина, м	Падение, град		Глубина разведки, м
Центральное рудное тело (ЦРТ)	100-300	200	ЮВ	75-90	600
Параллельные рудные тела (ПРТ)	100-250	75-80	ЮВ	50-50	500
Новые рудные тела (НРТ)	100-120	0-15	ЮВ	50-78	500
Западные рудные тела (ЗРТ)	300-500	100-105	ЮВ	80-85	450
Юго-Восточное рудное тело (ЮВ РТ)	130	100	СВ	86-88	850

1.1.2 Качественная характеристика и запасы полезного ископаемого

Основной частью руд месторождения «Юбилейное» являются первичные сульфидные руды с содержанием сульфидов около 1-3%, редко составляет 10%. По минеральному составу руды причисляются к кварц-сульфидному золото-медному типу. Золото считается основным индустриально значимым компонентом руд месторождения. В большей степени представляется самородной формой и сравнивается с кварцем, создавая в нем тонкодисперсные (0,005-0,01 мм) и наиболее большие (0,02-0,2 мм) выделения овальной, каплевидной и изометрической формы с габаритами 0,01-0,05 мм. Наблюдается золото также в сростках с пиритом, халькопиритом, блеклой рудой, борнитом, реже со сфалеритом, а также в составе халькопирита и пирита габаритом 0,003-0,02 мм. Золото имеет пробность 86-93 %, изредко попадаются мелкодисперсные образования электрума.

Среднее содержание золота в запасах, принятых к проектированию подземного рудника (бортовое содержание Au 3,0 г/т) - 6,2 г/т; среднее содержание золота в запасах, принятых к проектированию карьера (бортовое содержание Au 0,7 г/т) - 1,9 г/т.

Медь в рудах характеризуется небольшими содержаниями. Основополагающим минералом меди считается халькопирит, который в рудах находится в виде тонкой вкрапленности, создавая скопления неправильной формы меж зернами кварца и пирита. Прочие рудные минералы - сфалерит, галенит, антимонит выявляются в малозначительных объемах в сравнении с халькопиритом и пиритом. В согласовании с Протоколом ГКЗ №1965-18-У запасы меди во всех видах руд определены к забалансовым.

Среднее содержание серебра в запасах, принятых к проектированию подземной отработки - 4,0 г/т; среднее содержание серебра в запасах, принятых к проектированию открытой разработки - 2,1 г/т.

Содержание серы в рудах по данным химических анализов меняется в границах 0,3-3,4%, среднее ее содержание составляет 0,7-1,1%, ключевую часть составляет сульфидная сера.

Во вкрапленных кварцево-сульфидных рудах помимо золота, меди и серебра имеется мышьяк (среднее содержание по групповым пробам 0,03%) и сурьма (среднее содержание по групповым пробам менее 0,01 %). Иногда выявляется цинк (от 0,01 до 0,2%), свинец, молибден, скандий, галлий, иттрий, иттербий, висмут, вольфрам в границах до тысячных долей процента.

Глинозем находится в числе от 5,2 до 13,7%, при средних его значениях 7-11%, превышая допускаемые пределы (6-10%).

Таблица 2 - Общий баланс запасов по золоту на месторождении «Юбилейное» по состоянию на 01.01.2005 года

Категория	Руда		Среднее содержание	Металла
C ₁	191,1 тыс. т.		8,3 г/т	1 592,6 кг
C ₂	6 422,8 тыс. т.		6,5 г/т	41 794,3 кг
C ₁	забалансовая	100,1 тыс. т.		168,4 кг
C ₂	забалансовая	2 690,3 тыс. т.		6 277,8 кг
P ₁				63 200 кг
	забалансовый отвал	256 тыс. т.	2 г/т	512 кг

2 Горная часть

2.1 Способ вскрытия

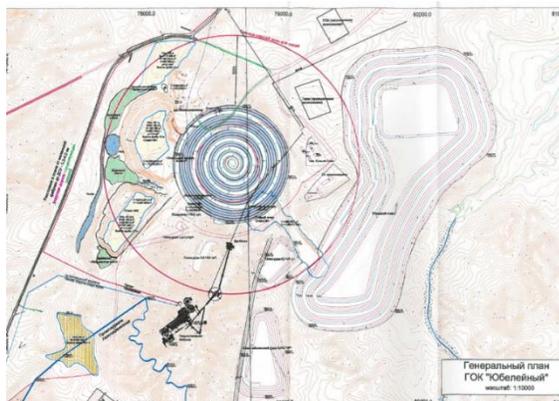


Рис. 3 - Генеральный план месторождения «Юбилейное»

На месторождении «Юбилейное» велись как открытые, так и подземным горные работы. С 1971 года началась разработка открытым методом и достигла глубины 140 м. Затем с 2001 года перешли с открытой разработки к подземному. В 2005 году открытая разработка всецело остановилась. На сегодняшний день горные работы проводятся лишь подземным методом.

Карьер вскрыт капитальной траншеей со средней шириной транспортного съезда 25 м, выходящим на земную плоскость в западной стороне. Вскрышные породы при отработке запасов, складированы на внешних отвалах к западу (№1 и №2) и к югу от карьера (Южный). Склад забалансовых руд находится на северо-западе от карьера.

Открытая разработка достигнута отметки плюс 380-390 м, а подземная разработка велась до (отм. -50) в центральной части залежи. Возникшее очистное пространство занимает всю глубину карьера. Пустоты наполнены вскрышными породами. При обрушении потолочины, сформировался провал с выходом на поверхность. Диаметр обрушения на (отм. +350) достигает до 120 м, простирается до отметки плюс 300-305 м. Нижележащее очистное пространство заложена взорванной породой, добытой при проходке нижних горизонтов до (отм. +40 м).

При проектировании карьера принято положение открытых горных работ по состоянию на 01.01.17. При проектировании подземных горных работ учтено положение существующих выработок и очистного пространства на основе предоставленной 3-мерной модели. Топографическая съемка поверхности принята по состоянию 01.01.17 в масштабе 1:1000.

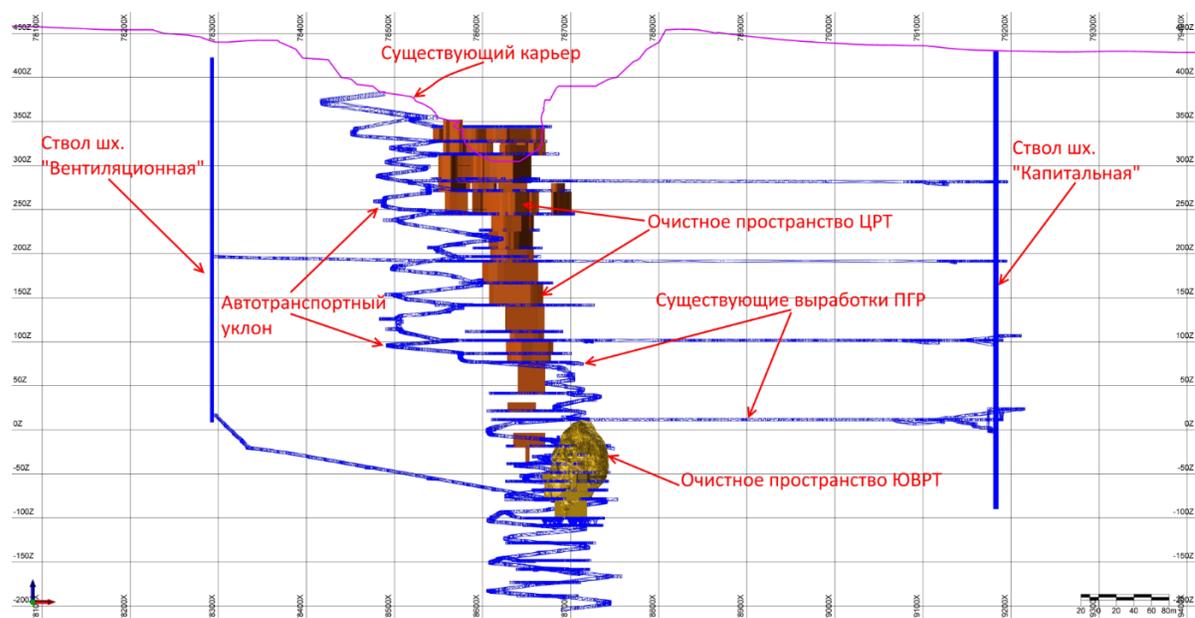


Рис. 4 - Существующее положение горных работ

2.2 Системы разработки

Анализ состояния горных работ показывает, что на восточном борту уступы горизонтов 430-400 м не доведены до предельного положения, здесь отсутствуют нормальные размеры рабочих площадок. В итоге образовался рабочий борт с большим результирующим углом наклона. В западной части имеется большой разбег уступов. На западе и востоке гор. 390 м наблюдается большое отставание. В этих обстоятельствах разнесение нижележащих горизонтов сложен без приведения всего рабочего участка выше гор. 350 м в приемлемое состояние. В данном положении для ввода карьера на проектную мощность в подготовительный период нужно:

- всю рабочую область над гор. 350 м начиная с верхних горизонтов привести в нормальное состояние в согласовании с проектными параметрами (ширина рабочих площадок, заложения откосов, транспортные пути и т.д.);
- восстановление рабочей области до правильного состояния затребует выполнения БВР с частичным сбросом породы на нижние горизонты и непосредственно на дно;
- после приведения рабочих откосов бортов в норму до гор. 300-310 м вероятны последующие горные работы по углублению карьера с увеличением рабочей области по всей ее площади.

Следовательно, система разработки в подготовительный период характеризуется особенностями, связанными с потребностью исполнения обозначенных требований по формированию условий с последующей целью эксплуатации карьера. Исходя от вышеперечисленного на нижних горизонтах

разумным будет применения оборудования с нижним черпанием, принимая во внимание навал прежде отброшенной взрывом и присутствие подземных пустот.

В условиях ограниченности пространства и ЦРТ в период обычной эксплуатации более оптимальной считается кольцевая центральная система разработки (по классификации академика В.В. Ржевского).

Новый горизонт подготавливается разрезной траншеей, направленной в основном по расположению наружного контура залежи. При проходки разрезной траншеи на необходимую дистанцию начинается двустороннее расширение: внутреннее - для выполнения добычи внутри формируемого кольцевого контура; внешнее для подвигания уступа в сторону периферии с целью создания условий для свободного последующего углубления дна карьера.

На верхних горизонтах работают оборудования продольными заходками, размещенными в основном параллельно контурам сформированного кольца. Во внутренней зоне кольца добыча может производиться продольными кольцевыми и прямыми заходками в зависимости от расположения зумпфа.

Исходя из вышесказанного, главное направление горных работ в карьере предусматривается от центра к предельным контурам. В результате формируются хорошие условия для ускорения создания стационарной части выездных траншей.

3 Маркшейдерская часть

3.1 Основные задачи маркшейдерской службы



Рис. 5 - Основные задачи маркшейдерской службы в карьере

3.2 Маркшейдерские работы

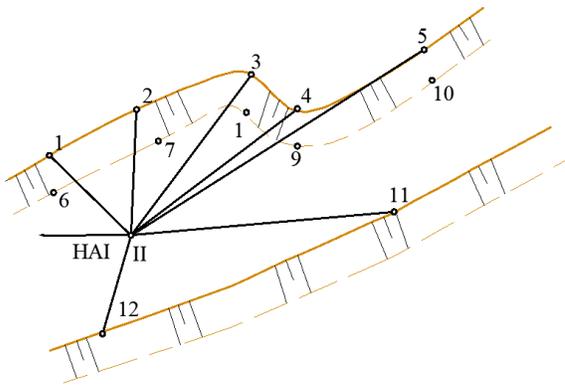


Рис. 6 - Тахеометрическая съемка

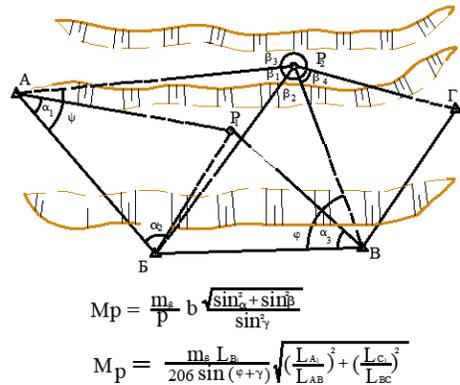


Рис. 7 - Геодезические засечки

$$M_p = \frac{m_s}{p} \cdot b \frac{\sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}}{\sin \gamma}$$

$$M_p = \frac{m_s \cdot L_B}{206 \sin(\epsilon + \gamma)} \sqrt{\left(\frac{L_A}{L_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{L_C}{L_{BC}}\right)^2}$$

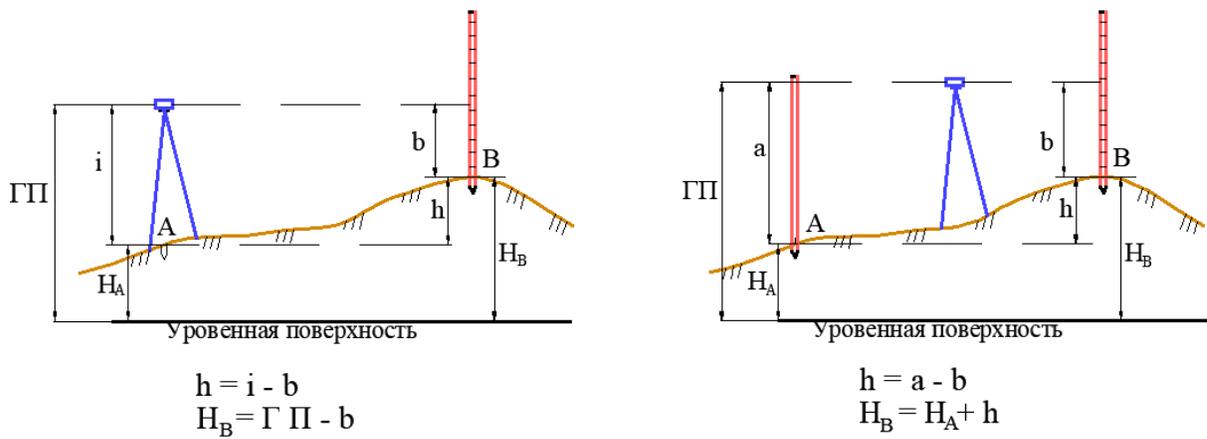


Рис. 8 - Геометрическое нивелирование

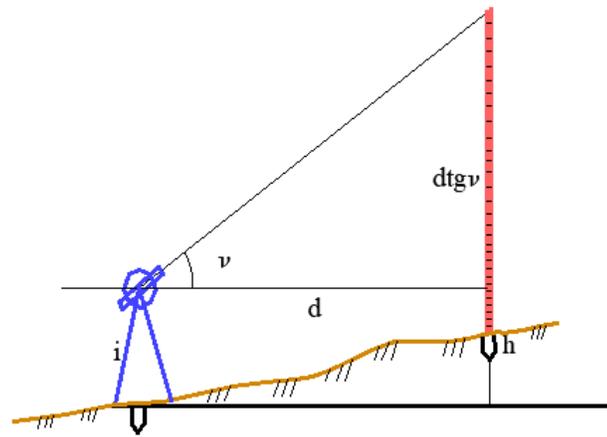


Рис. 9 - Тригонометрическое нивелирование

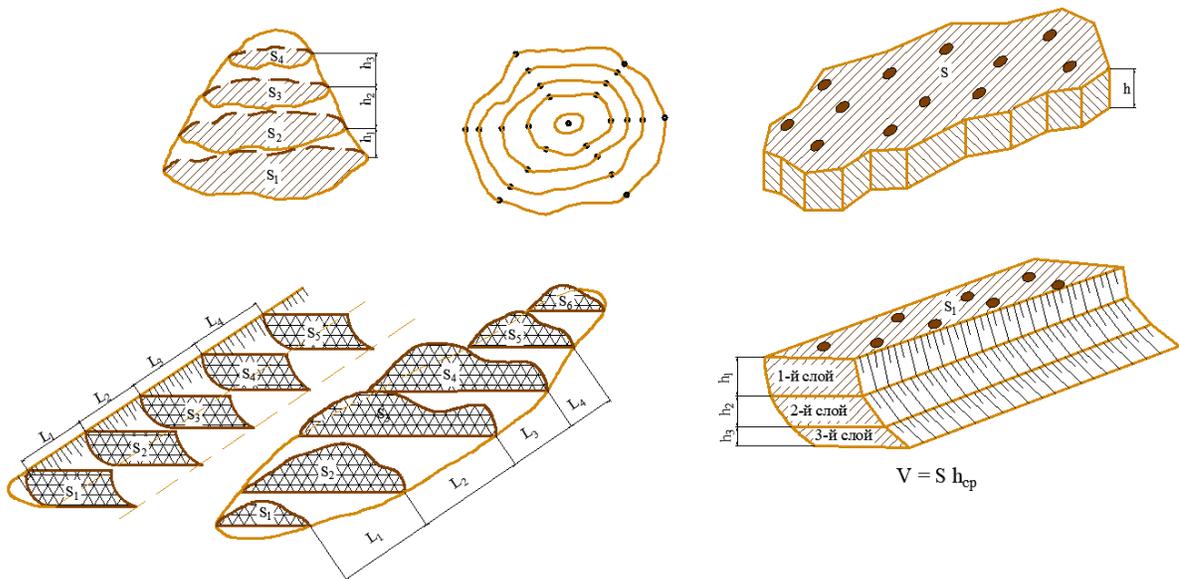


Рис. 10 - Определение объемов

4 Спецчасть

4.1 Общие сведения о расчете устойчивости бортов карьеров

При оценивании стабильности бортов карьеров достоверность методики расчета зависит, в первую очередь, от сообразности выбранной расчетной модели действительной схеме группирования напряжений в массиве борта, а также схеме его разрушения. [4]

На сегодняшний день метод анализа стабильности имеет 2 направления: развитие способов предельного равновесия; развитие численных способов. [4]

Расчет устойчивости способами предельного равновесия, нужна для оценки склонов, состоящих из всех видов грунтов и горных пород. [5]

Среди инженерных способов расчета, базирующихся на требованиях теории предельного равновесия, особо известен метод расчета и сравнения сдвигающих удерживающих сил на круглоцилиндрической ПС. [4] Данный способ предполагает, что поверхность скольжения считается круглоцилиндрической, а призма вероятного обрушения - цельным «жестким» клином.

Расчетная схема состоит из метода построения возможной ПС (которые могут иметь форму круглоцилиндрической, плавной криволинейной или ломаной линии), а также из способа поверочного расчета.

Способы поверочных вычислений, базирующиеся на теории предельного равновесия, отличаются от ориентировки боковых граней расчетных блоков, берущих в расчет сил и метода их сложения.

К инженерным расчетно-графическим способам поверочного подсчета относят:

- метод алгебраического суммирования сил по круглоцилиндрической и монотонной криволинейной поверхностям скольжения;
- метод многоугольника сил;
- комбинирование способов алгебраического суммирования сил, многоугольника сил и способа предельного равновесия сыпучей среды. [6]

Хорошо известные в инженерной практике способы алгебраического суммирования и метод многоугольника сил, применяемые при вычислении стабильности плоских и объемных откосов, моделируют напряженное положение на наклонной площадке лишь от веса пород «отсека». [7]

Численные способы представляют из себя способ конечных элементов и конечных разностей. Данные способы применяются для вычисления вопросов механики твердого тела, гидродинамики, электромагнитных полей также теплообмена. Помимо этого, следует выделить, что при определении проблем стабильности бортов ни одна схема не предусматривает деформационные

свойства горной породы, а численные способы учитывают. Благодаря численным методам можно также решать объемные задачи. [4]

4.2 Построение поверхностей скольжения

4.2.1 Подготовка исходных данных для построения поверхности скольжения

1. Вычисляют средневзвешенные механические свойства пород сцепление C и угол внутреннего трения φ по разведочным скважинам месторождения. [6]

2. Исходя из совокупности характеристики горных пород и геологических условий подбирают приблизительную величину угла наклона откоса уступа.

3. На геологическом разрезе определяют фактическое размещение горных работ и находят приблизительное расположение возможной плоскости скольжения (рис. 11) подобно плавной кривой лоины на расстоянии $(0,2-0,3) \cdot H$ (H - высота уступа).

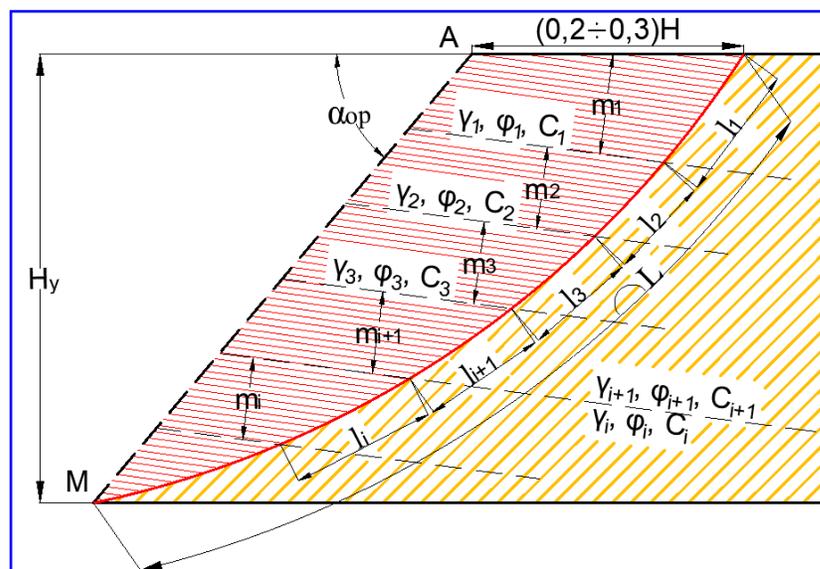


Рис. 11 - Схема ориентировочной поверхности скольжения

4. Для получения сцепления в массиве C_m из сцепления пород в образце C_0 необходимо применить коэффициент структурного ослабления λ (принимается по табличным данным). [10] Показатели сцепления в массиве C_m определяют для всех литологических разностей горных пород: [6, 8-10]

$$C_m = C_0 * \lambda; (1)$$

$$C_m = \frac{C_0 - C'}{1 + a' \ln (H/l_T)} + C'. (2)$$

где C' - сцепление по контактам между блоками пород, t/m^2 ; C_0 - сцепление пород в образце, t/m^2 ; H - высота борта, м; l_T - средний размер блоков, м; a' - коэффициент, зависящий от прочности пород в монолитном образце и характера их трещиноватости (табл. 3)

Таблица 3 - Значения коэффициента a' для различных пород

Породы и характер трещиноватости	C_0 , кг/см ²	a'
Слабоуплотненные и слаботрещиноватые песчано-глинистые отложения; сильновыветрелые, полностью каолинизированные изверженные породы	4 - 9	0,5
Уплотненные песчано-глинистые породы, в основном нормальносекущей трещиноватости	10 - 20	2
Сильно каолинизированные изверженные породы	30 - 80	2
Уплотненные песчано-глинистые породы с развитой кососекущей трещиноватостью, каолинизированные изверженные породы	30 - 80	3
Средней прочности слоистые породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	100 - 150	3
	150 - 170	4
	170 - 200	5
Прочные породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	200 - 300	6
	> 300	7
Прочные изверженные породы с развитой кососекущей трещиноватостью	> 200	10

5. Величины γ_{cp} , φ_{cp} и C_{cp} по более напряженной плоскости, которые не сходятся с плоскостями ослабления массива, вычисляются как средневзвешенные: [9]

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum \gamma_i * m_i}{\sum m_i}; \quad (3)$$

$$C_{cp} = \frac{\sum C_m * l_i}{\sum l_i} \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\sum \operatorname{tg} \varphi_i * l_i * \sigma_i}{\sum l_i * \sigma_i}. \quad (5)$$

где γ_i - удельный вес пород i -го слоя, м³/т; m_i - мощность пород i -го слоя в границах призмы обрушения, м; l_i - длина участка ПС в границах i -го слоя, м; C_m , φ_i - сцепления в массиве, а также угол внутреннего трения и i -го слоя; σ_i - приблизительное количество величины нормального напряжения в границах зоны ПС, проходящей по i -му слою:

$$\sigma_i = \gamma_{cp} * \sum h_i * \cos^2 \delta_i. \quad (6)$$

где δ_i -угол наклона зоны ПС в границах i -го слоя., град; h_i - толщина слоя в границах блока, вычисляющийся на участке ПС в границах i -го слоя, м.

6. Для определения расчетных параметров сцепления и угла внутреннего трения вводится необходимый коэффициент запаса стабильности η (табл. 4) в зависимости от срока службы карьера и этапа освоения месторождения, и определяются расчетные прочностные характеристики пород: [6,8]

$$C_n = \frac{C_{cp}}{\eta}; \quad (7)$$

$$\varphi_n = \frac{\varphi_{cp}}{\eta}. \quad (8)$$

где φ_n - расчетное значение угла внутреннего трения горных пород, град.; C_n - расчетное значение сцепления пород, т/м².

Таблица 4 - Рекомендуются величины коэффициента запаса устойчивости η в зависимости от надежности исходных геологических данных

Стадия освоения месторождения (степень надежности исходных данных)	η		Примечание
	Нерабочий борт (срок стояния > 10 лет)	Рабочий борт	
Проектирование (по данным бурения скважин и методом аналогий)	1,5	$\geq 1,4$	При трещиноватых, тектонически нарушенных вмещающих породах
	1,3	$\geq 1,2$	При слабых песчано-глинистых разностях
Эксплуатация (по данным изучения массива пород и анализу деформаций)	1,3	$\geq 1,2$	-
Ликвидация (постановка борта в предельное положение по данным длительных наблюдений за состоянием откосов)	1,2	$\geq 1,1$	-

7. Вычисляют высоту вертикальной трещины отрыва

В однородном откосе борта ПС возникает с глубины H_{90} :

$$H_{90} = \frac{2C_n}{\gamma_{cp}} * ctg\varepsilon_n; \quad (9)$$

$$H_{90} = \frac{2C_n}{\gamma_{cp}} * tg\omega_n. \quad (10)$$

В неоднородном откосе борта ПС возникает при напряжениях:

$$\sigma_1 = \sigma_0 = 2C_n * ctg\varepsilon_n; \quad (11)$$

$$\sigma_1 = \sigma_0 = 2C_n * tg\omega_n. \quad (12)$$

где σ_0 - прочность горных пород (на одноосное сжатие), т/м²;

8. Определяют максимальную высоту неослабленного вертикального откоса

H_B :

$$H_B = H_{90} \left(1 + \sqrt{\frac{\sigma_{\varphi_n}}{C_n} * tg\omega_n}\right); \quad (13)$$

$$H_B = H_{90} \left(1 + \sqrt{\frac{\sigma_{\varphi_n}}{C_n} * ctg\varepsilon_n}\right); \quad (14)$$

$$\varepsilon = 45^\circ - \frac{\varphi_n}{2}; \quad (15)$$

$$\omega = 45^\circ + \frac{\varphi_n}{2}. \quad (16)$$

где σ_{φ_n} - расчетное значение удельного сопротивления отрыву пород, т/м²; ε - угол между направлением наибольшего главного напряжения и площадкой скольжения, град; ω - угол наклона ПС в верхней части призмы обрушения, град.

4.2.2 Определение предельных параметров устойчивых бортов в однородном массиве

Рассмотрим порядок вычисления параметров борта для построения ПС в однородном, дренированном ($k=0$) массиве. При заданной высоте борта, определяем угол наклона откоса и ширину призмы вероятного обрушения.

1. По расчетному значению сцепления и средневзвешенной величине удельного веса массива для заданной высоты борта определяют значение безразмерного комплекса по формуле:

$$A = \frac{\gamma_{cp}H}{C_n}. \quad (17)$$

2. По графику (рис. 12) для вычисленного значения комплекса A и угла внутреннего трения пород φ_n находят необходимый угол наклона откоса α . Данные графики вычислены для всевозможных условий обводнения бортов k :

$$k = \frac{H'}{H}. \quad (18)$$

где H' -относительная высота пространства высачивания.

3. На (рис. 13) показан зависимость меж высотой борта и шириной призмы вероятного обрушения начерченный в прямоугольных координатах: на оси OX отмечено относительное значение ширины призмы вероятного обрушения $a' = a/H_{90}$, а на оси OY относительная высота борта $H' = H/H_{90}$. Графиком пользуются последующим способом: устанавливают место пересечения оси OY , равной H' , на схеме с кривой, подходящей данному φ , а на оси OX определяют относительную ширину призмы вероятного обрушения a' , реальная ширина призмы вероятного обрушения a находится умножением a' на значение H_{90} . [8]

$$a = \frac{2H[1 - \text{ctg}\alpha * \text{tg}(\frac{\alpha + \varphi_n}{2})] - 2H_{90}}{\text{ctg}\varepsilon + \text{tg}(\frac{\alpha + \varphi_n}{2})}; \quad (19)$$

$$a = H_{90} \sqrt{\frac{\sigma_{\varphi_n}}{C_n} * \text{tg}\varepsilon_n}. \quad (20)$$

По графику (рис. 12) дозволено решение обратной задачи, то есть для заданного значения угла наклона борта α определено значение безразмерного комплекса A , а затем по значению удельного веса γ_{cp} и расчетным прочностным характеристикам C_n , φ_n пород вычислена высота устойчивого борта H . [6]

4. По параметрам H , α , a , вычисленным по графикам, а также по значению вертикальной трещины отрыва H_{90} (9) строят профиль борта и ПС (рис. 14).

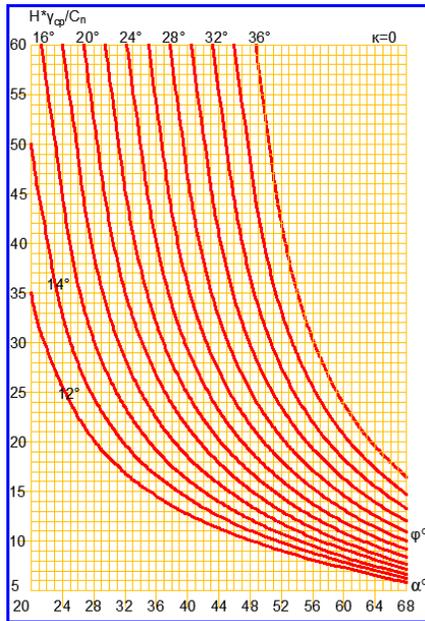


Рис. 12 - График зависимости между высотой плоского откоса H и его углом наклона α при $k=0$

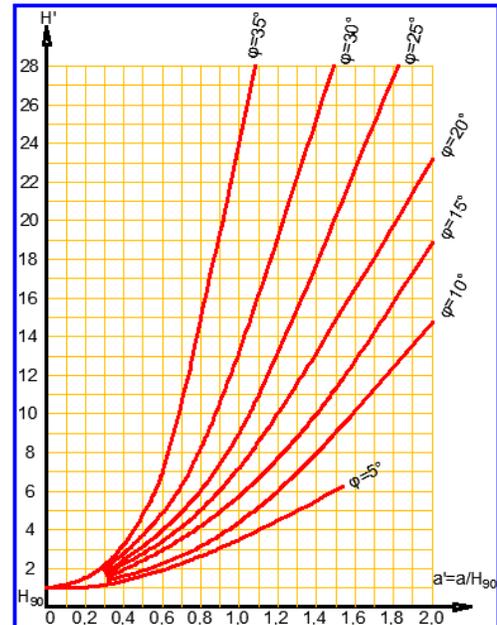


Рис. 13 - График зависимости между высотой откоса и шириной призмы обрушения

4.2.3 Способы построения наиболее напряженной поверхности скольжения

Условие 1. Плоский борт, отсутствие неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления ($\varphi > 13^\circ$).

Ширину призмы обрушения a отсчитывают от точки A в сторону массива. Из точек A и B вертикально вниз отмечают H_{90} и получают точки A' и B' . Из точек A' и B' чертят лучи под углом $\omega = 45^\circ + \varphi_n/2$ к горизонту до их пересечения в точке C . Из точки C и M восстанавливают перпендикуляры к направлению $B'C$ и к касательной MN составляющей с поверхностью откоса угол $\varepsilon = 45^\circ - \varphi_n/2$ до пересечения в точке O . Проводят дугу окружности MC с центром в точке O с радиусом $R=OC=OM$. Линия $B'CM$ является искомой ПС (рис. 14).

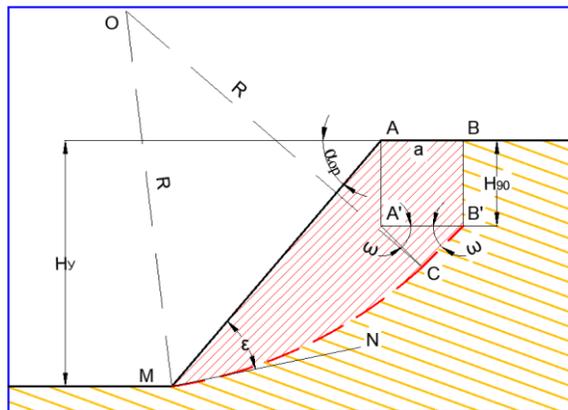


Рис. 14 - Форма ПС в откосе плоского профиля при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления

пересечении KF и линией проведенной из точки M отмечают точкой B которую соединяют с A'₂. На отрезке BA'₂, как на основании, строят равнобедренный треугольник, одна сторона которого A'₂O₂ перпендикулярна касательной A'₂N. Точку K соединяют плавной кривой с дугой окружности BA'₂. Линия A'₂K является искомой ПС.

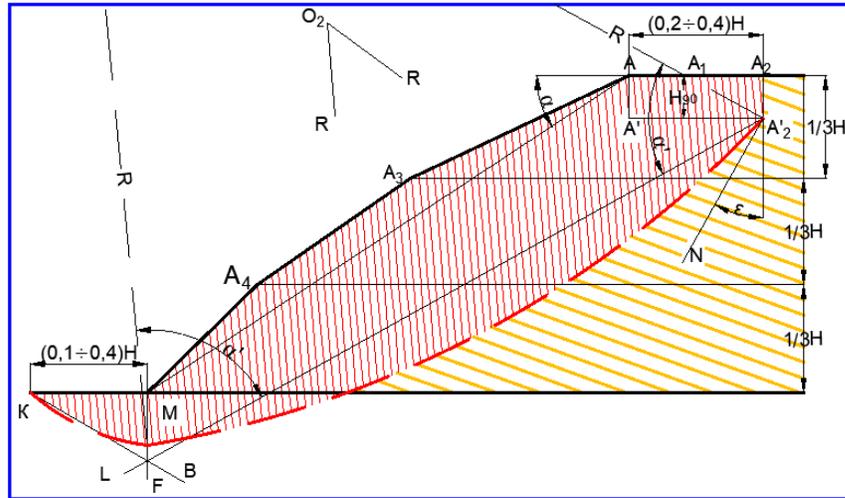


Рис. 16 - Расположение ПС в откосе выпуклого профиля при $\alpha < (45^\circ - \varphi/2)$

Условие 5. В основании борта залегает слой пластичных глин

Из точки A в сторону массива откладывают $(0,2-0,3)*H$ находят точку B. Из точек A и B отвесно вниз откладывают H_{90} , находят A' и B', из которых проводят лучи под углом $(45^\circ + \varphi_1/2)$ к горизонту до пересечения их в точке C (рис. 17). Из точки C проводят линию CN как продолжение отрезка B'C. Затем ПС становится криволинейной и пересекается в точке O под углом излома θ к контакту.

Точку O находят используя палетку (рис. 18): на прозрачной основе строят горизонтальную линию и отмечают точку O в любом месте. Из точки O под углом θ вверх проводят луч OL, от линии OP, образованной как продолжение OL, вверх откладывают угол излома ψ и проводят линию OE. Накладывают палетку на профиль борта, совмещая горизонтальную линию палетки с основанием борта. Перемещают точку O вдоль линии основания, пока между линиями CN и OL можно будет провести плавную кривую.

В слабом слое ПС имеет плавный криволинейный вид и обратный уклон. Положение точки K выбирают вдоль подошвы откоса на расстоянии $(0,1-0,4)*H$ от точки M так, чтобы линия KF, проведенная под углом $(45^\circ - \varphi_2/2)$ к основанию, стало касательной к ПС. Кривая B'OK - искомая ПС.

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} * (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1}, \pi = 180^\circ; (21)$$

$$\varphi_1 > \varphi_2; (22)$$

$$\psi = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}. (23)$$

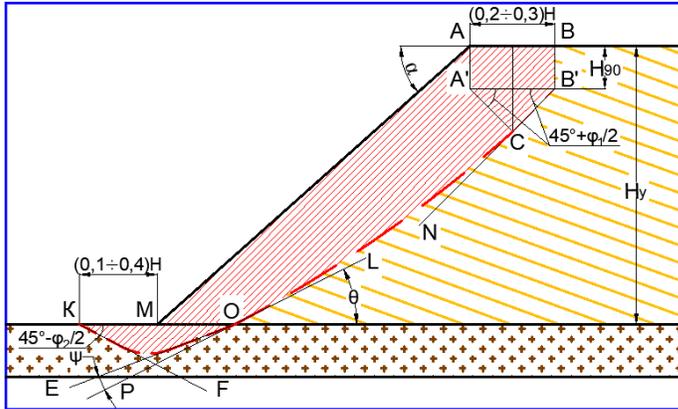


Рис. 17 - Форма ПС в откосе плоского профиля на слабом основании

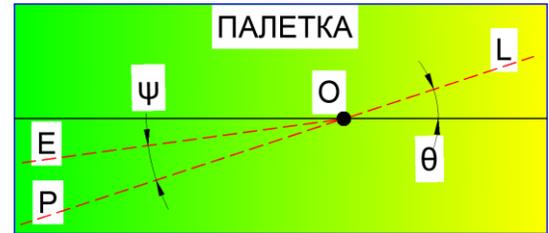


Рис. 18 - Палетка для построения ПС

Условие 7. Пологое залегание слоев, падение в сторону выработанного пространства $\beta \leq 25^\circ$, $\beta \leq \varphi'$, $\alpha > \beta$.

Из точки A_1 на расстоянии $(0,2-0,3) \cdot H$ откладывают отвесно вниз H_{90} , получают точку A'_1 . От H_{90} под углом ε проводят касательную $A'_1 L_1$. Из точки A'_1 проводят луч под углом $i_1 = 0,5(\theta + \beta + 45^\circ + \varphi/2)$ к горизонту. Из точки M проводят линию MN , параллельную слоистости. Точку пересечения этих прямых O_1 и точку A'_1 соединяют плавной линией.

Из точки O_1 проводят линию скольжения второго семейства OC_1 под углом $i_{1,2} = 0,5(135^\circ + 3 \cdot 2(\varphi) - \theta - \beta)$ к горизонту, имеющую в зоне выхода на поверхность откоса, вертикальный участок $C_1 E_1$ (рис. 19). Также строят ПС от точки A_2 . Линии $A'_1 O_1 M$, $A'_2 O_2 M$ - искомые ПС.

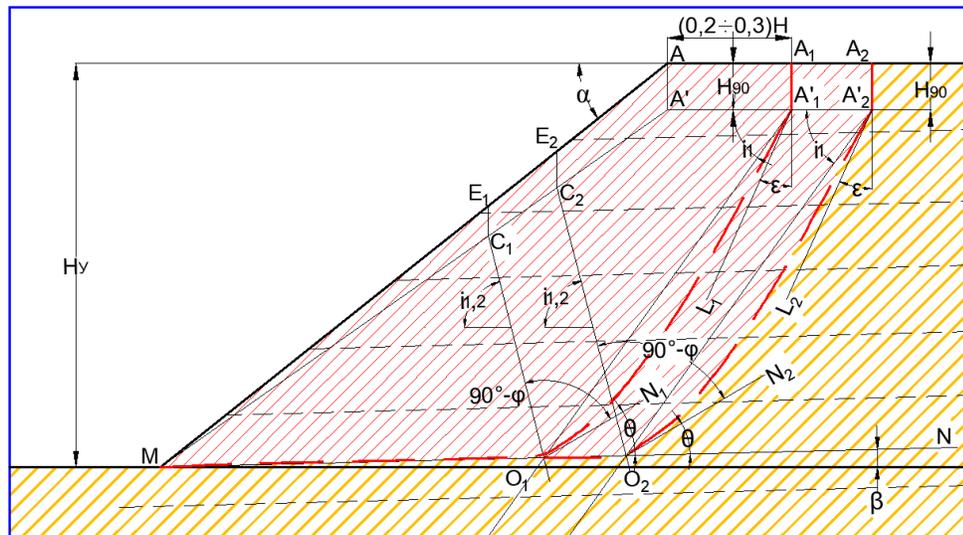


Рис. 19 - Форма ПС при пологом залегании слоев в сторону выработанного пространства ($\beta \leq 25^\circ$, $\beta \leq \varphi'$, $\alpha > \beta$)

Условие 8. Наклонное и крутое залегание слоев ($\alpha < \beta \leq 70^\circ, \beta > \varphi'$).

Из точки А отвесно вниз проводят H_{90} , получают точку A'_1 . Из точки М под углом ε к откосу проводят луч MN. Строят палетку: проводят линию параллельно напластованию, ставят точку O_1 , проводят луч O_1L_1 под углом θ' к напластованию. Накладывают палетку на профиль борта, перемещают точку O_1 вдоль контакта, пока из М в точку O_1 не получится провести криволинейную ПС.

Из точки O_1 под углом $(90^\circ - \varphi)$ к касательной O_1L_1 откладывают линию скольжения второго семейства - O_1C_1 , имеющую в месте выхода вертикальную площадку C_1E_1 (рис. 20). Аналогично строят ПС от точки A_2 .

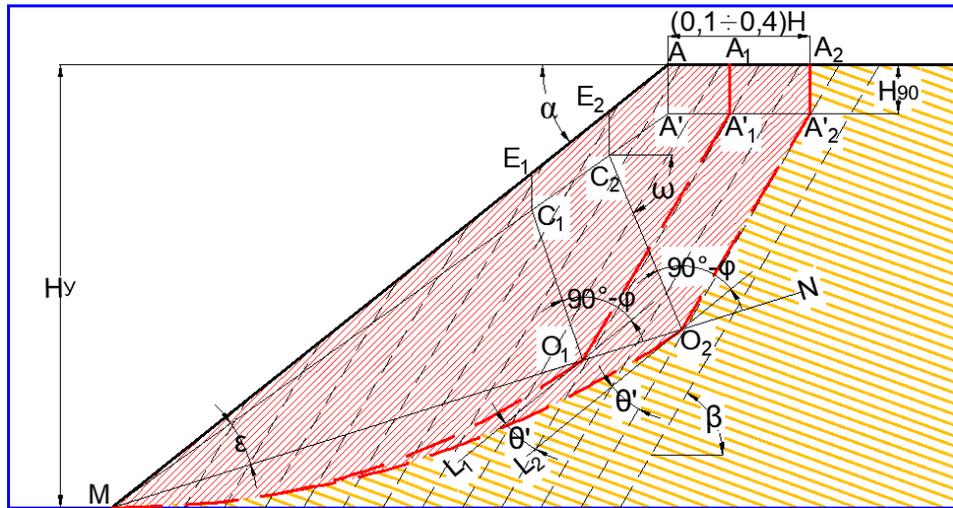


Рис. 20 - Форма поверхности скольжения в откосе борта при наклонном и крутом согласном с откосом залегании слоев ($\alpha < \beta \leq 70^\circ, \beta > \varphi'$)

$$\theta' = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} * (\varphi - \varphi') - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi}, \pi = 180^\circ; \quad (24)$$

где φ - угол внутреннего трения пород борта; φ' - угол внутреннего трения по контакту слоев. Линии A'_1O_1M, A'_2O_2M - искомые ПС.

4.3 Методы поверочных расчетов

4.3.1 Метод алгебраического сложения сил

Данный способ базируется на суммировании удерживающих и сдвигающих сил по круглоцилиндрической или монотонно криволинейной поверхности для нахождения КЗУ. При высоте откоса до 100 м и углов внутреннего трения пород $\varphi < 20^\circ$ данная методика выдает весьма точные результаты. [6, 10]

Таблица 5 - Условия применения метода алгебраического сложения сил

Условия залегания пород	Схема
Однородный (квазиизотропный) откос	
Слоистая толща при наклонном несогласном с наклоном борта залегании слоев, т. е. падение слоев в сторону массива при $\beta < 50^\circ$	
Слоистая толща с углом падения слоев $\beta \leq \pm 5^\circ$ при отсутствии слабых пластичных слоев	
Слоистая толща при несогласном с наклоном борта падении слоев при $50^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$	

Решение задачи осуществляется в следующей последовательности.

1. Зона возможного обрушения (рис. 21), делится на блоки шириной $b_1 = a$; последующие блоки: $b_i = 0,1R$ (R - радиус круглоцилиндрической ПС). Определяют вес элементарного блока по формуле:

$$P_i = b_i * h_i * \gamma_{cp} * 1 \text{ м} \quad (25)$$

где P_i - вес элементарного блока, Н; b_i - ширина блока, м; h_i - высота блока, м; γ_{cp} - удельный вес пород, Н/м³; 1 м - учитывает объемность блока при решении плоской задачи.

Вес блока P_i раскладывается на касательную T_i и нормальную N_i составляющие:

$$N_i = P_i * \cos\alpha_i; \quad (26)$$

$$T_i = P_i * \sin\alpha_i; \quad (27)$$

Вычисляют силы трения $F_{тр}$ и сцепления $F_{сц}$, удерживающие откос в равновесии:

$$F_{тр} = \text{tg}\varphi_n * \sum N_i; \quad (28)$$

$$F_{сц} = C_n * l_i. \quad (29)$$

где α_i - угол наклона основания блока, град.; l_i - длина наклонного основания, м.

Вычисляют расчетное КЗУ:

$$n_p = \sum F_{тр} + F_{сц} / \sum T_i. \quad (30)$$

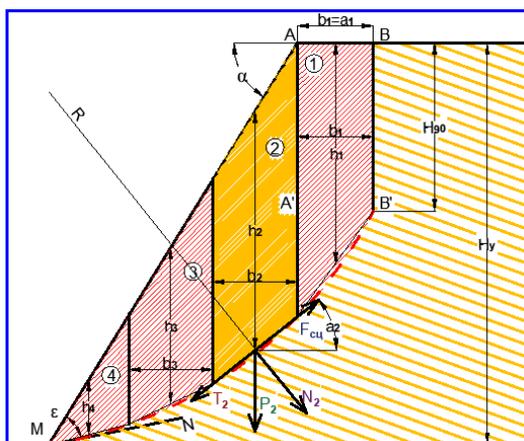


Рис. 21 - Схема к поверочному расчету методом суммирования сил по круглоцилиндрической ПС

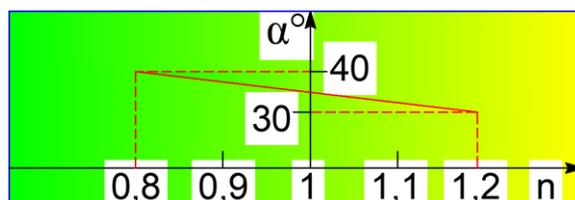


Рис. 22 - График отображающий зависимость КЗУ n от угла наклона откоса α

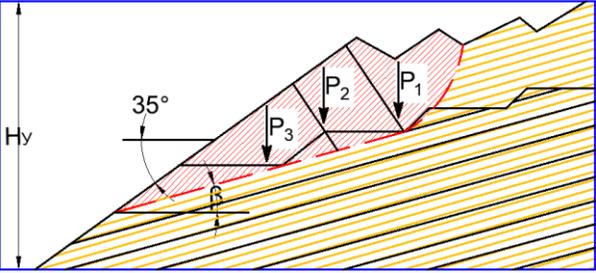
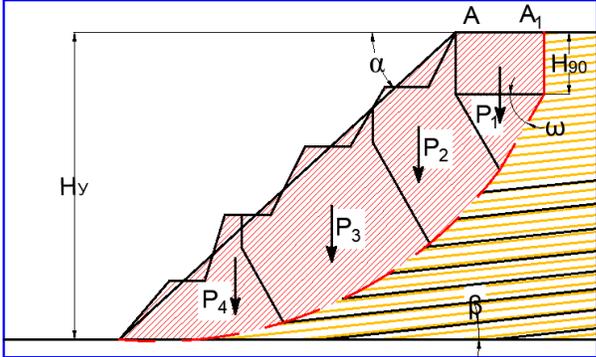
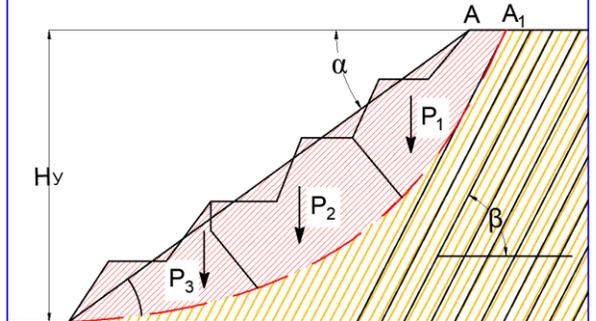
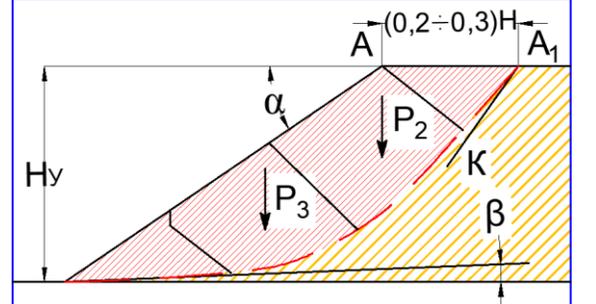
Конечное число рационального угла откоса борта вычисляют согласно графику зависимости (рис. 22) и снова повторяют вычисления.

Если борт обводнен, то учитывают силу гидростатического давления:

$$D_i = \Delta_B * h_{wi} * l_i \quad (31)$$

где D_i - сила гидростатического давления, Па. h_{wi} - высота столба воды, м; Δ_B - удельный вес воды, Н/м³ (рис. 23).

$$h_{wi} = \frac{H_{i,i-1} + H_{i,i+1}}{2}. \quad (32)$$

Характеристика условий	Схема
Отвалы на слоистом основании	
Пологое расположение естественных ПО: $\beta < \varphi'$; $\alpha > \beta$; $\beta \leq 25^\circ$	
Наклонное и крутое согласное с откосом размещение слоев: $\beta > \varphi'$; $\alpha < \beta < 70^\circ$,	
Горизонтально также пологозалегающий контакт	

Решение задачи осуществляется в следующей последовательности.

Отмечают пределы блоков. Если имеются крутопадающих нарушений границы блоков совпадают с нарушениями, при отсутствии нарушений границы блоков выполняют аналогично расположению второго семейства ПС под углом $(90^\circ - \varphi)$ к первому семейству ПС (рис. 24).

Определяют вес каждого блока по формуле:

$$P_i = S_i * \gamma_{cp} * l. \quad (34)$$

Определяют силы сцепления, действующие в основании блока:

$$F_{\text{сц}} = C_n * l_i. (35)$$

Отмечают реакции R_i , которые являются равнодействующими сил трения и нормальной составляющей веса блока и отклоняются от нормали к ПС на φ_n .

Определяют силы гидростатического давления D_i (31) по границам блоков.

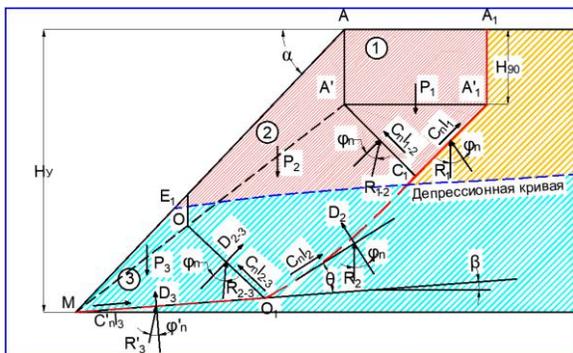


Рис. 24 - Схема к поверочному расчету методом многоугольника сил

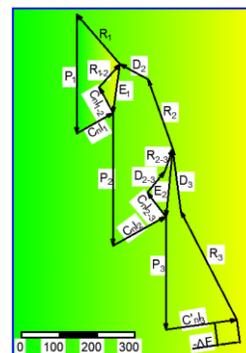


Рис. 25 - Многоугольник сил

Сложение векторов всех сил можно выполнить графически (рис. 25).

Вертикально вниз откладывается вектор P_1 . После из конца P_1 строят векторы сцепления C_{1-2} и C_{1-2} параллельно боковым плоскостям блоков. Из начала P_1 чертят прямую параллельную по отношению к реакции R_1 до пересечения с вектором прямой, отложенным из конца C_{1-2} параллельно R_{1-2} . Из пересечения R_1 и R_{1-2} к точке пересечения векторов сцепления C_{1-2} и C_{1-2} откладывают E_1 . Затем с окончания E_1 отмечают вектор P_2 . Затем с окончания P_2 проводят C_{1-2} , C_{2-3} и D_{2-3} , после окончания D_{2-3} откладывают отрезок, параллельный R_{2-3} , а из начала E_1 отмечают D_2 , далее отрезок, параллельный R_2 , откладывают до пересечения с R_{2-3} и находят E_2 . Далее с конца E_2 проводят P_3 и проводят C_{2-3} , D_3 и R_3 .

При совпадении КЗУ вектор сил замыкается, иначе определяют невязку ΔF .

Выстроив вектор сил при двух выражениях КЗУ, выполняют построение графика $\Delta F = f(n)$ (рис. 26), находят конечный КЗУ и снова проводят вычисления.

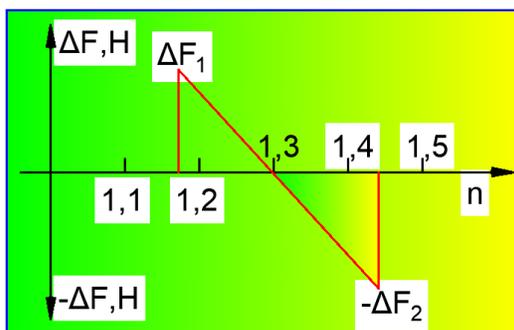
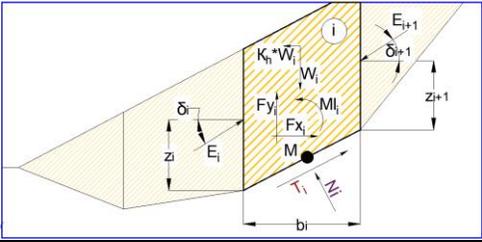
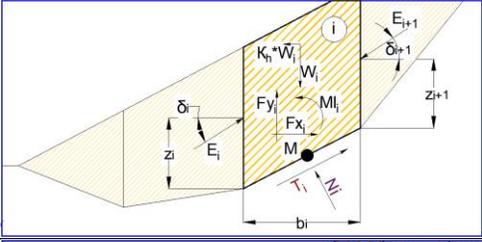
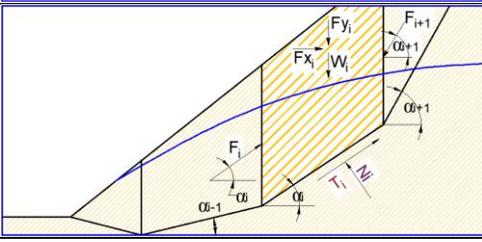


Рис. 26 - График зависимости $\Delta F = f(n)$

4.3.3 Численный метод

Таблица 7 - Сущность численного метода расчета

№	Метод	Схема сил, действующих на блоке	Сущность метода
1	Феллениус - Петтерсон	$FS = \frac{1}{\sum W_i * \sin \alpha_i} * \sum [c_i l_i + (N_i - u_i l_i) \tan \varphi_i]$	Феллениус - Петтерсон учитывает уравнение моментов равновесия вокруг центра круговой поверхности скольжения.
2	Бишопа	$FS = \frac{1}{\sum W_i * \sin \alpha_i} * \sum \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \alpha_i}{FS}}$	Метод Бишопа не учитывает силы между блоками и основывается на удовлетворении равенства уравнению моментов равновесия и уравнения вертикальной силы равновесия.
3	Спенсера		Метод Спенсера учитывает все 3 уравнения равновесия: уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлении и уравнение момента равновесия.
5	Моргенштерн - Прайса		Моргенштерн - Прайса схож с методом Спенсера, также удовлетворяет всем трем условиям равновесия. Равнодействующие сдвигающих и нормальных сил между блоками, имеют разные наклоны в каждом блоке (форма функции полу-синуса).
8	ITF		Метод ITF основывается на теории предельного равновесия. Суть методики ITF является суммирования сил на отдельных блоках при этом не учитывает условие уравнение момента равновесия.

4.4 Исследование с помощью современного ПО месторождение Юбилейное

4.4.1 Создание файла «Excel» для подсчета запаса устойчивости.

Дано: Глубина карьера - $H_0 = 463$ м; генеральный угол борта карьера - $\alpha_0 = 50^\circ$; максимально возможный угол откоса в случае сдвижения пород - $\alpha_{max} = 50^\circ$; объемный вес для всех типов пород - $\gamma_{cp} = 2,78 \text{ т/м}^3 = 27,3 \text{ кН/м}^3$; значение угла внутреннего трения при природной влажности - $\varphi_n = 50^\circ$; удельное сцепление грунта при природной влажности - $C_n = 26,2 \text{ т/м}^2 = 257 \text{ кПа}$.

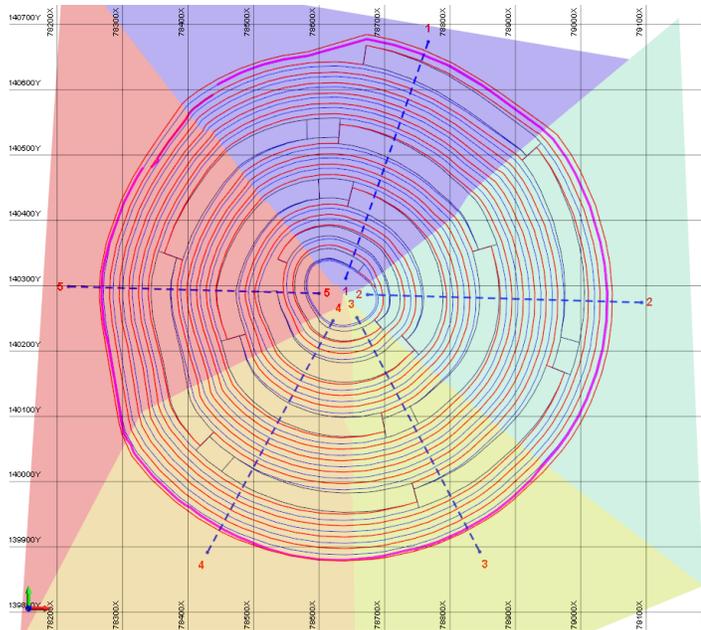


Рис. 27 - Расчетные разрезы по геотехническим секторам

Построения выполнены с применением передового графического редактора, AutoCAD. По разрезу 3-3 (рис. 27) на рабочем пространстве AutoCAD строится борт карьера по данным координатам в масштабе 1:1(рис. 28). Строим кривую вероятной ПС принимая во внимание то, что откос состоит из пород нарушенной структуры то есть неоднородный откос, исходя из вышеперечисленного глубина вертикальной трещины отрыва H_{90} отсутствует (рис. 28). Делим оползневой клин на равные элементарные блоки, обладающие отличительными особенностями по геометрической форме и т. п. вертикальными отрезками. Число блоков составляет 10, чем больше делений на блоки в оползневом клине, тем ниже погрешность вычислений.

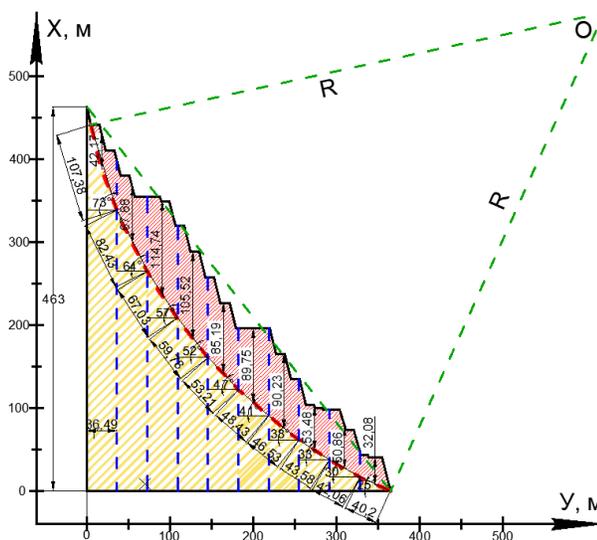


Рис. 28 - Схема расчета КЗУ откоса борта методом суммирования сил, в графическом редакторе «AutoCAD»

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ															
H_0 , м	α_0 , град	$\gamma_{ср}$, т/м ³	φ_n , град	C_n , т/м ²	α_{max} , град	Δz , т/м ³									
463	50	2,78	50	26,2	45	1									
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТУПА															
ϵ , град	ω , град	H_{90} , м	σ_1 , т/м ²	a , м											
20	70	51,787	143,968	74,4969											
№ БЛОКА	ДАННЫЕ СО СХЕМЫ					РАСЧЕТ УДЕРЖИВАЮЩИХ И СКАТЫВАЮЩИХ СИЛ							РАСЧЕТ КЗУ	РАСЧЕТ КЗУ	
	l_i , м	a_i , м	h_i , м	h_{wi} , м	α_i , град	P_i , т	$\sin\alpha_i$	T_i , т	$\cos\alpha_i$	N_i , т	$F_{сдв}$, т	D_i , т/м ³	$F_{сдв}$, т	η_p , т	η_p , т
1	107,38	36,49	42,17		73	4277,82	0,9563	4090,9	0,2924	1250,7	2813,36	0	0	1,388643337	1,388643337
2	82,18	36,49	67,88		64	6885,9	0,8988	6189	0,4384	3018,6	2153,12	0	0		
3	67,03	36,49	114,74		57	11639,5	0,8387	9761,7	0,5446	6339,3	1756,19	0	0		
4	59,78	36,49	105,52		52	10704,2	0,788	8435	0,6157	6590,2	1566,24	0	0		
5	53,21	36,49	85,19		47	8641,86	0,7314	6320,3	0,682	5893,7	1394,1	0	0		
6	48,43	36,49	89,75		41	9104,44	0,6561	5973	0,7547	6871,2	1268,87	0	0		
7	46,53	36,49	90,23		38	9153,13	0,6157	5635,2	0,788	7212,8	1219,09	0	0		
8	43,58	36,49	53,48		33	5425,13	0,5446	2954,7	0,8387	4549,9	1141,8	0	0		
9	42,06	36,49	50,86		30	5159,35	0,5	2579,7	0,866	4468,1	1101,97	0	0		
10	40,2	36,49	32,08		25	3254,27	0,4226	1375,3	0,9063	2949,4	1053,24	0	0		
Σ								53315		49144	15468				

Рис. 29 - Расчет КЗУ с применением программы «Excel»

Массив разделен на 10 абсолютно равных частей, которые не обводнены и большинство имеют трапециевидную форму. При разделении оползневого массива желательно чтобы все части имели целые значения a_i - ширина блока, иначе чтобы отсутствовали десятые также сотые частей метров.

Составляем таблицу в Excel (рис. 29):

1. Выполняем параллельные замеры наклонных оснований блоков с учетом криволинейности в графическом редакторе AutoCAD. Например, для блока № 1 длина основания имеет значение $l_1=107,38$ м.
2. После выполняем линейные замеры высот из середины элементарных блоков h_1, h_2, \dots, h_{10} . Например: высота блока № 5 имеет значение $h_5=85,19$ м.
3. Производим угловые замеры наклона нижней части блоков α_i , для этого чертим касательную к нижней части блока в середине либо, две нижние точки элементарного блока соединить наклонной линией. Например, для блока № 8 углы наклона нижней части имеет значение $\alpha_8 = 33^\circ$. Все выполненные замеры вводим в таблицу в Excel.
4. Определяем массу блоков по формуле: $P_i = a_i \cdot h_i \cdot \gamma_{ср} \cdot 1$ м, (25) где включаемое значение 1 м предусматривает трехмерность блока при вычислении плоской задачи ($S_i = a_i \cdot h_i$ - площадь блока). Например: блока № 3 имеет вес $P_3 = a_3 \cdot h_3 \cdot \gamma_{ср} \cdot 1$ м = $36,49$ м · $114,74$ м · $2,78$ т/м³ · 1 м = $11639,5$ т.

5. Находим сдвигающие силы по формуле: $T_i = P_i * \sin\alpha_i$, т (27). Например для блока № 9, сдвигающая сила равна $T_9 = P_9 * \sin\alpha_9 = 5159,35 * \sin 30^\circ = 2579,7$ т.
6. Вычисляем силы трения которые сдерживают элементарный блок по формуле: $N_i = P_i * \cos\alpha_i$, т (26). Например для блока № 2, составляющая силы трения будет $N_2 = P_2 * \cos\alpha_2 = 6885,9 * \cos 64^\circ = 3018,6$ т.
7. Находим сцепление, действующее в нижней части блоков по формуле: $F_{\text{сц}} = C_n * l_i$, т (29). Например: блок № 6 $F_{\text{сц}} = C_n * l_6 = 26,2 * 48,43 = 1268,87$, т.
8. Вычисляем гидростатическое давление по формуле: $D_i = \Delta_B * h_{wi}$, т/м³; (31) где Δ_B - 1 т/м³ - плотность воды. В данном расчете борт не обводнен исходя из этого гидростатическое давление отсутствует.
9. Определяем сдвигающие силы умножив гидростатическое давление D_i на длину нижней части блока l_i .
10. Коэффициент запаса прочности равен $\eta_p = \frac{\sum \text{tg}\varphi_n * N_i + C_n * l_i}{\sum T_i} = \frac{\sum \text{tg} 50^\circ * 49144 + 15468}{53315} = 1,38864$. Борт карьера является устойчивым!

Вывод: Борт карьера по результатам инженерных вычислений методом суммирования сил считается устойчивым. Значение величины КЗУ в норме допустимого. Так как расчетный коэффициент прочности составляет $\eta_p = 1,38864$, угол откоса борта можно не уменьшать, в целях увеличения значения величины КЗУ.

4.4.2 Подсчёт запаса устойчивости в программном комплексе GeoStudio

Вычисление стабильности борта реализован с применением современного ПО для моделирования GeoStudio, специализированное для геотехнологов также геологов. Вследствие широкого диапазона способностей SLOPE/W применим для оценки всевозможных задач по устойчивости склонов, которые встречаются в геотехническом также горнотехническом плане. Программа способна исследовать все типы задач для разнообразных форм ПС, давления подземных вод, свойств грунта также нагружения массива.

По результатам расчета в ПО GeoStudio по умолчанию отображается критическая поверхность скольжения (кривая белого цвета) с коэффициентом запаса прочности $KЗУ = 1,496$ для круглоцилиндрической ПС (рис. 30). Информация о борте карьера представлена на (рис. 31)

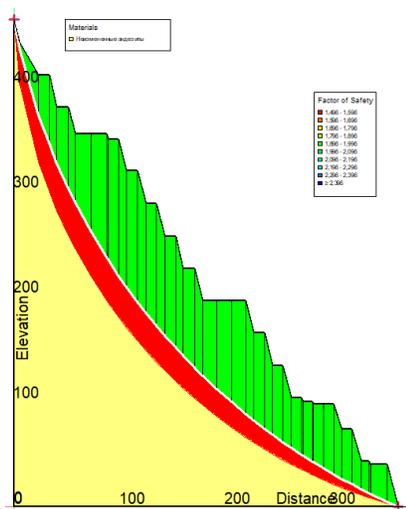


Рис. 30 - Расчет КЗУ по разрезу 3-3 в программном комплексе GeoStudio

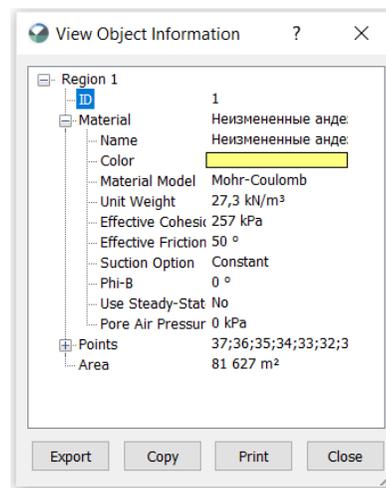


Рис. 31 - Информация об объекте

Наиболее важным графиком, который необходимо проверить при рассмотрении результатов устойчивости предельного равновесия, является график зависимости коэффициента запаса от лямбды (рис. 32 и 33), который включает в себя как момент, так и силовые факторы безопасности. Сходящийся коэффициент безопасности для каждой ПС находится на пересечении графиков зависимости момента и силового коэффициента безопасности от лямбда-зависимостей. В окне рисования графика можно изучить, как параметры меняются на ПС. Также возможно построить данные среза от текущей ПС, учитывая исчерпывающий список доступных параметров. Например, построить график зависимости давления воды в порах от номера среза, график показывает результирующие значения давления поровой воды для каждого среза выбранных ПС.

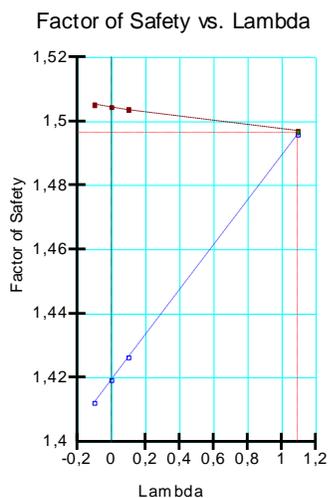


Рис. 32 - График зависимости КЗУ от лямбды при КЗУ равном 1,496

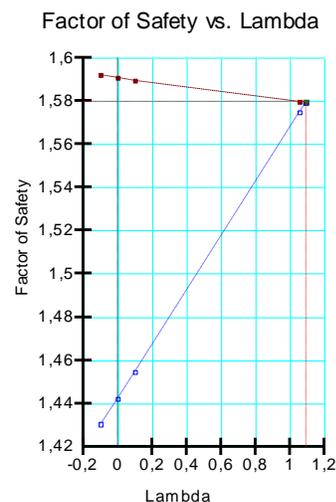


Рис. 33 - График зависимости КЗУ от лямбды при КЗУ равном 1,579

На (рис. 34) смоделирован блок № 6 по методу Morgenstern – Прайса который учитывает все 3 уравнения равновесия: уравнения сил равновесия в горизонтальном и вертикальном направлении и уравнение момента равновесия. Информация о срезе для выбранной ПС доступна в (табл. 8).

Slice 6 - Morgenstern-Price Method

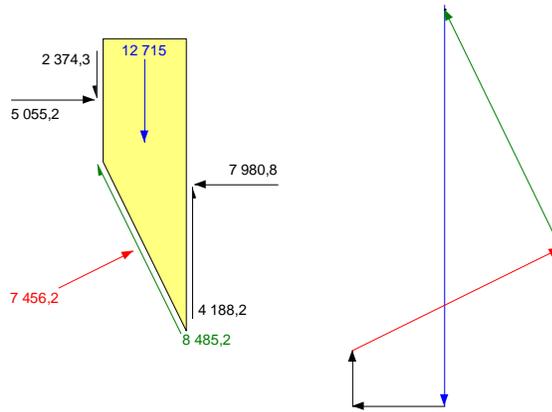


Рис. 34 - Действие сил и реакций на блок № 6

Таблица 8 - Информация о срезе №6

Slice 6 - Morgenstern-Price Method	
Factor of Safety	1,496
Phi Angle	50 °
C (Strength)	257 kPa
Slice Width	6,5528 m
Mid-Height	71,077 m
Base Length	14,827 m
Base Angle	-63,772 °
Anisotropic Strength Mod.	1
Applied Lambda	1,0963
Weight (incl. Vert. Seismic)	12 715 kN
Base Normal Force	7 456,2 kN
Base Normal Stress	502,88 kPa
Base Shear Res. Force	12 697 kN
Base Shear Res. Stress	856,31 kPa
Base Shear Mob. Force	8 485,2 kN
Base Shear Mob. Stress	572,27 kPa
Left Side Normal Force	5 055,2 kN
Left Side Shear Force	2 374,3 kN
Right Side Normal Force	7 980,8 kN
Right Side Shear Force	4 188,2 kN
Polygon Closure	127,15 kN
Top Left Coordinate	51,4277; 380,0513 m
Top Right Coordinate	57,9805; 354,167 m
Bottom Left Coordinate	51,4277; 302,68238 m
Bottom Right Coordinate	57,9805; 289,38184 m

4.4.3 Подсчёт запаса устойчивости в программном комплексе GeoStab.

Оценка стабильности откосов проектируемого карьера произведена с помощью специализированного ПО GeoStab. Программа предназначена для определения стабильности откосов и склонов в обстоятельствах сложного геологического строения массива горных пород. Расчет КЗУ выполнялся для призм с круглоцилиндрической ПС способом касательных сил. Основой анализа стабильности массивов служит сопоставление их действительного расчетного напряженного состояния с предельно возможным.

По результатам расчета величина $K_{ЗУ}=1,301$. Отсюда следует, что борт проектируемого карьера месторождения по выделенному сектору является устойчивым. Подробные результаты расчета приведены на (рис. 35).

Таблица 9 – Результаты расчета КЗУ

Номер разреза	Площадь призмы, м ²	КЗУ
3-3	24296,32	1,381

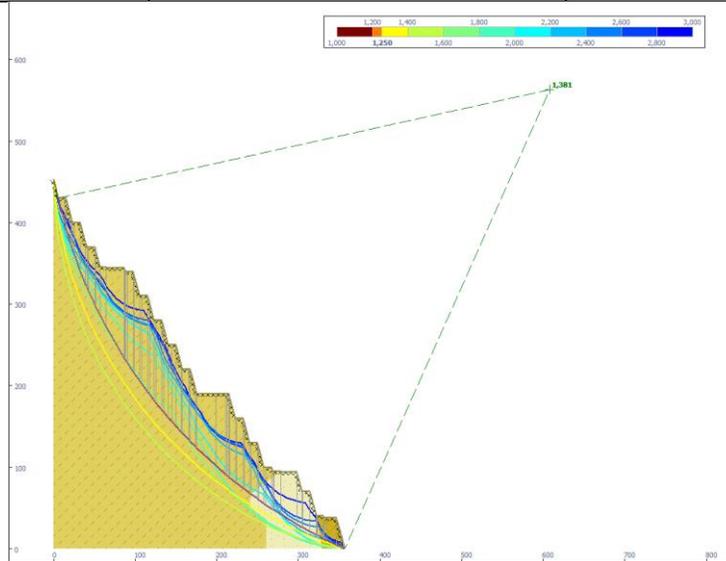


Рис. 35 - Расчет КЗУ по разрезу 3-3 в программном комплексе GeoStab

Дополнительно в расчете учтены коэффициент пористости, равный 1,2% (отношение объема пор к объему твердой фазы) и влажность 1,15% (рис. 36).

ИГЭ	Тип грунта
1	Неизмененные андезиты
2	Измененные андезиты
3	Плагиигранитная интрузия

Происхождение и возраст грунта

Состояние грунта

Част. грунта (98,8 %)

Коэф. пористости, e: 0,012

Пористость, n: 0,012

Коэф. водонасыщения, Sr: 0,00

Влажность, w: 0,015

Ед. измер. весовых характеристик: кН/м³

Весовые характеристики

Уд. вес частиц, γ_s : 28,35 кН/м³

Объёмные весовые характеристики

Уд. вес скелета, γ_d : 28,0 кН/м³

Уд. вес в естеств. сост., γ : 28,1 кН/м³

Уд. вес при полном водон., γ_{sat} : 28,1 кН/м³

Уд. вес с уч. взв. д. воды, γ_{sb} : 18,3 кН/м³

Прочностные характеристики

Удельное сцепление, c: 257,0 кПа

Угол внутреннего трения, ϕ : 50,0 град

Вычислить Выч. все Ок Отмена

Рис. 36 - Учет пористости и влажности в программном комплексе GeoStab

В дальнейшем необходимо проведение дополнительных исследований геомеханики карьера. При эксплуатации карьера следует регулярно проводить геотехнические наблюдения с целью предупреждения возможных деформаций на участках работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая ценность данной дипломной работы состоит в разработке алгоритма расчета в программе Microsoft Excel для вычисления параметров устойчивости откоса уступов, бортов карьера, а также откосов отвалов графоаналитическим методом. Для оценки насколько разработанный файл в программе Microsoft Excel адекватна и точна выполнен расчет и сравнение полученных результатов с существующими и зарекомендовавшими себя на рынке программными обеспечениями GeoStudio и GeoStab. Идеей работы является выявление взаимосвязи и корреляции между факторами и устойчивостью уступов, как и в какой степени эти факторы влияют на устойчивость. После получения результатов сравнения найдены ошибки и недочеты, которые в дальнейшем были доработаны и исправлены корректировкой программы расчета Microsoft Excel.

Разработанная программа расчета в Excel позволит экспериментировать, менять вводные, дополнять и совершенствовать алгоритм расчета, чтобы постараться учесть, как можно больше факторов влияющих на стабильность откосов уступов.

В дальнейшем планируется совместить разработанный файл в программе Microsoft Excel с языком программирования Visual Basic для автоматизированного построения борта и поверхности скольжения и для улучшения графического интерфейса пользователя.

Обзор литературных источников, итоги математического моделирования, продемонстрированные в данной работе, дают возможность сделать выводы о том, что дипломная работа соответствует современному научно-инженерному уровню.

Приведенные результаты достоверны и представляют практическую значимость ввиду использования современных способов моделирования и анализ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устойчивость бортов карьеров: учебно-методическое пособие с применением программного комплекса GeoStudio/С. Г. Оника [и др.].- Минск: БНТУ, 2016.-43 с.
2. Галустьян, Э. Л. Геомеханика открытых горных работ: справочное пособие/Э. Л. Галустьян.-М.: Недра, 1992.-272 с.
3. Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов/Г. Л. Фисенко.- М.: Недра, 1965.-378 с.
4. А. М. Мочалов, С. А. Ишутин, А. А. Павлович, Р. Ю. Сапачев (2012) Оценка устойчивости бортов карьеров с использованием отечественного и зарубежного программного обеспечения. Записки Горного Института. Том 199. С. 219.
5. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке. Автор: Съедина С. А. Издание: Алматы, 2019 г., 118 стр., УДК: 622.271:622.83
6. Бахаева С. П. Расчет устойчивости откосов при открытой геотехнологии: учебное пособие/С. П. Бахаева; ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева». Кемерово 2011.-158 с.
7. Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 1-3 октября 2013 г.- Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014.-516 с.
8. Козлов Ю. С., Мочалов А. М., Пушкарев В. И., Сапожников В. Т., Фисенко Г. Л./Методические указания по определению оптимальных углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров-ВНИМИ, Ленинград, 1972 г., 165 стр.
9. Григорьев А. А., Горбунова Е. В., Девяткина А. Н. Оценка Устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов / Методические указания.- Владивосток: Дальневосточный государственный технический университет (ДВГТУ) имени В. В. Куйбышева, 2009.-37 с.
10. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293827/4293827109.htm>

Приложение А

Расчет КЗУ с применением программы «Excel»

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ																					
H_0 , м	α_0 , град	$\gamma_{ср}$, т/м ³	φ_n , град	C_n , т/м ²	α_{max} , град	Δ_B , т/м ³															
463	50	2,78	50	26,2	45	1															
							РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТУПА														
ε, град	ω, град	H_{90} , м	σ_1 , т/м ²	а, м																	
20	70	51,787	143,968	74,4969																	
№ БЛОКА	ДАнные со СХЕМЫ					РАСЧЕТ УДЕРЖИВАЮЩИХ И СКАТЫВАЮЩИХ СИЛ								РАСЧЕТ КЗУ	РАСЧЕТ КЗУ						
	l_i , м	a_i , м	h_i , м	h_{wi} , м	α_i , град	P_i , т	$\sin\alpha_i$	T_i , т	$\cos\alpha_i$	N_i , т	$F_{сц}$, т	D_i , т/м ³	$F_{сд}$, т	η_p , т	η_p , т						
13	107,38	36,49	42,17		73	4277,82	0,9563	4090,9	0,2924	1250,7	2813,36	0	0	1,388643337	1,388643337						
14	82,18	36,49	67,88		64	6885,9	0,8988	6189	0,4384	3018,6	2153,12	0	0								
15	67,03	36,49	114,74		57	11639,5	0,8387	9761,7	0,5446	6339,3	1756,19	0	0								
16	59,78	36,49	105,52		52	10704,2	0,788	8435	0,6157	6590,2	1566,24	0	0								
17	53,21	36,49	85,19		47	8641,86	0,7314	6320,3	0,682	5893,7	1394,1	0	0								
18	48,43	36,49	89,75		41	9104,44	0,6561	5973	0,7547	6871,2	1268,87	0	0								
19	46,53	36,49	90,23		38	9153,13	0,6157	5635,2	0,788	7212,8	1219,09	0	0								
20	43,58	36,49	53,48		33	5425,13	0,5446	2954,7	0,8387	4549,9	1141,8	0	0								
21	42,06	36,49	50,86		30	5159,35	0,5	2579,7	0,866	4468,1	1101,97	0	0								
22	40,2	36,49	32,08		25	3254,27	0,4226	1375,3	0,9063	2949,4	1053,24	0	0								
23	Σ							53315		49144	15468		0								

