

ГЛАВА 13

УСТОЙЧИВОСТЬ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ

13.1. Основные положения методов расчета устойчивых откосов и бортов карьеров

13.2. Методы расчета откосов, основанные на гипотезе плоской поверхности сдвига

13.3. Методы расчета откосов, основанные на гипотезе криволинейной поверхности сдвига

13.4. Численные модели при оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов

УСТОЙЧИВОСТЬ УСТУПОВ И БОРТОВ КАРЬЕРОВ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом особое значение приобретает проблема устойчивости породных откосов – уступов и бортов карьеров. Положение откоса характеризуется углом наклона его поверхности к горизонтальной плоскости. Если в проекте строительства карьера заложены завышенные значения углов наклона откосов, это может привести к нарушению их устойчивости и вызвать внезапные разрушения уступов или бортов карьеров. При заниженных же значениях углов наклона породных откосов и большой глубине карьера возникает проблема экономической целесообразности разработки месторождения открытым способом. Так, например, на карьерах глубиной до 300 м уменьшение результирующего угла наклона борта на $3-4^{\circ}$ приводит к увеличению объема вскрыши до 10–11 млн. м³ на 1 км фронта работ [210].

Основная задача геомеханики применительно к устойчивости уступов и бортов карьеров состоит в определении таких их параметров, при которых обеспечивается безопасность горных пород и достигается высокая экономичность производства. Методы и средства исследований остаются теми же, что и при изучении устойчивости подземных выработок.

13.1. Основные положения методов расчета устойчивых откосов и бортов карьеров

Напряжения в грунтовом массиве, из которого формируется откос, определяются собственным весом пород и дополнительной пригрузкой от веса машин, строений и других объектов, расположенных на борту откоса. При увеличении крутизны откоса происходит рост тангенциальных (сдвигающих) напряжений и при достижении ими величин, превышающих предел сопротивления пород сдвигу, равновесие откоса теряется и происходит его деформирование (оползание) по некоторой поверхности сдвижения. Основные виды деформаций породных откосов показаны на рис. 13.1, а подробная их характеристика приведена в табл. 13.1.

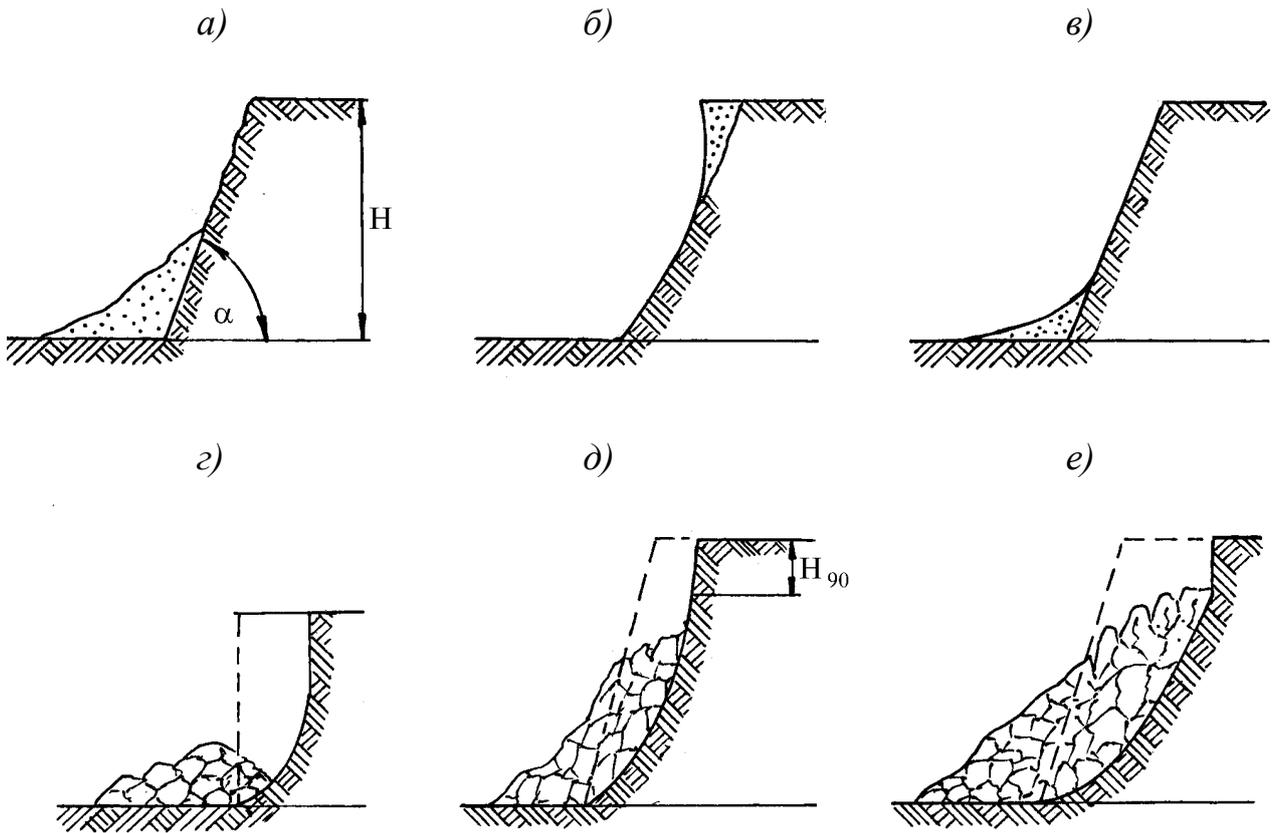


Рис. 13.1. Виды деформаций породных откосов (по А.Г. Шапарю):
 а) осыпи, б) обрушение «kozyрьков», в) оплывины, г) обрушение невысоких уступов ($H \leq H_{90}$), д) обрушение высоких уступов ($H > H_{90}$), е) оползни

Грунты, свойства которых кроме угла внутреннего трения определяется еще и сцепление, допускают возможность существования вертикального откоса. Наибольшая высота такого откоса может быть определена из условия предельного равновесия при прямолинейной огибающей кругов напряжений Мора по формуле В.В. Соколовского – И.А. Симвулиди [189]

$$H_{90} = \frac{2c}{\gamma} \operatorname{ctg}\left(\frac{90^\circ - \rho}{2}\right), \quad (13.1)$$

где C и ρ сцепление и угол внутреннего трения пород откоса, γ – объемный вес.

Таблица 13.1.

**Классификация видов нарушения устойчивости уступов
на карьерах по технологическим причинам**

<i>Вид нарушения устойчивости уступов</i>	<i>Характерные признаки</i>	<i>Сигналы начала деформации</i>	<i>Условия проявления</i>	<i>Технологические причины</i>
Осыпи	<p>1. Отрыв отдельных частей и кусков от поверхности откоса и скатывание к подошве уступа.</p> <p>2. Осыпавшаяся порода имеет откос, равный углу естественного откоса.</p> <p>3. Относительно небольшой объем пород уступа, подвергающихся осыпи.</p>	Расчленение поверхности откоса мелкими трещинами	<p>1. Угол откоса уступа больше угла естественного откоса разрыхленных пород.</p> <p>2. Длительное стояние уступа</p>	Длительное необновление уступа
Обрушение «козырьков»	<p>1. Обрушение нависающего блока пород под углом, близким к углу откоса уступа.</p> <p>2. Небольшой объем обрушающихся пород.</p> <p>3. Мгновенное обрушение.</p>	Появление трещин в кровле уступа на близком расстоянии от бровки	<p>1. В зимнее время при оттепелях.</p> <p>2. При насыщении водой в период дождей.</p> <p>3. Сейсмическое воздействие взрывных работ.</p>	Разработка уступов экскаваторами типа механической лопаты.

<i>Вид нарушения устойчивости уступов</i>	<i>Характерные признаки</i>	<i>Сигналы начала деформации</i>	<i>Условия проявления</i>	<i>Технологические причины</i>
Опывины	<ol style="list-style-type: none"> 1. Порода в результате деформации близка по составу к плывуну и располагается под весьма малым углом откоса. 2. Значительный объем и большая площадь распространения. 3. Длительное время деформации. 	Вынос грунтовыми водами частиц породы с поверхности откоса.	Наличие грунтовых вод.	Неэффективность работ по осушению.
<p>Обрушение</p> <p>а) обрушение уступов высотой $\leq H_{90}$</p> <p>б) обрушение уступов высотой $> H_{90}$</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вертикальная линия отрыва. 2. Хорошее и равномерное рыхление. 3. Сравнительно небольшой объем обрушающихся блоков. 4. Мгновенная скорость деформации. 	Появление вертикальных трещин в кровле уступа с последующим быстрым развитием вглубь массива.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Скопление атмосферных вод на кровле уступа. 2. Статические и динамические нагрузки на уступ. 3. Сейсмическое действие взрывных работ. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Плохая планировка кровли уступа. 2. Нагрузка уступа горно-транспортным оборудованием или отвалами. 3. Ведение взрывных работ на близком расстоянии.

<i>Вид нарушения устойчивости уступов</i>	<i>Характерные признаки</i>	<i>Сигналы начала деформации</i>	<i>Условия проявления</i>	<i>Технологические причины</i>
	<p>1. Близкая к плоской ломаная поверхность сдвигения: вертикальная в верхней и наклонная в остальной части.</p> <p>2. Значительное и сравнительно равномерное рыхление пород.</p> <p>3. Обрушение значительных объемов пород уступа на большом протяжении по фронту.</p> <p>4. Мгновенная скорость деформации</p>	<p>Появление вертикальных трещин в кровле уступа на значительных расстояниях от верхней бровки с быстрым переходом от местных деформаций к обрушению массива</p>	<p>1. Скопление атмосферных вод на кровле уступа.</p> <p>2. Наличие грунтовых вод.</p> <p>3. Наличие в подошве уступа слабых контактов пород.</p> <p>4. Динамические нагрузки на уступ.</p> <p>5. Сейсмическое действие взрывных работ</p>	<p>1. Неэффективность или отсутствие мероприятий по отводу грунтовых вод и осушению.</p> <p>2. Пригрузка уступа в пределах призмы обрушения горно-транспортным оборудованием.</p> <p>3. Отсутствие работ по предотвращению обрушений вышележащих уступов.</p> <p>4. Разработка уступов с коэффициентом запаса их устойчивости, близким к единице.</p> <p>5. Ведение взрывных работ на близком расстоянии.</p>
Оползни	<p>1. Ломанная криволинейная поверхность скольжения.</p> <p>2. Неравномерное рых-</p>	<p>1. Появление в кровле уступа вертикальных трещин и медленное их раскрытие</p>	<p>1. Скопление атмосферных вод на кровле уступа.</p> <p>2. Наличие водоносных горизонтов в</p>	<p>1. Неэффективность или отсутствие мероприятий по отводу атмосферных вод и осуше-</p>

<i>Вид нарушения устойчивости уступов</i>	<i>Характерные признаки</i>	<i>Сигналы начала деформации</i>	<i>Условия проявления</i>	<i>Технологические причины</i>
	<p>ление с преобладанием крупных неразрушенных блоков.</p> <p>3. Вовлечение в сдвигение как небольших, так и огромных объемов породы на большом протяжении по фронту уступа.</p> <p>4. Оползший массив имеет ступенчатую форму развала.</p> <p>Неравномерная и длительная скорость деформации.</p>	<p>вглубь массива.</p> <p>2. Постепенное проседание отколовшейся части уступа.</p> <p>3. Выдавливание пластичных пород в подошве уступа.</p> <p>4. Вынос грунтовыми водами песчаных фракций в подошве уступа</p>	<p>толще пород уступа.</p> <p>3. Переувлажнение ранее осыпавшихся или обрушившихся пород в подошве уступа.</p> <p>4. Статические и динамические нагрузки.</p> <p>5. Наличие слабых контактов.</p> <p>6. Залегание в подошве уступа пластичных глин.</p> <p>7. Сейсмическое действие взрывных работ</p>	<p>нию.</p> <p>2. Нагрузка уступа горно-транспортным оборудованием или отвалами.</p> <p>3. Отсутствие работ по очистке площадок от осыпающихся или обрушающейся породы.</p> <p>4. Ведение работ без учета направления напластований и подрезка слабых контактов.</p> <p>6. Ведение взрываемых работ на близком расстоянии.</p>

Для сохранения устойчивости откоса при увеличении высоты уступа уменьшают угол наклона откоса. В природных условиях на высоту и угол заложения откоса влияют прочность пород, степень их трещиноватости и слоистости, положение плоскостей трещин и слоистости, положение плоскостей трещин и напластований по отношению к откосу, режим грунтовых вод, технологические факторы и т.п.

Поэтому для оценки степени устойчивости уже существующих откосов, а также расчета углов заложения, намечаемых в проектах, необходимо выполнить определенный объем инженерно-геологических изысканий. Несмотря на сложный и неоднородный характер породной среды и известную погрешность при получении рас-

четных данных, представляется возможным рассчитать элементы откоса с минимальными погрешностями.

13.2. Методы расчета откосов, основанные на гипотезе плоской поверхности сдвижения

П.М. Цимбаревичу [112] принадлежит одно из первых решений задачи по определению предельной высоты наклонного уступа. Расчетная схема приведена на рис. 13.2.

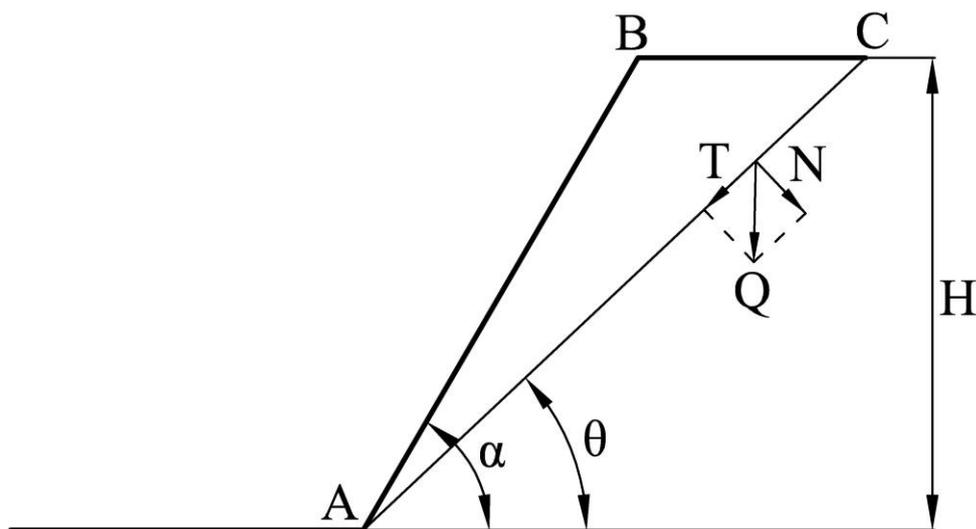


Рис. 13.2. Схема к расчету устойчивой высоты уступа по П.М. Цимбаревичу

Предполагается, что однородный массив имеет сопротивление пород разрыву, равное нулю. Сдвигение блока ABC шириной, равной единице происходит по плоскости, AC – след этой плоскости. Сдвигающей является проекция силы веса T призмы ABC на линию AC, удерживающими - силы сцепления C и трения $Ntg\rho$ вдоль линии AC.

В общем виде условие равновесия пород по поверхности сдвижения AC имеет вид

$$Q \sin \theta = Q \operatorname{tg} \rho \cos \theta + Cl, \quad (13.2)$$

где l – длина линии скольжения AC, θ – угол наклона поверхности скольжения.

Определим величины, входящие в уравнение (13.2):

$$Q = \frac{1}{2} \gamma H^2 (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha), \quad (13.3)$$

$$l = \frac{H}{\sin \theta}, \quad (13.4)$$

где α – угол наклона откоса поверхности.

Подставляя в уравнение (13.2) значение входящих в него величин (13.3) и (13.4), получим

$$\frac{1}{2} \gamma H (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha) (\sin \theta - \cos \theta \operatorname{tg} \rho) = \frac{C}{\sin \theta}. \quad (13.5)$$

Выполним следующее преобразование:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha &= \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \alpha \times \sin \theta}; \\ \sin \theta - \cos \theta \operatorname{tg} \rho &= \cos \theta \frac{\sin(\theta - \rho)}{\cos \theta \times \cos \rho}. \end{aligned}$$

С учетом этих зависимостей приходим к уравнению равновесия:

$$\frac{1}{2} \gamma H \frac{\sin(\alpha - \theta)}{\sin \alpha \times \sin \theta} \times \frac{\sin(\theta - \rho)}{\cos \rho} = \frac{C}{\sin \theta}. \quad (13.6)$$

Решая уравнение (13.6) относительно H , получим

$$H = \frac{2C}{\gamma} \times \frac{\sin \alpha \cos \rho}{\sin^2(\alpha - \rho)}. \quad (13.7)$$

Для вертикального откоса, когда $\alpha = 90^\circ$, имеем

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \times \frac{\cos \rho}{\sin^2 \left(\frac{90^\circ - \rho}{2} \right)}. \quad (13.8)$$

Зависимости (13.1) и (13.8), полученные на основе отличающихся расчетных схем, похожи по структуре. Однако значения величины H_{90} , определенные по формуле (13.8), примерно вдвое превышает те же значения, определенные по формуле (13.1). Следует отметить, что в практических расчетах используют обычно зависимость В.В.Соколовского-И.А.Симвулиди, поскольку из всех известных соотношений она дает наименьшее значение высоты вертикального обнажения.

Расчетная схема, приведенная на рис. 13.2, является самой простой. Известны более сложные задачи и соответствующие им аналитические решения, учитывающие способность пород откоса сопротивляться разрыву, наличие над уступом вертикальной части H_{90} т.п. Подробно об этом можно читать в работах [180] и [211].

13.3. Методы расчета откосов, основанные на гипотезе криволинейной поверхности сдвижения

Методы расчета откосов, основанные на криволинейной поверхности сдвижения, можно подразделить на две группы. К первой отно-

сятся методы, в которых форма поверхности сдвижения определяется в ходе решения задачи. Это известные аналитические и графоаналитические решения Г.Л. Фисенко [211], Ю.И. Маслова [182], В.В. Соколовского [189] в уточненной редакции И.С. Мухина и А.И. Сраговича [183], Н.Н. Маслова [214], Фелениуса.

В методах второй группы криволинейная форма поверхности принимается заранее, а сам метод сводится к алгоритму построения этой поверхности. Одной из первых в этой области была работа К. Терцаги.

Объем породы, расположенный между поверхностью обнажения откоса и поверхностью возможного скольжения, называют **призмой возможного обрушения**. Сдвигающие силы на поверхности возможного скольжения обуславливаются, в основном, весом пород призмы обрушения.

Для оценки устойчивости откоса в массиве отыскивают наиболее слабую поверхность, где удерживающие силы $\sum F_i$ находятся по отношению к сдвигающим силам $\sum T_i$ в наиболее неблагоприятном отношении. Форма поверхности возможного скольжения зависит от множества факторов – механической прочности массива, трещиноватости, слоистости, обводненности и т.п.

Метод Ю.М. Соловьева [215] основан на принятии модели гипотетического грунта, особенностью которой является предположение о том, что в вертикальных плоскостях породного массива отсутствуют нормальные напряжения и, следовательно, между вертикальными блоками, на которые условно разбита призма возможного обрушения, отсутствуют силы трения. Задача сводится к определению экстремальной поверхности сдвижения, то есть такой поверхности, вдоль которой сопротивление сдвигу будет наименьшим. Расчетная схема приведена на рис. 13.3. Рассматривается условие равновесия точки m , лежащей на экстремальной поверхности сдвижения:

$$dT_i - dF_i = a, \quad (13.9)$$

где a – некоторая очень малая величина.

Определим входящие в уравнение (13.9) величины

$$\begin{aligned} dT_i &= \gamma Z_i \sin \theta dx, \\ dF_i &= \gamma Z_i \operatorname{tg} \rho \cos \theta dx + C \frac{dx}{\cos \theta}. \end{aligned} \quad (13.10)$$

С учетом (13.10) уравнение равновесия (13.9) примет вид

$$\gamma Z_i (\operatorname{tg} \rho \cos \theta - \sin \theta) dx + C \frac{dx}{\cos x} = a. \quad (13.11)$$

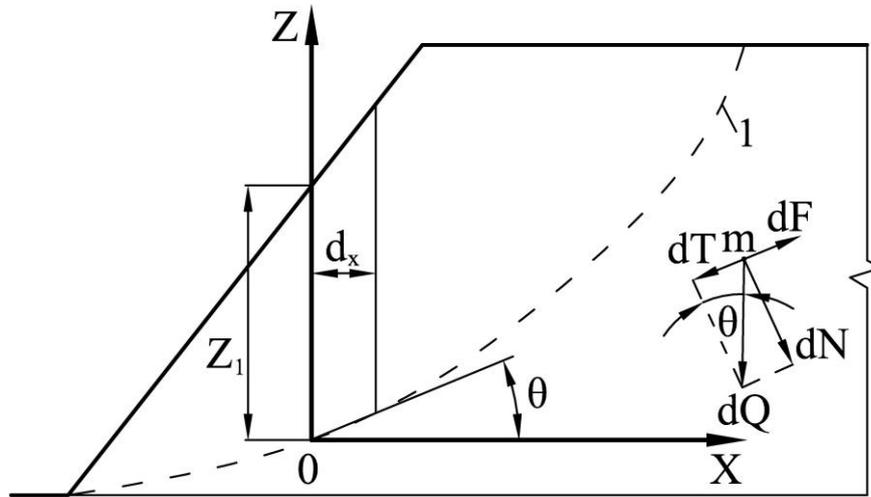


Рис. 13.3. Расчетная схема к определению положения экстремальной поверхности сдвижения (1)

Определим угол наклона поверхности сдвижения таким образом, чтобы величина a была минимальной ($a \rightarrow \min$). Для этого продифференцируем уравнение (13.11) один раз по переменной θ и приравняем полученное выражение нулю:

$$\frac{da}{d\theta} = -\gamma Z_i (\operatorname{tg} \rho \sin \theta + \cos \theta) dx + \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} dx = 0. \quad (13.12)$$

Из соотношения (13.12) получим уравнения экстремальной поверхности сдвижения

$$\frac{C}{\gamma Z_i} = (\operatorname{tg} \rho + \operatorname{ctg} \theta) \cos^2 \theta. \quad (13.13)$$

Для построения поверхности сдвижения этим методом, который часто называют методом отсеков, необходимо знать начальное значение Z_i и от точки к точке определить экстремальное положение поверхности сдвижения.

К. Терцаги впервые был предложен так называемый графоаналитический метод, суть которого состоит в предположении, что поверхность сдвижения является круглоцилиндрической.

Расчет производится методом приближения, состоящем в повторении расчетов для нескольких возможных поверхностей скольжения. Наиболее опасной (экстремальной) будет поверхность, для которой коэффициент устойчивости будет минимальным. Для обеспечения устойчивого положения откоса минимальный коэффициент устойчи-

восте должен быть не менее 1,5. Если он окажется меньшим, необходимо сделать откос более пологим и повторить расчеты.

Сущность метода состоит в следующем. На разрезе откоса, который вычерчивается в определенном масштабе, наносится ряд возможных цилиндрических поверхностей скольжения рис. 13.4а, каждая из которых обеспечивает определенный, пока неизвестный, коэффициент запаса прочности k_i . Длина возможных поверхностей скольжения вдоль фронта работ принимается равной единице. Каждая из очерченных призм скольжения разбивается на вертикальные отсеки одинаковой ширины b (рис. 13.4,б). Взаимодействие между отсеками отсутствует.

Вес каждого из отсеков Q_i раскладывается на составляющие

$$T_i = Q_i \sin \alpha \quad \text{и} \quad N_i = Q_i \cos \alpha.$$

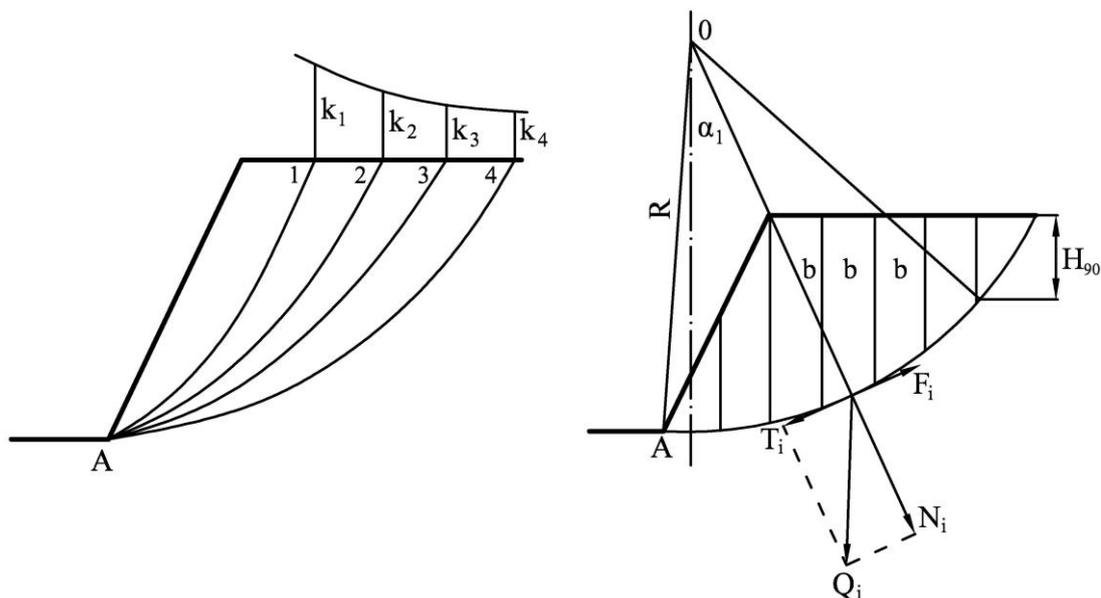


Рис. 13.4. Схемы к расчету устойчивости откосов по К. Терцаги

Для определения коэффициента устойчивости k_i откоса рассматривают соотношение моментов сил, действующих относительно точки O ,

$$k = \frac{M_y}{M_c},$$

где M_y – момент сил, удерживающих откос от сползания; M_c – момент сил, сдвигающих откос.

Момент сил, удерживающих откос, равен

$$M_y = C l R + \sum_i^n N_i \operatorname{tg} \rho R,$$

где C – сцепление, ρ – угол внутреннего трения, l – длина дуги, R – радиус поверхности скольжения.

Момент сил, сдвигающих откос, равен

$$M_c = \sum_i^n T_i R.$$

С учетом полученных соотношений получим формулу для определения коэффициента устойчивости откоса

$$k = \frac{Cl + \operatorname{tg} \rho \sum_i^n Q_i \cos \alpha_i}{\sum_i^n Q_i \sin \alpha_i} \quad (13.14)$$

Графоаналитический метод К. Терцаги дает удовлетворительные результаты для сравнительно однородных и неоднородных пород.

Исследования последних лет, выполненные на физических моделях и в натуральных условиях, показали, что реальная поверхность скольжения имеет сложную форму (рис. 13.5), которая может быть получена только в результате численного моделирования. При этом форма кривой существенно зависит от степени неоднородности и влажности пород массива.

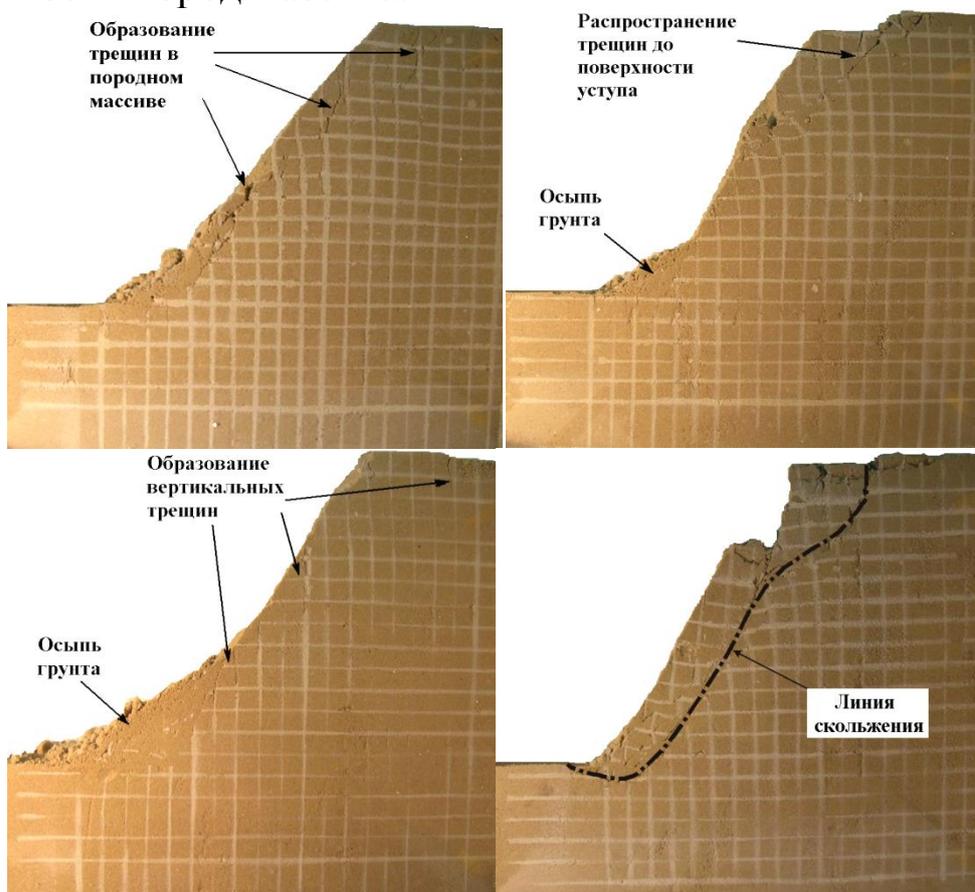


Рис. 13.5. Результаты моделирования призмы сдвижения на эквивалентных материалах

13.4. Численные модели при оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов

Оценка устойчивости бортов карьеров и отвалов на основе аналитических зависимостей, приведенных выше, возможна лишь в случае однородных пород, при постоянных физико-механических свойствах и отсутствии дополнительной пригрузки на рабочих площадках уступов. В том случае, если борта карьеров сложены слоистыми породами различной мощности, залегающими под углом к горизонтальной плоскости, в условиях воздействия атмосферных осадков, меняющих физико-механические свойства породного массива, при наличии дополнительной пригрузки от тяжелого горнотранспортного оборудования расчетные модели (схемы) существенно усложняются. Использование замкнутых аналитических зависимостей в этом случае становится некорректным. И тогда на помощь исследователям приходят численные (цифровые) модели, которые позволяют оценить напряженно-деформированное состояние бортов карьеров и отвалов различного геометрического очертания, сложенных породами с произвольной структурой и переменными физико-механическими свойствами.

Оценка устойчивости бортов карьера с использованием численных моделей приведена ниже на примере россыпного рутил-цирконильменитового Малышевского месторождения, которое разрабатывается Вольногорским горно-металлургическим комбинатом [216].

В настоящее время эксплуатация месторождения осуществляется карьером № 7 «Юг» и карьером № 7 «Север». Система разработки - комбинированная с внутренним отвалообразованием. Передовой уступ высотой $h=20\dots 22$ м отрабатывается вскрышными комплексами в составе роторных экскаваторов, перегружателей, отвалообразователей и конвейеров с укладкой породы во внутренний отвал. Нижележащие вскрышные уступы отрабатываются экскаваторами ЭКГ-8И с погрузкой в автосамосвалы БелАЗ-7548. На добычных горизонтах работают драглайны ЭШ-6/45 и ЭШ-10/50.

При обосновании геометрических параметров карьера большое значение имеют физико-механические характеристики вскрышных пород, которые обуславливают формирование допускаемых углов наклона откосов уступов. При заложении более крутых углов откосов

по сравнению с нормативными параметрами возникают оползневые процессы, что приводит к удорожанию горнотранспортных работ в связи с необходимостью уборки обрушенных пород вскрыши (рис. 13.6)



Рис. 13.6. Обрушения пород вскрыши на передовом уступе

Формирование более пологих уступов также увеличивает горно-капитальные затраты в связи с увеличением объемов вскрыши. Анализ показывает, что самой затратной частью в структуре себестоимости добычи руды (63 %), являются расходы на проведение горно-подготовительных (вскрышных) работ. В этих условиях с целью обеспечения ритмичной, согласованной и безопасной работы всех звеньев производства особое значение приобретают вопросы управления устойчивостью откосов и бортов карьеров путем перевода их в близкое к предельному устойчивое состояние, при котором обеспечивается экономичное и безопасное ведение горных работ.

Для численного моделирования использован программный продукт конечно-элементного анализа *Phase2* версии 7.0 канадской компании *Rock Siense*. Программа позволяет выполнять анализ устойчивости откосов, анализируя процесс снижения предела прочности на сдвиг (*Shear Strength Reduction Method*) в породном массиве. Функция снижения прочности на сдвиг (*Shear Strength Reduction*) в *Phase2* позволяет автоматически вычислять критический коэффициент снижения прочности *КСП* (*SRF, Strength Reduction Factor*). Если $КСП > 1$, то откос находится в устойчивом состоянии, при $КСП < 1$ возникает сдвигение пород откоса.

Алгоритм расчета коэффициента устойчивости массива включает итерационное вычисление прочностных характеристик во всех элементах массива посредством поэтапной нагрузки модели, в результате чего напряжения в откосе достигают предела прочности на сдвиг и возникает сдвигение пород (оползень). Процесс вычислений *КСП*

повторяется до момента потери откосом устойчивого состояния и графически выражается в виде наиболее вероятной линии скольжения, по которой происходит сдвигение массива.

На 1 этапе моделируется откос, сложенный однородными породами. Варьируя высоту уступа и угла наклона, определяют геометрические параметры, обеспечивающие безопасность технологических процессов при ведении открытых горных работ.

На 2 этапе моделирования при высоте уступа 20 м определяют коэффициенты запаса устойчивости (КЗУ) при различных углах наклона откоса и величине сцепления.

На 3 этапе моделирования выполняется оценка влияния угла внутреннего трения на устойчивость откоса при высоте уступа 20 м и постоянной величине сцепления, равной 0,040 МПа.

На рис. 13.7 представлены результаты численного моделирования устойчивости откоса, образованного в однородном породном массиве.

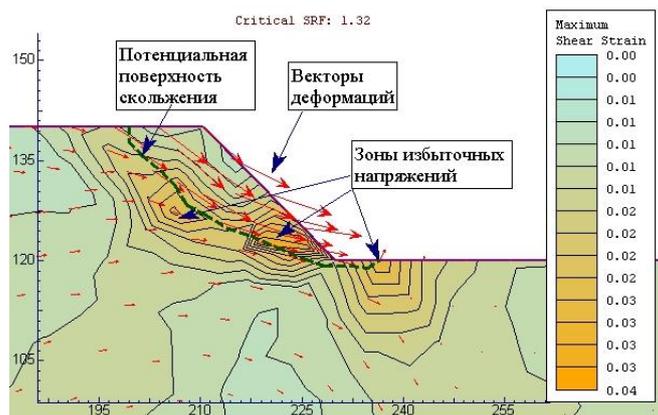


Рис. 13.7. Результат исследования численной модели однородного породного откоса

Отчётливо видна криволинейная поверхность скольжения. Векторы деформации указывают направление движения горной массы в процессе обрушения.

Решение плоской задачи устойчивости бортов карьеров, образованных в однородном массиве горных пород, дает общее представление об их устойчивости. В реальных же условиях массив вскрышных пород представлен несколькими литологическими разностями, имеющими различные физико-механические характеристики. структуру и влажность вмещающих пород.

На рис. 13.8 представлена конечноэлементная модель борта карьера с учетом слоистой геологической структуры, обводнённости и наличия тяжёлого оборудования.

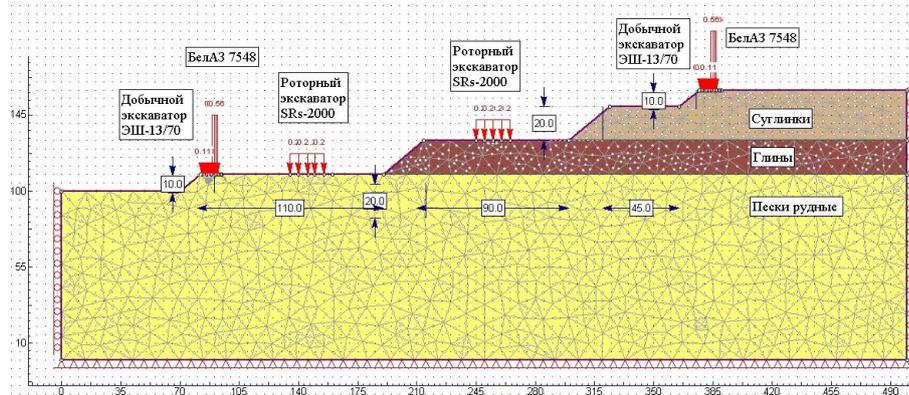
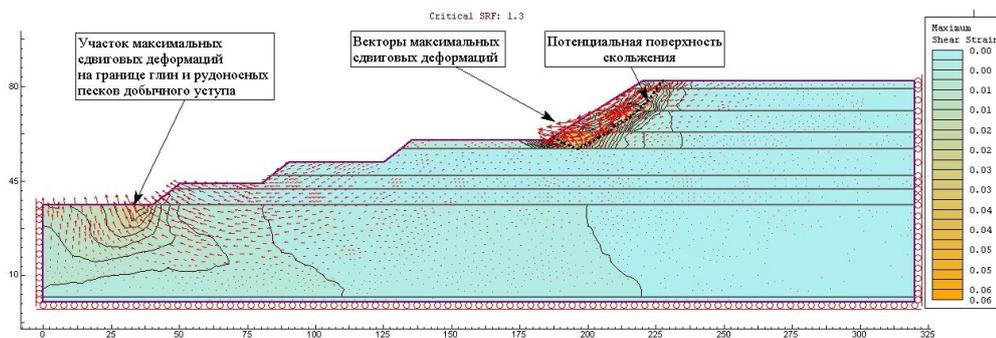


Рис. 13.8. Численная модель борта карьера с учетом комплексного действия факторов: слоистый массив, обводнённость и наличие горнотранспортного оборудования на уступе

На рис. 13.9, представлены результаты исследования численной модели с учетом комплексного действия таких факторов, как слоистый массив, его обводнённость и наличие горнотранспортного оборудования на уступе.

а)



б)

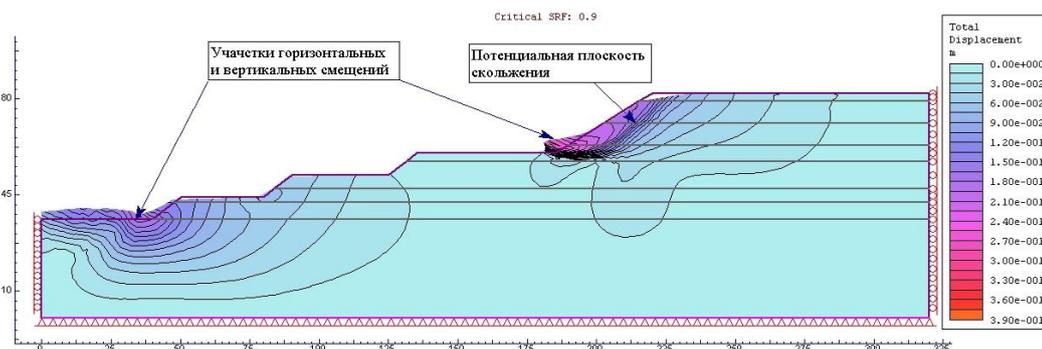


Рис. 13.9. Численная модель откоса в слоистом массиве:

а) $KЗУ=1,3$; б) $KЗУ=0,9$

Расчёты выполнены для горногеологических и горнотехнических условий карьера №7. Анализ модели показал, что для рассматриваемых условий влажность вмещающих пород является доминирующим фактором, влияющим на устойчивость откосов уступов.

Влияние гидрогеологического фактора оценивается на основе зависимостей угла внутреннего трения и сцепления от влажности суглинков, которые устанавливаются в результате лабораторных испытаний горных пород. Влажность суглинков снижает $KЗУ$ породного массива с 1,3 до 0,9, что может привести к обрушению передового вскрышного уступа (см.рис. 13.9).

Таким образом, применение метода конечных элементов с использованием программного пакета *Phase2* позволило комплексно проанализировать геомеханические процессы, происходящие в сложноструктурном откосе, установить закономерности нарушения его устойчивости и определить рациональные геометрические параметры.

Контрольные вопросы и задания

1. Что является основной задачей геомеханики при открытой разработке месторождений полезных ископаемых?
2. Назовите основные виды деформаций породных откосов.
3. Как определяется максимальная высота вертикального уступа?
4. От каких параметров зависит устойчивость породных откосов?
5. Последовательность расчета наклонного уступа по П.М. Цимбаревичу.
6. Что такое «призма возможного обрушения»?
7. На какие две группы делятся методы расчета откосов, основанные на гипотезе криволинейной поверхности скольжения?
8. От каких факторов зависит форма поверхности скольжения?
9. Что такое «метод откосов»?
10. В чем суть метода расчета откосов, предложенного К. Терцаги?
11. Что такое коэффициент запаса устойчивости при оценке напряженно-деформированного состояния грунтового уступа?

12. В чём достоинство численных методов моделирования напряжённо-деформированного состояния породных уступов?
13. От каких факторов зависит устойчивость бортов карьера?
14. Какой из природных факторов оказывает наибольшее влияние на устойчивость бортов карьеров?