

Министерство угольной промышленности СССР  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА  
ВНИМИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УГЛОВ НАКЛОНА  
БОРТОВ, ОТКОСОВ УСТУПОВ И ОТВАЛОВ  
СТРОЯЩИХСЯ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ  
КАРЬЕРОВ**

(Одобрено и рекомендовано к применению  
Госгортехнадзором СССР)

Ленинград  
1972

## А Н Н О Т А Ц И Я

В "Методических указаниях по определению оптимальных углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров" изложена методика определения углов наклона устойчивых бортов, откосов уступов и отвалов карьеров, которыми разрабатываются месторождения полезных ископаемых, сложенные рыхлыми, средней прочности и крепкими породами.

"Методические указания . . ." являются дополнением к "Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости" и предназначены для организаций, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией карьеров.

## В В Е Д Е Н И Е

Непрерывное увеличение удельного веса разработки полезных ископаемых открытым способом, увеличение глубины карьеров и сроков службы их бортов вызывают необходимость в совершенствовании методов решения вопросов устойчивости бортов карьеров.

Отсутствие обоснованной методики определения углов наклона бортов и откосов отвалов создавало большие трудности при решении вопросов их устойчивости на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации карьеров. Использование необоснованных методов расчета приводило к грубым ошибкам в определении параметров бортов и влекло за собой дополнительные затраты средств на вскрышные работы или на ликвидацию последствий оползней.

В "Методических указаниях по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров" изложена методика определения углов наклона устойчивых бортов, откосов уступов и отвалов карьеров, которая позволяет упорядочить решение вопросов устойчивости бортов карьеров, откосов уступов и отвалов.

Для выполнения требований "Единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом" (§§ 37, 51, 70, 80, 349) в "Методических указаниях" изложена также методика оценки устойчивости и определения ширины призмы возможного обрушения откосов, верхние площадки которых нагружены весом горного оборудования.

Основой для составления "Методических указаний" явилось изданное в 1962 году институтом ВНИМИ "Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов". В "Методические указания" включены дополнительно материалы исследований, выполненных лабораторией устойчивости бортов карьеров ВНИМИ в период с 1962 года по 1971 год, по усовершенствованию ранее разработанных схем расчетов устойчивости бортоврудных карьеров и угольных разрезов.

При составлении "Методических указаний" учтен также опыт исследований устойчивости бортов карьеров,

выполненных в последние годы институтами УкрНИИпроект, ВИОГЕМ, ИГД Минчермета СССР, ГИГХС, Унипромедь и др.

"Методические указания" как дополнение к "Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости" согласовано с Минуглепромом СССР, Минчерметом СССР, Минхимпромом, Минстройматериалов СССР и Госстроем СССР.

В период разведки месторождений полезных ископаемых исходные данные для расчета углов наклона бортов могут быть определены по методике, изложенной в "Методическом пособии по изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, подлежащих разработке открытым способом" /25/, а в стадии проект второй очереди или "проект реконструкции" - в соответствии с "Инструкцией по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости" /11/.

В составлении "Методических указаний" принимали участие профессор доктор технических наук Г.Л.Финенко, кандидаты технических наук: В.Т.Саложников, А.М.Мочалов, В.И.Пушкарев и Ю.С.Козлов.

# РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ, ОТКОСОВ УСТУПОВ И ОТВАЛОВ

## 1. Общие положения

1.1. "Методические указания" предназначены для организаций, осуществляющих проектирование, строительство и эксплуатацию карьеров, при определении ими углов наклона бортов карьеров на всех стадиях проектирования, а также в период эксплуатации карьеров - для уточнения углов наклона бортов на отдельных их участках при выявлении дополнительных факторов, влияющих на устойчивость этих участков.

1.2. В "Методических указаниях" изложена только методика определения максимальных углов наклона устойчивых бортов, откосов уступов и отвалов карьеров; методика же наблюдений за деформациями откосов на карьерах и основные мероприятия по предотвращению опасных (неизбежно приводящих к обрушениям и оползням) деформаций откосов освещены в "Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости" /11/.

1.3. Значения углов наклона бортов карьеров определяются на основе расчета и уточняются по стадиям проектирования.

В технико-экономическом докладе (ТЭД) по данным предварительной разведки выявленные инженерно-геологические комплексы пород, слагающие отдельные участки бортов карьеров, разделяются на группы, в соответствии с которыми ориентировочно, с использованием табличных характеристик сопротивления сдвигу (приложение 3), определяются углы наклона бортов на каждом одиородном участке.

В проектном задании углы наклона бортов определяются путем расчета на основе данных детальной разведки, с привлечением табличных материалов о влиянии трещиноватости и поверхностей ослабления на устойчивость бортов карьеров.

В стадии рабочего проектирования расчеты параметров бортов карьеров выполняются с учетом специальных (дополнительных к результатам детальной разведки) инженерно-геологических изысканий, вопрос о необходимости проведения которых решается проектными организациями после анализа данных детальной разведки; на эти исследования составляются отдельные проектные задания, в которых отражается объем, программа и стоимость работ.

После вскрытия месторождения и детального изучения тектоники, трещиноватости, характеристик сопротивления сдвигу по поверхностям ослабления и проведения комплекса наблюдений, предусмотренных "Инструкцией по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости" /11/, производится корректировка углов наклона бортов.

При составлении проектов реконструкции или второй оче-реди отработки проектными организациями производится обобщение материалов изучения инженерно-геологических факторов и наблюдений за деформацией бортов, полученных геологом-маркшейдерской службой при первой очереди отработки карьеров (а при повторной реконструкции используются данные за предшествующий период эксплуатации), и производится повторная корректировка углов наклона бортов и углов откосов уступов и отвалов.

1.4. Расчет углов наклона бортов производится по участкам с однородным геологическим строением. По каждому участку вкрест простирации борта строится детальный геологический разрез, на который налагаются все данные, определяющие параметры бортов карьера (см.п.2.4).

1.5. При расчете устойчивости кроме оценки общей устойчивости борта в целом необходимо производить расчеты устойчивости участков бортов неполной высоты (отдельных мощных слоев, группы уступов и т.п.) с учетом инженерно-геологических особенностей этих участков (наличие слабых контактов, неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления массива, слабых слоев и прослойков) и обеспечением необходимого коэффициента запаса их устойчивости.

## **2. Требования к исходным данным для расчета углов наклона бортов карьеров**

**2.1.** Устойчивость бортов карьеров определяется комплексом инженерно-геологических, гидрогеологических и технологических факторов, из которых наибольшее влияние на устойчивость бортов оказывают следующие: прочность; слоистость и трещиноватость горных пород, их склонность к выветриванию, набуханию и проявлению ползучести, а также тектонические нарушения и гидрогеологические условия – обводненность пород и положение уровня подземных вод в прибортовой части массива.

**2.2.** Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, и определение исходных данных для расчета углов наклона бортов и углов откосов уступов производятся в соответствии со стадиями разведки, строительства и эксплуатации месторождения:

а) в стадии предварительной и детальной разведки инженерно-геологические и гидрогеологические факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров, могут изучаться согласно рекомендациям, приведенным в "Методическом пособии по изучению инженерно-геологических условий месторождений, подлежащих разработке открытым способом" /25/, а также в методическом руководстве "Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых" /10/;

б) в период строительства и эксплуатации карьера инженерно-геологические условия уточняются путем изучения деформаций бортов карьера, детального изучения физико-механических свойств и выветриваемости горных пород, их трещиноватости, условий залегания слоев пород, тектонических нарушений и контактов слоев и пород, набухания песчано-глинистых пород и порового давления в отвальных массах; все эти особенности инженерно-геологических условий каждого карьера должны изучаться согласно требованиям "Инструкции по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости" /11/.

**2.3.** Все данные, полученные при детальном изучении инженерно-геологических условий, отражаются на погоризонтных структурных планах и детальных геологических разрезах, которые служат основными исходными материалами к расчету углов наклона бортов при составлении проектного задания, проекта реконструкции и проекта второй очереди отработки карьера.

**2.4.** На погоризонтные структурные планы наносятся:

- а) границы распространения всех литологических разновидностей пород;
- б) элементы залегания трещин, интенсивность трещиноватости каждой литологической разности по участкам, в пределах которых сохраняется характер трещиноватости;
- в) дисъюнктивные нарушения и тектонические трещины большого протяжения с указанием направления и угла их падения;
- г) характеристики сопротивления сдвигу ( $\rho$  и  $k$ ) – для мягких песчано-глинистых пород и прочность на сжатие ( $\delta_{сж}$ ) – для скальных и полускальных пород;
- д) характеристики сопротивления сдвигу по поверхности ослабления ( $\rho'$  и  $k'$ ) – по тектоническим трещинам, дисъюнктивным нарушениям, контактам слоев пород или сланцеватости;
- е) данные о выветриваемости каждой литологической разности пород.

Эти же данные наносятся на детальные геологические разрезы.

**2.5.** Погоризонтные структурные планы и детальные геологические разрезы составляются в границах, отстоящих от предельного контура карьера по дневной поверхности не менее чем на ширину призмы, ограниченной наиболее напряженной поверхностью. При горизонтальном залегании и пологом падении в сторону карьера слоев пород, слагающих борта карьера, границы структурных планов и геологических разрезов должны отстоять от предельного контура карьера на расстоянии не менее глубины карьера.

**2.6.** На погоризонтные структурные планы и детальные геологические разрезы, кроме данных детальной разведки, наносятся также данные детальной геологической съемки в карьере, лабораторных и натурных испытаний горных пород с экстраполяцией в допустимых пределах.

В случаях, когда в пределах призмы, ограниченной наиболее напряженной поверхностью в массиве, примыкающим к борту (в его предельном положении), данные о структуре пород, их трещиноватости и о залегании поверхностей ослабления, полученные путем экстраполяции, оказываются недостаточно достоверными, должны проходить дополнительные инженерно-геологические скважины или разведочные штолни, по которым производится тщательная документация всех контактов, смещений, трещин и литологии.

2.7. По каждому одиородному участку вкrest простирания борта строятся один или два детальных инженерно-геологических разреза.

На разрезе проводится положение поверхности борта и положение наиболее напряженной поверхности (см.п.3.2).

Затем выделяются слои или группы слоев пород, характеризующиеся показателями сопротивления сдвигу ( $\rho$  и  $k$ ) и трещиноватости.

Для слабых песчано-глинистых пород график зависимости  $\sigma = f(\sigma_n)$  имеет криволинейный вид, поэтому для определения их показателей сопротивления сдвигу  $\rho$  и  $k$  заменяют криволинейный участок графика между  $\sigma_{n \min}$  и  $\sigma_{n \max}$  х) отрезком прямой; значение сцепления, отсекаемое на оси ординат при продолжении этого отрезка, будет искомым сцеплением  $k$ , а угол наклона этого отрезка — искомым углом  $\rho$ .

2.8. Величины  $k_{cr}$  и  $\rho_{cr}$  по наиболее напряженной поверхности, не совпадающей с поверхностями ослабления массива, определяются как средневзвешенные:

х) Минимальная величина  $\sigma_n$  соответствует точке пересечения графика  $\sigma = f(\sigma_n)$  с лучом, выходящим из начала осей координат  $\sigma, \sigma_n$  под углом  $80^\circ$  к оси  $\sigma_n$ ; максимальная величина  $\sigma_n$  соответствует наибольшему нормальному напряжению на ориентировочно построенной наиболее напряженной поверхности, вычисленному по формуле  $\sigma_n = \gamma h_i \cos^2 \varphi_i$ .

$$k_{cp} = \frac{k_{M_1}s_1 + k_{M_2}s_2 + \dots + k_{M_n}s_n}{s_1 + s_2 + \dots + s_n}, \quad (1)$$

$$tg \rho_{cp} = \frac{tg \rho_1 \cdot \sigma_1 \cdot s_1 + tg \rho_2 \cdot \sigma_2 \cdot s_2 + \dots + tg \rho_n \cdot \sigma_n \cdot s_n}{\sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot s_i} \quad (2),$$

- где  $k_{Mi}$  - сцепление пород отдельного слоя,  $\text{т}/\text{м}^2$ ;  
 $\rho_i$  - угол внутреннего трения пород отдельного слоя, град.;  
 $s_i$  - участки наиболее напряженной поверхности в пределах каждой разновидности пород, имеющей характеристики  $\rho_i$  и  $k_{Mi}$ ;  
 $\sigma_i$  - приближенные величины нормального напряжения в середине соответствующих участков наиболее напряженной поверхности.

Величины сцепления в массиве  $k_m$  для каждой литологической разности пород вычисляются по формуле:

$$k_m = \frac{k - k'}{1 + \alpha \ln H \cdot W} + k', \quad (3)$$

- где  $k$  - сцепление пород в монолите (образце),  $\text{т}/\text{м}^2$ ;  
 $W$  - средняя интенсивность трещиноватости соответствующего участка горного массива;  
 $\alpha$  - коэффициент, зависящий от прочности пород в образце и степени и характера трещиноватости (см.табл.1).

Для песчано-глинистых трещиноватых пород, имеющих сцепление в монолите меньше  $4 \text{ кг}/\text{см}^2$ , сцепление в массиве определяется натурными испытаниями больших призм непосредственно в откосе. Зависимость между сцеплением в массиве и сцеплением в образце имеет вид:  $k_m = \lambda k$ , где  $\lambda$  - коэффициент структурного ослабления массива. Для слабых песчано-глинистых пород  $\lambda$  изменяется от 0,3 до 0,8 (см.приложение 3).

Рекомендуемые величины коэффициента  $\alpha$  для различных пород (по результатам исследований ВНИМИ)

Таблица 1

Характеристика пород	Сцепление в монолите 2 кг/см	Коэффициент
Песчано-глинистые слабоуплотненные и слаботрещиноватые отложения; сильно выветрелые, полностью каолинизированные породы	4-9	0,5
Уплотненные песчано-глинистые отложения, в основном нормальносекущей трещиноватостью; сильно каолинизированные изверженные породы	50-80	2
Уплотненные песчано-глинистые отложения с развитой кососекущей трещиноватостью; каолинизированные изверженные породы	50-80	3
Крепкие слоистые породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	100-150 150-200	3 4
Крепкие породы, преимущественно нормальносекущей трещиноватости	200-300 более 300	6 7
Крепкие изверженные породы с развитой кососекущей трещиноватостью	более 200	10

2.9. Величины сцепления по поверхностям ослабления определяются путем матурных испытаний. Ориентировочные значения этих величин могут быть взяты из таблицы 2, составленной по результатам исследований ВНИМИ.

Таблица 2

Характеристика поверхностей ослабления массива	Характеристика толщи пород	Величина сцепления в т/м <sup>2</sup>
1	2	3
Поверхности сколь- жения по контактам слоев	Дислоцированная осадочная толща	2-5
Контакты слоев	Неуплотненная недислоцированная слаборассланцована- я осадочная толща	50% от сцепле- ния под углом к наслонению в массиве
Контакты слоев	Уплотненная слabo- рассланцованныя осадочная толща	10-18
Контакты слоев	Метаморфизован- ная осадочная толща	5-10
Сплошные керов- ные трещины и тектонические нарушения	Массивы извержен- ных и метаморфи- ческих пород	5-10

2.10. В средневзвешенные характеристики сопротивле-  
ния сдвигу, а также в характеристики сопротивления сдвигу  
по контактам слоев и по другим поверхностям ослабления  
вводится необходимый коэффициент запаса  $n$ , и опреде-  
ляются расчетные характеристики  $k_n$ ,  $k'_n$ ,  $\rho_n$  и  $\rho'_n$ :

$$k_n = \frac{k_{cp}}{n}; k'_n = \frac{k'}{n}; t_g \rho_n = \frac{t_g \rho_{cp}}{n}; t_g \rho'_n = \frac{t_g \rho'}{n}, \quad (4)$$

дальнейшие расчеты параметров откосов производятся по этим измененным характеристикам по условию предельного равновесия<sup>x</sup>).

2.11. Величина коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров, откосов уступов и отвалов устанавливается в зависимости от достоверности исходных механических характеристик, их изменяемости во времени (в том числе за счет ползучести), технологии разработки, отвалообразования и динамических воздействий, возникающих в процессе строительства и эксплуатации карьеров и отвалов.

При расчетах методом предельных состояний в явной форме учитываются только важнейшие факторы, от которых зависит переход в предельное состояние; менее значительные факторы учитываются совокупно так называемым коэффициентом условий работы<sup>xx</sup>).

а) Исходные характеристики прочности образцов горных пород в соответствии с "Методическим пособием по изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, подлежащих разработке открытым способом" /25/ должны определяться с погрешностью не более 7%; этой погрешности соответствует  $N_1=1,07$ .

б) У глинистых горных пород наибольшее снижение сопротивления сдвигу с течением времени происходит вследствие их ползучести и набухания, достигая  $20 \div 30\%$ . У скальных и полускальных пород наибольшие погрешности в определении сопротивления сдвигу массива получаются за счет его трещиноватости. Погрешности расчетов в зависимости от этого фактора достигают также  $20 \div 30\%$ , в связи с этим  $N_2 = 1,20 - 1,30$ .

в) Коэффициент запаса за счет: погрешности определения средней величины объемного веса, погрешности методов расчета, динамических нагрузок от взрыва больших

х) При определении коэффициента запаса устойчивости откосов как отношения суммы всех внутренних сил сопротивления сдвигу горных пород к сумме всех сдвигающих внешних сил формулы (4) справедливы не только при монотонной исходящей поверхности скольжения, но и при других формах поверхностей скольжения.

xx) Строительная механика в СССР 1917-1957 гг. Госстройиздат, 1957.

зарядов - учитываются совокупно коэффициентом  $\tau_{\text{з}} = 1,15 - 1,20$ .)

Общая величина коэффициента запаса устойчивости бортов и откосов уступов определяется как произведение частных коэффициентов:  $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$ .

Рекомендуемые величины коэффициента запаса:

Общая характеристика откоса (или борта)	Величина коэффиц. запаса в зависимости от срока службы откоса	
	до 5 лет	более 5 лет
Нерабочий борт, сложенный глинистыми или трещиноватыми породами	1,20	1,30
Нерабочий борт с преобладанием песчаных и гравелистых пород	1,15	1,20
Рабочий борт	1,20	-
Откосы рабочих уступов и отвалов	1,20	-
Откосы уступов нерабочего борта, сложенные глинистыми и трещиноватыми породами	1,50	2,00
Откосы уступов нерабочего борта, сложенные песчаными и гравелистыми породами	1,15	1,20

### 3. Определение параметров устойчивых бортов карьеров

3.1. Рекомендуемые методы определения параметров бортов, уступов и откосов отвалов основаны на теории предельного равновесия горных пород. Исходные положения, на которых построены методы расчета, следующие:

а) нарушение устойчивости борта (уступа или откоса отвала) происходит в виде обрушения или оползания слагающих борт пород по поверхности скольжения;

б) при отсутствии в откосе неблагоприятно расположенных поверхностей ослабления массива поверхность скольжения является монотонной, близкой по форме к круглоцилиндрической поверхности; на разрезе поверхность скольжения будет иметь вид плавной кривой, близкой по виду к дуге окружности;

х) В зависимости от конкретной природной и горнотехнической обстановки в обоснование коэффициента запаса могут приниматься и другие факторы, как например: за сейсмичность района, за степень консолидации гидроотвалов и т.д.

в) при наличии в откосе неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления поверхность скольжения полностью или частично совпадает с ними; в этих случаях на разрезе поверхность скольжения будет иметь вид прямой или ломаной линии (рис.1).

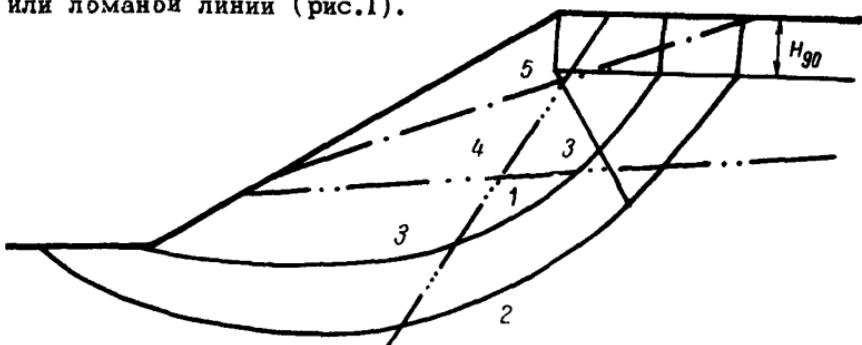


Рис.1. Различные положения поверхностей скольжения в прилегающем к откосу массиве, находящемся в предельном равновесии: 1,2- поверхности скольжения в неослабленном массиве; 3,4- поверхность скольжения проходит частично по поверхностям ослабления и частично по неослабленному массиву; 5- поверхность скольжения полностью проходит по поверхностям ослабления массива

3.2. Форма и расположение поверхности скольжения в неослабленном массиве, прилегающем к откосу, определяются основными положениями теории предельного равновесия сыпучей среды<sup>х)</sup>:

а) элементарные площадки скольжения в неоднородном массиве горных пород возникают лишь при напряжении  $\sigma_1$ , не менее  $\sigma_1 = \sigma_0 = 2k \operatorname{ctg} \varepsilon$ , (5)

где  $k$  - сцепление породы;  $\varepsilon = 45^\circ - \rho/2$ ;  $\rho$  - угол внутреннего трения породы;

в массиве однородного откоса площадки скольжения возникают с глубины  $H_{90} = \frac{\sigma_0}{T} = \frac{2k}{T} \operatorname{ctg} \varepsilon$ , (6)

где  $T$  - объемный вес пород;

б) к направлению наибольшего главного напряжения элементарные площадки скольжения располагаются под углом  $\varepsilon = 45^\circ - \rho/2$ ;

х) Теория предельного равновесия сыпучей среды включает также и предельное равновесие связной среды с трением; к такой среде относятся и горные породы.

в) в массиве горных пород вдали от откоса направление наибольшего главного напряжения совпадает с вертикалью; при приближении к поверхности откоса наибольшее главное напряжение отклоняется от вертикали в сторону откоса и на поверхности откоса совпадает с ним.

г) наклон отдельных участков поверхности скольжения призмы обрушения в однородном массиве плавно изменяется от направления под углом  $\delta$  к вертикали в верхней части поверхности скольжения до направления под углом  $\varepsilon$  к поверхности откоса или к его подошве в нижней части поверхности скольжения (рис.3,4).

Поверхность скольжения в однородном массиве, примыкающем к откосу, на чертеже строится следующим образом:

а) по формуле:

$$AB = a_v = \frac{2H \left[ 1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \rho}{2} \right) \right] - 2H_{90}}{\operatorname{ctg} \varepsilon + \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha + \rho}{2} \right)}, \quad (7)$$

где  $H$  – высота откоса,  $\alpha$  – угол откоса, или по графику х) зависимости между высотой откоса и шириной призмы обрушения (рис.2) определяют ширину призмы обрушения  $a_v$  на верхней площадке откоса;

х) График зависимости между высотой откоса и шириной призмы обрушения построен в прямоугольных координатах: по оси абсцисс отложена условная величина ширины призмы обрушения  $a' = \frac{a}{H_{90}}$ , а по оси ординат условная высота откоса  $H' = H/H_{90}$ . Графиком пользуются следующим образом. По заданным физико-механическим характеристикам определяют  $H_{90}$  и условную высоту как отношение  $H = \frac{H}{H_{90}}$ , далее определяют точку пересечения ординаты, равной  $H'$ , на графике с кривой, соответствующей заданному  $\rho$ , а на оси абсцисс находят условную ширину призмы обрушения  $a'$ ; действительная ширина призмы обрушения  $a_v$  определяется умножением  $a'$  на величину  $H_{90}$ .

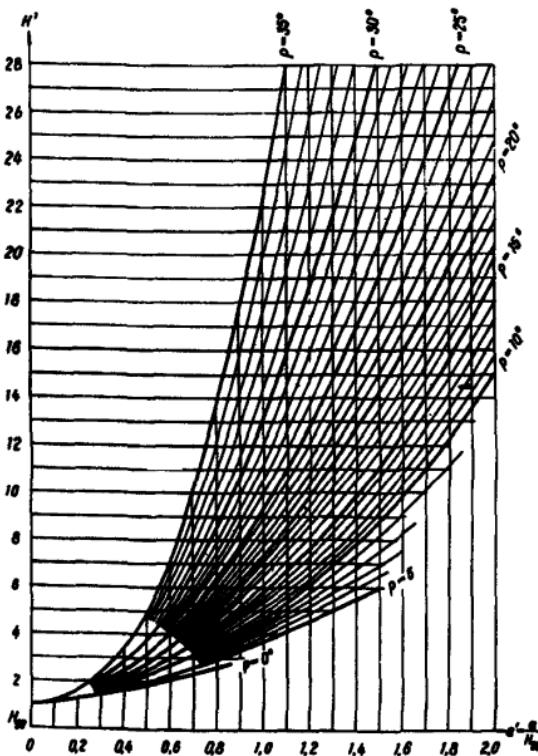


Рис.2. График зависимости между высотой откоса и шириной призмы обрушения

б) от верхней бровки А откоса, изображенного на чертеже в одном из принятых для маркшейдерской документации масштабе (рис.3), откладывают величину  $\alpha = AB -$  ширину призмы обрушения;

в) из точек А и В вертикально откладывают величину  $H_{90}$ , вычисленную по формуле (6), а из точек А' и В' проводят линии под углом  $45^\circ + \rho/2$  к горизонту; из полученной при пересечении этих линий точки С восстанавливается перпендикуляр к направлению ВС до взаим-

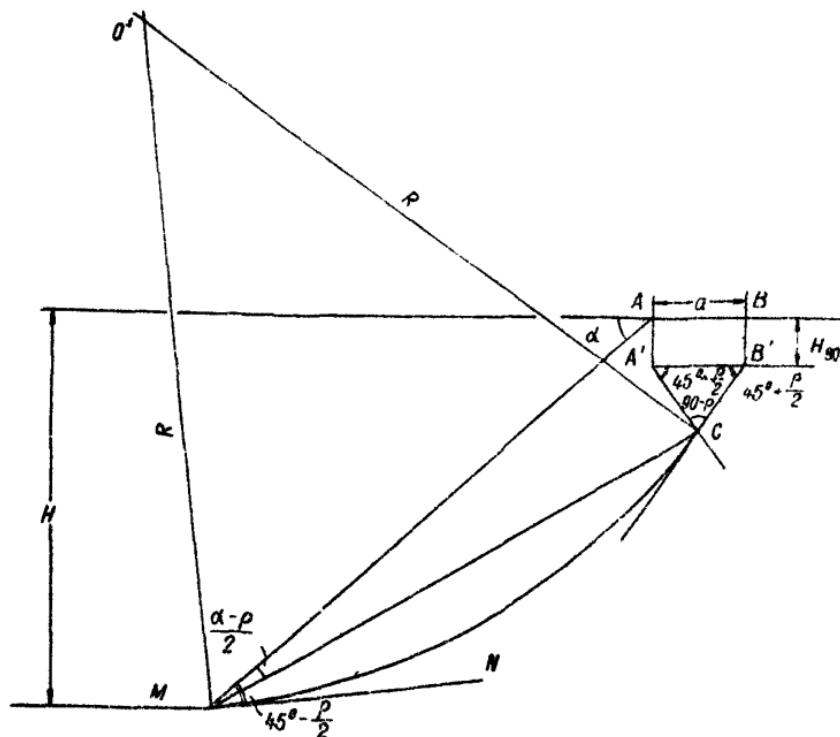


Рис.3. Построение поверхности скольжения в однородном массиве плоского откоса

ного пересечения в точке  $O'$  с перпендикуляром, восстановленным из точки  $M$  к направлению  $MN$ , составляющему с откосом угол  $\Sigma = 45^\circ - \rho/2$ ;

г) радиусом  $R = O'C = O'M$  проводят дугу окружности  $MC$  с центром в точке  $O'$ .

Линия  $B'C'M$  является искомой поверхностью скольжения на разрезе откоса.

Построение поверхности скольжения поясняется рисунком 3.

Таким способом определяется положение поверхности скольжения в откосе, находящемся в предельном равнове-

ции. В откосе с коэффициентом запаса устойчивости  $\eta$  (в откосе, находящемся в допредельном состоянии) наиболее напряженную поверхность отыскивают аналогичным образом по расчетным характеристикам  $k_{\eta}$ ,  $R_{\eta}$ .

Форма и расположение поверхности скольжения будут аналогичны и в неоднородном неослабленном массиве (в массиве слоистых пород при наличии слабых контактов и других поверхностей ослабления массива, если они ориентированы так, что по ним не может проходить поверхность скольжения).

При углах внутреннего трения  $\rho < 13^{\circ}$  пород, залегающих в нижней части откоса, находящегося в предельном равновесии, или в его основании, и  $\alpha < (45^{\circ} - \rho/2)$  поверхность скольжения выходит в подошву откоса, пересекая ее также под углом  $\epsilon = 45^{\circ} - \rho/2$  (рис.4); в верх-

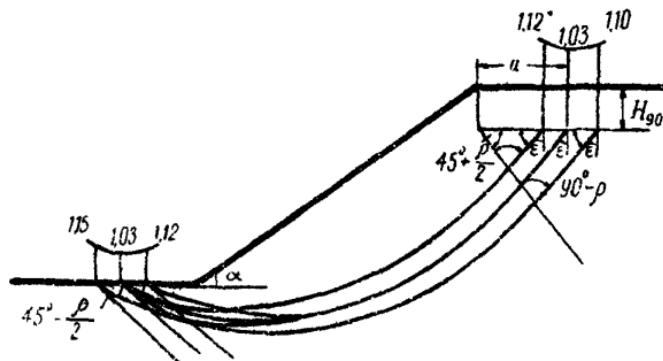


Рис.4. Положение расчетных поверхностей в откосе слабых пород ( $\rho < 13^{\circ}$ ,  $\alpha < \epsilon$ )

ней части она начинается на глубине  $H_{90}$  и наклонена к вертикали под углом  $\epsilon$ . Исследованиями установлено, что поверхность скольжения призмы обрушения для этих условий является плавной криволинейной, по форме близкой к круглогидротической. Местоположение же наиболее напряженной поверхности в массиве пород, прилегающем к

откосу, совпадает с местоположением расчетной поверхности с минимальным коэффициентом запаса устойчивости (на рисунке 4 коэффициент запаса устойчивости откоса по наиболее напряженной поверхности равен 1,03). Эту поверхность находят на основе расчетов устойчивости, поясняемых далее (п.п. 3.9, 3.10).

3.3. В массивах пород, прилегающих к откосам и содержащих природные поверхности ослабления (дизъюнктивные нарушения, тектонические трещины большого протяжения, слабые контакты слоев и др.), которые частично или полностью могут представлять собой поверхность скольжения, форму и местоположение поверхности скольжения призмы обрушения откоса, находящегося в предельном равновесии, определяют на основе расчетов устойчивости по различным схемам (см.рис.5); при построении поверхностей скольжения призмы обрушения в ослабленных массивах пород также должны соблюдаться основные положения теории предельного равновесия супучей среды.

В отдельных случаях параметры откосов (угол откоса  $\alpha$  и его высота  $H$ ) в ослабленных и неослабленных массивах пород могут быть вычислены по приведенным ниже аналитическим зависимостям.

3.4. Схемы расчета устойчивости протяженных прямолинейных участков бортов карьеров, откосов уступов и отвалов для различных геологических условий изображены на рис.5.\*

3.5. По схеме 1 производится определение максимальной высоты неослабленного вертикального откоса  $H_b$ :

$$H_b = H_{90} \left(1 + \sqrt{\frac{\sigma_{pp}}{k_n} \operatorname{tg} \omega_n}\right), \quad (8)$$

где  $H_{90} = \frac{2 k_n}{\gamma} \operatorname{tg} \omega_n$  — глубина трещины отрыва, м;

$$\omega_n = 45^\circ + \frac{\rho_n}{2};$$

$k_n$  — расчетная величина сцепления пород,  $\text{т}/\text{м}^2$ ;

$\gamma$  — объемный вес пород в массиве,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$\rho_n$  — расчетная величина угла внутреннего трения горных пород, град:

x) Расчетная схема должна выбираться на основе тщательного анализа инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения, разрабатываемого карьером.

$\sigma_{\text{рн}}$  – расчетная величина удельного сопротивления отрыву горных пород,  $\text{т}/\text{м}^2$ .

Ширина призмы  $a$ , ограниченной наиболее напряженной поверхностью, на верхней площадке вертикального откоса определяется по формуле:

$$a = H_{90} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{рн}}}{k_n} \lg \varepsilon_n}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_n = 45^\circ - \frac{\rho_n}{2}$ .

3.6. Схема П применяется для определения высоты вертикального откоса  $H'_6$  при неблагоприятном залегании в массиве (падение в сторону выемки) поверхностей ослабления, если  $\beta > \rho'$ :

$$H'_6 = h'_n + \sqrt{\frac{2\sigma_{\text{рн}} \cdot h'_n}{\gamma} \cdot \lg \beta \cdot \lg (\beta - \rho'_n)}, \quad (10)$$

где  $h'_n = \frac{k' \cos \rho'}{\gamma \cos \beta \cdot \sin(\beta - \rho')}$

– глубина, при которой возникают площадки скольжения на контакте (глубина трещины отрыва), м;

$$h'_n = \frac{k'_n \cos \rho'_n}{\gamma \cos \beta \cdot \sin(\beta - \rho'_n)}, \quad \text{м};$$

$k'_n$  – сцепление пород по контактам,  $\text{т}/\text{м}^2$ ;

$\rho'$  – угол внутреннего трения по контактам пород, град.;

$\beta$  – угол падения слоев пород, град.;

$\sigma_{\text{рн}}$  – удельное сопротивление отрыву пород,  $\text{т}/\text{м}^2$ .

Схема применима при условии  $h'_n \leq H_{90}$  и  $H'_6 \leq H_6$ .

Отрыва по вертикальной трещине глубиною  $h'$  не произойдет, если сопротивление отрыву по этой трещине будет больше сопротивления сдвигу по поверхности ослабления в пределах призмы, примыкающей к поверхности (верхней площадке уступа) и контурной вертикальной трещиной отрыва и поверхностью ослабления; высота вертикального откоса, находящегося в предельном равновесии, в этом случае будет равна  $H'_6 = 2h'$ .

3.7. Схема III применяется для определения высоты уступов и отдельных участков бортов при падении поверхности ослабления в сторону выемки под углом более угла внутреннего трения ( $\beta > \rho'$ ) и заоткоска уступов а участков бортов под углами, большими углов падения поверхности ослабления ( $\alpha > \beta$ ).

Высота откоса  $H$  вычисляется по формуле:

$$H = \frac{2k_n^1}{\Gamma} \frac{\sin \alpha \cdot \cos \rho'}{\sin(\alpha - \beta) \cdot \sin(\beta - \rho')} . \quad (11)$$

При интенсивной трещиноватости пород, когда сопротивлением отрыву можно пренебречь, высота или угол откоса определяются по формулам:

$$H_1 = k_n^1 \frac{1}{1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta} ; \operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{ctg} \beta \left( 1 - \frac{k_n^1}{H_1} \right)^2 \quad (12)$$

При пологом залегании слоев, когда величина  $k_n^1$  получается большие  $H_{90}$ , расчет высоты откоса производится по схеме IX (см.п.3.15). Высота откоса, вычисленная по формуле 11, не должна превышать высоты откоса, установленной по схеме IY.

3.8. Схема IY применяется для определения параметров откосов ( $H$  и  $\alpha$ ) в тех случаях, когда падающие в сторону карьера (выемки) слои пород под углом  $\beta > \rho'$  ее подрезаются горными работами, а откосы застекшаются по слоистости ( $\alpha = \beta$ ).

Высота устойчивого откоса определяется по формуле

$$H = H_{90} \left( \frac{1}{1 + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \psi_n^1} \right), \quad (13)$$

где  $\psi_n^1$  – угол сдвига по контакту слоев, град.;

$\psi_n^1 = \operatorname{arctg} \left( \operatorname{tg} \rho_n^1 + \frac{k_n^1}{\sigma_{cp}} \right)$ , где  $\sigma_{cp}$  – средняя интенсивность нормального напряжения по наиболее напряженному контакту.

Если известна высота откоса, то угол падения слоев, при котором допустима застекска по наименению, определяется по формуле:

$$\operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{ctg} \phi'_{\text{н}} \left( 1 - \frac{H_{90}}{H} \right) \quad (14)$$

3.9. Схема У применяется в тех случаях, когда в борту карьера нет поверхностей ослабления, с которыми частично или полностью может сопасть поверхность скольжения в предельном равновесии борта.

Порядок определения параметров борта карьера (откоса уступа или отвала) с коэффициентом запаса устойчивости  $\eta$  по этой схеме следующий.

Сначала, пользуясь таблицей 7 (стр.51), определяют ориентировочное значение угла наклона борта (откоса уступа или отвала), а затем, если массив представлен слоистой толщой пород, определяют средневзвешенные значения прочностных характеристик массива  $R_{\text{ср}}$  и  $k_{\text{ср}}$  (см. формулу 1)

вдоль поверхности скольжения, построенной способом, изложенным в п.3.2, разделив средневзвешенные значения прочностных характеристик массива на принятый к расчету коэффициент запаса устойчивости, определяют расчетные значения прочностных характеристик  $R_{\text{n}}$  и  $k_{\text{n}}$ .

После этого по графику зависимости между высотой плоского откоса и его углом, изображенному на рис.6, определяют параметры сдrenированного борта.

Графиком пользуются в следующем порядке:

а) определяют величину  $H_{90}$  (по формуле 6);

б) при определении высоты борта по заданному углу на графике через точку на оси абсцисс, соответствующую значению заданного угла, проводят ординату до кривой, соответствующей расчетному углу внутреннего трения  $\phi_n$ ; на оси ординат определяют условную высоту откоса  $H'$ ; величину  $H'$  умножают на величину  $H_{90}$ , и получают высоту откоса (борта);

в) если задана высота борта, а необходимо определить его угол наклона, то сначала определяют величину  $H' = \frac{H}{H_{90}}$ , а затем по расчетному значению  $\phi_n$  на оси абсцисс на-

ходят угол откоса.

Пример определения угла наклона борта при заданной его высоте.

Исходные данные:

$$H = 300 \text{ м}, \rho_n = 28^\circ, k_n = 40 \text{ т/м}^2, \gamma = 2,5 \text{ т/м}^3.$$

Определение угла наклона борта производится в такой последовательности:

а) вычисляем величину  $H_{90}$  по расчетным характеристикам:

$$H_{90} = \frac{2k_n}{\gamma} \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right) = \frac{2 \cdot 40}{2,5} \operatorname{ctg} (45^\circ - 13^\circ) = \\ = 51,2 \text{ м};$$

б) вычисляем условную высоту борта  $H'$ :

$$H' = \frac{H}{H_{90}} = \frac{300}{51,2} = 5,9;$$

в) по графику (рис.6) определяем угол наклона борта, который в этом случае составляет  $48^\circ 30'$ .

В тех случаях, когда слагающие откос слои пород существенно отличаются по характеристикам сопротивления сдвигу, определенные по графику (рис.6) параметры откоса уточняются поверочными расчетами устойчивости по наиболее напряженной поверхности. Поверочные расчеты позволяют исключить погрешности, связанные с осреднением характеристик сопротивления сдвигу.

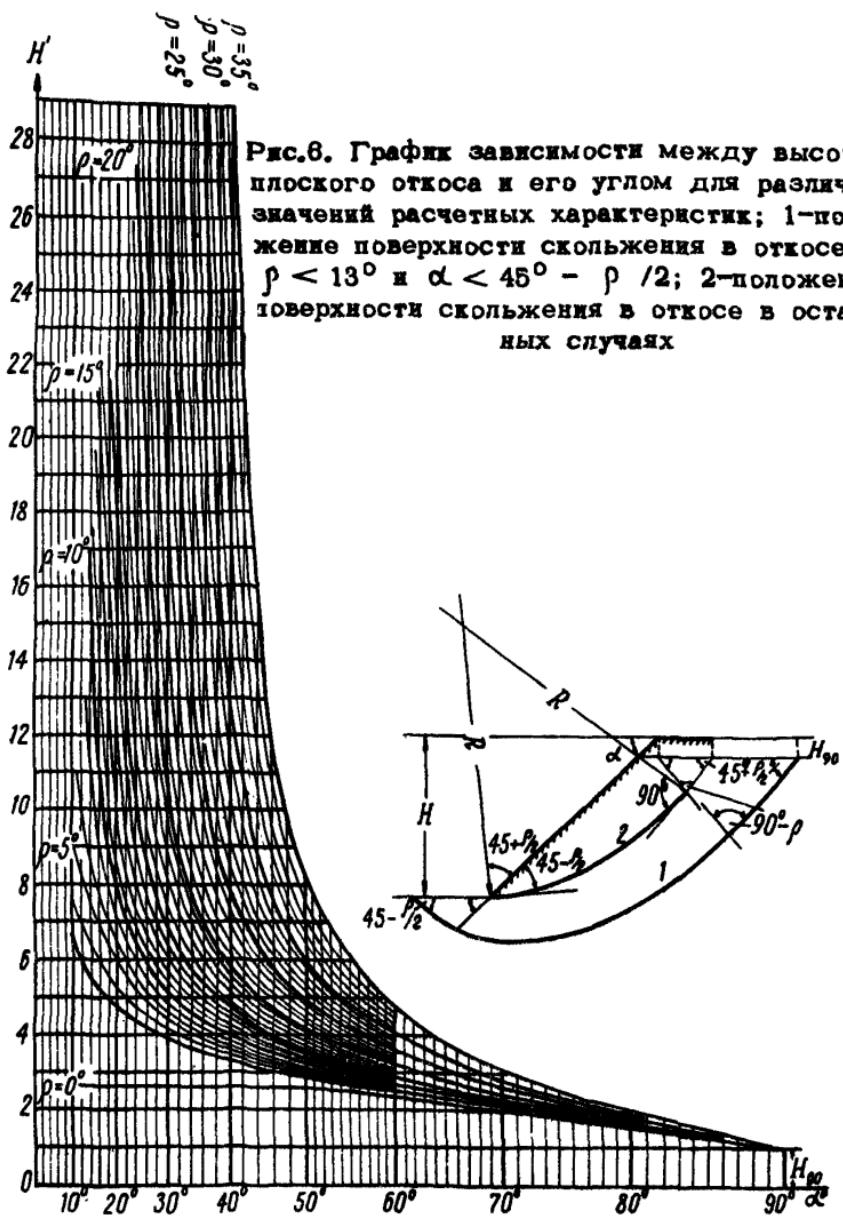
Поверочный расчет производится методом суммирования сил, действующих по наиболее напряженной поверхности с использованием конкретных значений характеристик прочности каждого отдельного слоя (без осреднения).

Условие предельного равновесия при алгебраическом сложении сил на наиболее напряженной поверхности записывается в следующем виде (рис.7):

$$\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cos \psi_i \cdot \operatorname{tg} \rho_n + \sum_{i=1}^n k_n l_i}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \psi_i} = \frac{\operatorname{tg} \rho_n \sum_{i=1}^n N_i + k_n L}{\sum_{i=1}^n T_i} = 1, \quad (15)$$

---

х) В литературе этот метод известен как метод "алгебраического сложения сил" /51/.



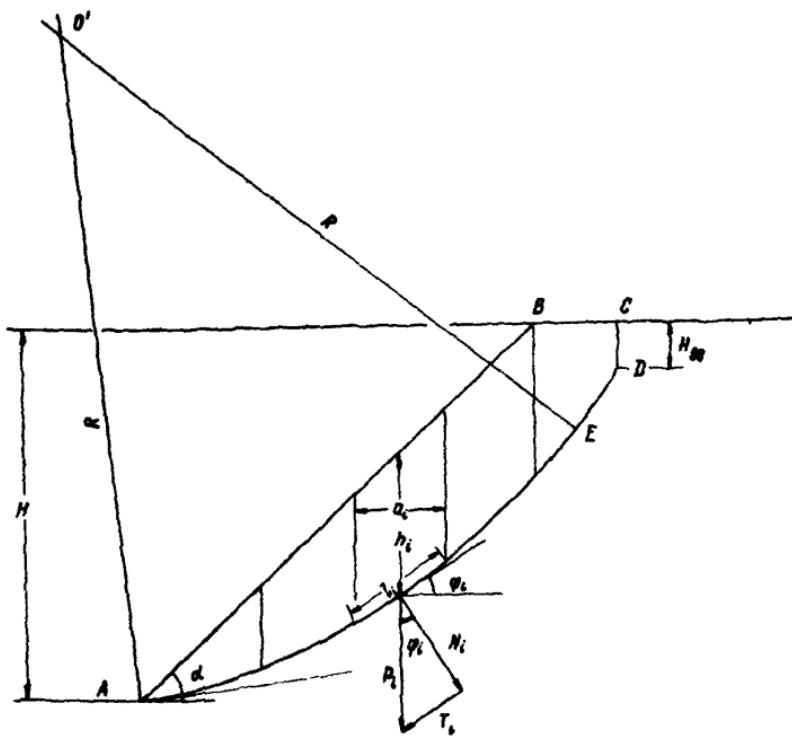


Рис.7. Схема к расчету устойчивости откоса методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности

где  $P_i$  - вес элементарных блоков, на которые разделяется призма в примыкающем к откосу массиве, ограниченная наиболее напряженной поверхностью,  $\tau_i$ ,

$$P_i = \gamma \cdot a_i \cdot h_i;$$

Таблица

Условная высота $H$	Заложение откоса $L'$						
	$\rho = 5^\circ$	$\rho = 10^\circ$	$\rho = 15^\circ$	$\rho = 20^\circ$	$\rho = 25^\circ$	$\rho = 30^\circ$	$\rho = 35^\circ$
1,5	0	0	0	0	0	0	0
2,0	0,27	0,50	0,46	0,40	0,35	0,33	0,27
2,5	1,17	2,20	1,05	0,93	0,84	0,75	0,64
3,0	2,17	2,02	1,79	1,55	1,35	1,22	1,05
3,5	3,0	4,17	2,52	2,95	2,55	2,25	1,92
4,0	3,73	5,50	4,50	3,75	3,20	2,77	2,41
4,5	11,75	7,10	5,57	4,50	3,89	3,35	2,90
5,0	15,0	8,75	6,70	5,40	4,60	3,96	3,40
5,5		12,00	9,16	7,40	6,07	5,18	4,43
6,0		15,90	11,73	9,20	7,60	6,45	5,50
6,5		19,50	14,43	11,25	9,15	7,77	6,60
7,0		21,0	17,20	13,30	10,80	9,15	7,72
7,5			20,05	15,40	12,45	10,55	8,90
8,0			23,00	17,55	14,20	11,90	10,07
8,5			25,90	19,80	15,95	13,27	11,25
9,0				22,10	17,70	14,67	12,44
9,5				24,20	19,50	16,10	13,63
10,0				26,60	21,35	17,52	14,84
10,5					23,20	18,95	16,04
11,0					25,00	20,40	17,25
11,5						21,85	18,46
12,0						23,35	19,65
12,5						24,80	20,85

$l_i$  - площадь основания элементарных блоков, м<sup>2</sup>;  
 $\varphi_i$  - угол наклона основания элементарных блоков, град.;  
 $\rho_n, k_n$  - характеристики сопротивления породы сдвигу, уменьшенные в  $n$  раз, где  $n$  - коэффициент запаса.

При расчете ширины призмы, примыкающей к откосу и ограниченной наиболее напряженной поверхностью, вдоль бровки откоса принимается равной 1 м.

**3.10. Схема У1.** По схеме У1 определяются параметры неослабленных откосов выпуклого профиля.

Параметры борта выпуклого профиля определяются с помощью графика предельных очертаний откосов выпуклого профиля (рис.8) или таблицы 3. Контур борта выпуклого профиля строится с помощью графика по расчетным физико-ме-

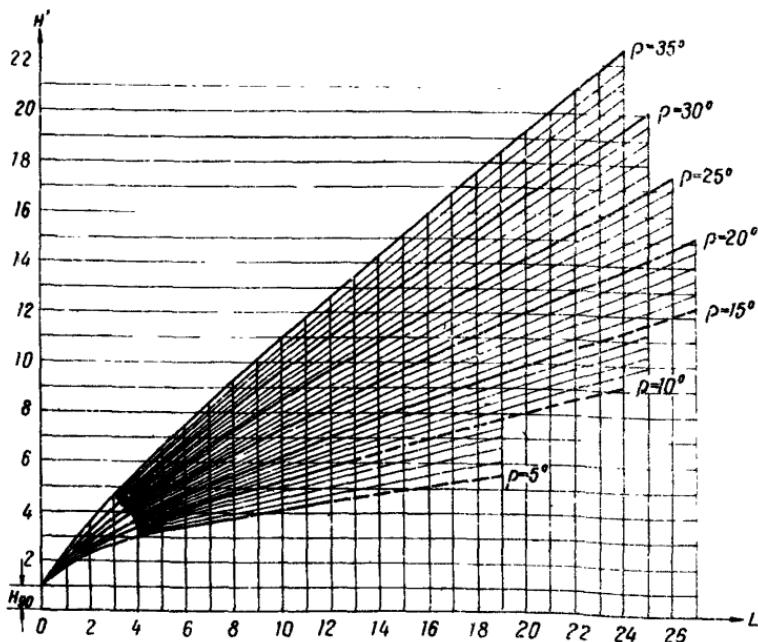


Рис.8. График предельных очертаний откосов выпуклого профиля

хническим характеристикам горных пород, слагающих борт.

Порядок пользования графиком следующий:

а) по расчетным характеристикам  $\rho_n$ ,  $k_n$ ,  $\gamma$  вычисляется величина  $H_{90}$ ;

б) для нескольких значений условных высот  $H'$  определяются соответствующие значения заложений откоса, подобно тому как это делается на графике зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом наклона;

в) производится пересчет условных значений  $H'$  и заложений откоса  $L'$  в действительные:

$$H = H' \cdot H_{90}, L = L' \cdot H_{90}$$

Построенный таким путем выпуклый профиль борта для заданной его высоты затем корректируется.

Корректировка выпуклого профиля состоит в следующем: нижняя часть борта высотою, примерно,  $1/3 H$  принимается плоской с максимальным технически возможным углом, если он не превышает предельного угла устойчивого борта той же высоты (в противном случае нижняя часть борта заоткашивается под углом, равным предельному углу устойчивого борта высотою  $1/3 H$ ), средняя часть высотою также  $1/3 H$  заоткашивается под углом, равным общему углу наклона борта, а верхняя часть высотой  $1/3 H$  заоткашивается по линии, соединяющей верхнюю бровку откоса и точку излома борта в средней части (точки С и D на рис.9).

Построенный таким образом борт карьера подвергается поверочным расчетам по ряду расчетных поверхностей (AB, AC, AD, рис.9).

В массиве откоса выпуклого профиля, находящемся в предельном состоянии, имеется ряд поверхностей скольжения, которые также начинаются на глубине  $H_{90}$  от поверхности откоса и в верхней части наклонены под углом ( $45^\circ - \rho / 2$ ) к вертикали; постепенно выполаживаясь, они пересекают откос в его нижней точке (рис.10). Форму поверхности скольжения без ущерба для точности

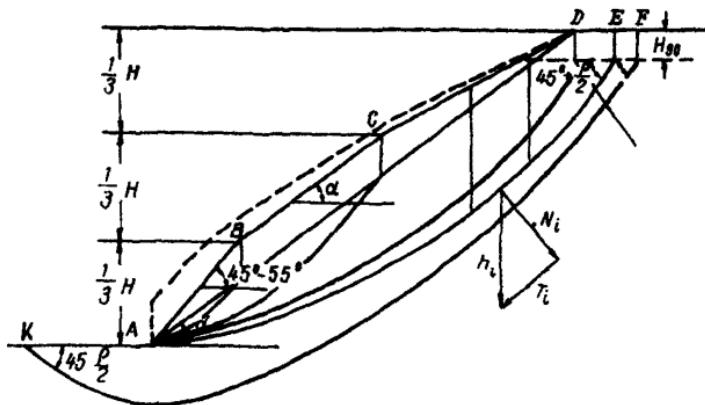


Рис.9. Контур борта выпуклого профиля

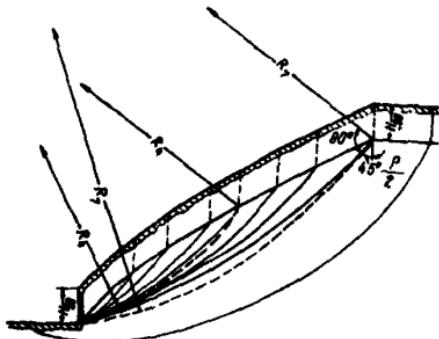


Рис.10. Расположение поверхностей скольжения в откосе выпуклого профиля, находящемся в предельном равновесии

расчета устойчивости борта можно принимать круглоцилиндрической. Построение ее на разрезе производится в следующем порядке. Через точку на глубине  $H_{90}$  от верхней площадки борта (откоса уступа) под углом  $(45^\circ - \rho/2)$  к вертикали проводится отрезок, касательный к поверхности скольжения. Эта точка соединяется прямой линией с нижней точкой откоса, и на полученном отрезке, как на основании, строится равнобедренный треугольник, одна сторона

которого должна быть перпендикулярна к поверхности скольжения в точке на глубине  $H_{90}$ . Вершина треугольника будет являться центром искомой окружности, часть которой, заключенная между нижней бровкой откоса и точкой на глубине  $H_{90}$ , и является поверхностью скольжения.

Расчетные поверхности в откосе откорректированного профиля, находящемся в допредельном состоянии, строятся аналогичным образом по расчетным характеристикам сопротивления сдвигу пород  $\rho_n$  и  $k_n$ .

В откосах выпуклого профиля при общем угле  $\alpha < (22^\circ + \rho_n/2)$  наиболее напряженная поверхность выходит в подошву откоса и пересекает ее под углом  $(45^\circ - \rho_n/2)$ . Наиболее напряженная поверхность в этом случае определяется расчетом по ряду расчетных поверхностей скольжения (см. п. 3.2, рис. 4); та поверхность, по которой коэффициент запаса имеет минимальное значение, является наиболее напряженной, а коэффициент запаса по ней – действительным коэффициентом запаса устойчивости борта.

Коэффициент запаса устойчивости борта определяется методом алгебраического сложения сдвигающих и удерживающих сил, действующих по наиболее напряженной поверхности, в следующем порядке:

а) призма в примыкающем к борту массиве пород, ограниченная наиболее напряженной поверхностью, (в плоскости чертежа) разбивается вертикальными линиями на ряд блоков одинаковой ширины, аналогично п.3.9;

б) высоты блоков  $h_i$ , измеренные в мм, условно принимаются за их вес и раскладываются на нормальные  $N_i$  и касательные  $T_i$  составляющие к наиболее напряженной поверхности (рис.9);

в) определяется масштаб векторов  $N_i$  и  $T_i$  по формуле:

$$c = \frac{\alpha \cdot \gamma}{1000} M, \quad (16)$$

где  $\alpha$  – ширина блока в м;

$M$  – знаменатель масштаба чертежа (при расчете ширина призмы, примыкающей к откосу и ограниченной наиболее напряженной поверхностью, вдоль бровки откоса принимается равной 1 м);

г) определяется коэффициент запаса по формуле:

$$n = \frac{c \sum N_i l_i \rho_i + \sum k_i l_i}{c \sum T_i}, \quad (17)$$

где  $l_i$  — участок наиболее напряженной поверхности в пределах блока, м.

Если в результате поверочных расчетов окажется, что вычисленный коэффициент запаса устойчивости борта отличается от расчетного более, чем на 5%, необходимо внести корректировки в параметры борта (увеличить или уменьшить угол его наклона в зависимости от того, больше или меньше вычисленный коэффициент запаса по сравнению с расчетным).

### 3.11. Схема УП применяется для расчета:

- а) устойчивости откосов, в основании которых залегают более слабые породы, чем вышележащие;
- б) устойчивости обводненных откосов.

Расчет устойчивости откосов, в основании которых залегают более слабые породы, чем вышележащие, производится следующим образом:

а) проводится ряд расчетных поверхностей, из которых выбирается наиболее напряженная поверхность; коэффициент запаса устойчивости по ней является минимальным;

б) поверхность скольжения в откосе, находящемся в предельном равновесии, начинается от верхней площадки борта (уступа) вертикальной трещиной отрыва, величина которой равна  $H_{90}$ , ниже (до точки D, см. рис.11) пере-

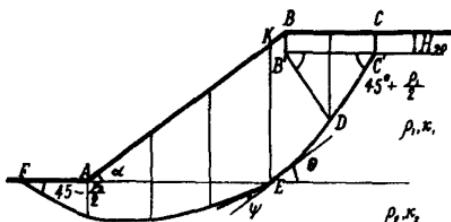


Рис.11. Форма поверхности скольжения в откосе, находящемся в предельном равновесии, со слабым пластичным слоем в основании

ходит в прямолинейный участок, наклоненный под углом  $(45^\circ + \rho_1/2)$  к горизонту, далее поверхность скольжения

становится криволинейной и пересекает слабый слой под углом  $\theta$  (см.ф-ду 26); на границе со слабым слоем происходит излом поверхности скольжения, угол излома  $\phi$  определяется по формуле:

$$\psi = \frac{\rho_1 - \rho_2}{2}, \quad (18)$$

где  $\rho_1$  — угол внутреннего трения более прочных вышележащих пород, град.;

$\rho_2$  — угол внутреннего трения породы слабого слоя, град.;

в слабом слое поверхность скольжения имеет плавный криволинейный вид и выходит в подошву откоса под углом ( $45^\circ - \rho_2/2$ ) на некотором расстоянии от нижней бровки откоса<sup>x</sup>;

в) степень заглубления поверхности скольжения зависит от мощности и физико-механических характеристик слабого слоя; обратный уклон поверхности скольжения имеет только на участке под подошвой откоса.

Коэффициент заласа устойчивости откоса при оценке его устойчивости определяется методом суммирования сдвигающих и удерживающих сил, действующих по наиболее напряженной поверхности.

3.12. Расчет устойчивости откосов по схеме УП можно производить также алгебраическим сложением сил по наиболее напряженной поверхности по общему сопротивлению горной породы сдвигу без разделения его на силы сцепления и силы трения (по касательным напряжениям).

Расчет устойчивости откосов этим методом производится следующим образом:

а) в серединах оснований столбиков, на которые разбивается призма, примыкающая к откосу и ограниченная расчетной поверхностью, определяются касательные  $T_c$  и

х) В откосах, находящихся в допредельном состоянии, это расстояние устанавливается путем расчета коэффициента запаса устойчивости по ряду расчетных поверхностей и ограничивается наиболее напряженной поверхностью (см.п.3.2, рис.4).

нормальные  $\sigma_n$  напряжения по формулам:

$$\sigma_n = h_i \gamma \cos^2 \varphi_i, \quad (19)$$

$$\tau_c = \frac{1}{2} h_i \gamma \sin 2\varphi_i,$$

где  $h_i$  — высота отдельного столбика, м;

$\varphi_i$  — угол наклона основания столбика, град.;

б) расчетная поверхность с отмеченными серединами оснований столбиков развертывается в горизонтальную прямую, и в каждой отмеченной точке по оси ординат откладываются отрезки, соответствующие касательным напряжениям  $\tau_c$ , концы которых соединяются плавной кривой; площадь, ограниченная осью абсцисс и этой кривой, выражает сумму сдвигающих сил, действующих по расчетной поверхности;

в) по паспортам прочности пород при соответствующих нормальных напряжениях определяются сопротивления сдвигу  $\tau_y$ , величины которых также откладываются по оси ординат и соединяются плавной кривой  $x$ ); площадь этой эпюры будет являться суммой удерживающих сил, а отношение

$$\frac{\sum \tau_y}{\sum \tau_c} = n \quad (20)$$

будет равно коэффициенту запаса устойчивости по каждой расчетной поверхности. Коэффициент запаса устойчивости откоса будет равен коэффициенту запаса устойчивости по наиболее напряженной поверхности.

Определение сил и их сложение можно производить и в таблицах; в этом случае производится умножение напряжений на длину соответствующих отрезков оснований столбиков, по которым они распределены.

3.13. Расчет устойчивости обводненных откосов основана на замене объемных гидростатических и гидродинамических сил контурными силами.

---

х) В нижней точке откоса минимальная величина сопротивления сдвигу принимается равной половине сопротивления сжатию слабого слоя.

Последовательность действий при расчете такова (рис.12):



Рис.12. Схема к расчету подтопленного откоса: 1 - линии равных напоров; 2 - песок; 3 - суглинок; 4 - глина

а) выполняется расчет устойчивости откоса без учета гидростатических и гидродинамических сил, и определяется положение наиболее напряженной поверхности;

б) определяется положение депрессионной кривой и линий равных напоров, для чего используются аналитические и графические приемы или моделирование на приборе ЭГДА (расчет напоров ведется от произвольной горизонтальной прямой АА),

в) призма, заключенная между откосом и наиболее напряженной поверхностью, разбивается вертикалями на блоки; результирующая сила гидростатического и гидродинамического давлений  $D_i$  (сила  $D_i$  направлена нормально к поверхности скольжения и приложена в средней точке ее в пределах блока) определяется по формуле:

$$D_i = \Delta_0 (H_i - y_i) \frac{a_i}{\cos \varphi_i}, \quad (21)$$

где  $H_i$  - средний напор в пределах блока;  
 $y_i$  - средняя ордината кривой скольжения в пределах блока (отсчитывается от АА);  
 $a_i$  - ширина блока;  
 $\Delta_0$  - удельный вес воды;  
 $\varphi_i$  - угол наклона касательной к поверхности скольжения в середине основания блока;

г) коэффициент запаса устойчивости откоса определяется по формуле:

$$n = \frac{\sum (P_i \cos \varphi_i - D_i) \lg \rho_i + k_i l_i}{\sum P_i \cdot \sin \varphi_i}, \quad (22)$$

где  $P_i$  - вес блока вместе с заключенной в нем водой (объемный вес ниже уровня грунтовых вод принимается равным  $\gamma_{\text{нас}}$ );

$\rho_i$  и  $k_i$  - угол трения и сцепление;  
 $l_i$  - длина  $i$ -го участка кривой.

В случае подтотленного откоса формула (22) принимает вид:

$$n = \frac{\sum \left\{ [P_i \cos \varphi_i + P_i^b \frac{\cos(\alpha - \varphi_i)}{\cos \alpha} - D_i] \log \rho_i + k_i l_i \right\}}{\sum [P_i \sin \varphi_i - P_i^b \frac{\sin(\alpha - \varphi_i)}{\cos \alpha}]}, \quad (23)$$

где  $\alpha$  - угол откоса;

$P_i^b$  - вес "свободной" (находящейся выше линии откоса) воды в пределах блока.

Для повышения точности расчета положение наиболее напряженной поверхности уточняется повторными расчетами по двум-трем поверхностям.

Следует отметить, что песчаные грунты, залегающие ниже уровня подземных вод, подвергаются полному взвешиванию. Из глинистых пород, как показывают исследования Н.М.Герсанова /4/, полному взвешиванию подвергаются те разновидности, влажность которых выше максимальной молекулярной влагоемкости; для плотных жирных глин, в которых все поры заполнены молекулярной водой, коэффициент взвешивания равен нулю.

При расчете устойчивости откосов на участках, где наиболее напряженная поверхность проходит в глинах второго типа, взвешивание не должно приниматься во внимание; при этом в расчет следует вводить объемный вес вышележащих пород при полном заполнении пор водой  $\gamma_{\text{нас}}$ :

$$\gamma_{\text{нас}} = \Delta (1 - n) + \Delta_0 n, \quad (24)$$

где  $\Delta_0$  и  $\Delta$  - удельные веса воды и грунта;  
 $n$  - пористость.

Плотные глины с развитой трещиноватостью полностью взвешиваются.

Для правильной оценки степени устойчивости подтопленного откоса необходимо знать положение депрессионной воронки на любой момент времени, соответствующий определенному уровню воды в котловане; при нескольких водоносных горизонтах следует наблюдать за изменением уровней депрессионной воронки в каждом горизонте.

Общая устойчивость бортов при затоплении карьера изменяется под влиянием взвешивающего и пригружающего действия воды в котловане и зависит для фильтрующих откосов от положения зеркала воды в нем и депрессионной кривой. Наихудшее состояние общей устойчивости бортов карьера возникает при подтоплении карьера на 1/3 его глубины, если эта часть борта сложена фильтрующими породами. При этом коэффициент запаса устойчивости уменьшается на 10–25% по сравнению с необводненным откосом. При повышении уровня воды более чем на 1/3 высоты борта устойчивость последнего повышается, и при полном затоплении карьера коэффициент запаса устойчивости откоса, сложенного породами с высоким сцеплением, на 25–40% выше, чем коэффициент запаса устойчивости незатопленного карьера.

3.14. Схема УЦ. Если в массиве борта, находящемся в предельном равновесии, имеется несколько неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления, то наиболее напряженная поверхность может полностью или частично проходить по ним, а в плоскости чертежа на разрезе будет иметь вид ломаной линии. Расчет устойчивости откосов по схеме УЦ производится методом многоугольника сил (см.п.3.18).

При отсутствии крутопадающих поверхностей ослабления, пересекающих потенциальную поверхность скольжения и разбивающих призму возможного обрушения на отдельные блоки, границу между смежными блоками, опирающимися на отдельные участки ломкой поверхности скольжения, при оценке устойчивости откосов следует проводить под углами  $90^\circ - \rho'$  к поверхности скольжения; в противном случае граница между блоками совпадает с поверхностями ослабления.

Реакция между смежными блоками определяется с учетом сопротивления сдвигу по поверхностям между ними.

Отрезок поверхности скольжения  $l_m$ , являющийся основанием последнего блока, может быть определен аналитически по формуле:

$$l_m = \frac{E_{m-1} \sin \theta (\operatorname{tg} \theta - \operatorname{tg} \rho_n^*)}{k_n + \frac{1}{2} h \gamma \cos^2 \varphi_m (\operatorname{tg} \rho_n^* - \operatorname{tg} \varphi_m)}, \quad (26)$$

где  $E_{m-1}$  — реакция смежного (предпоследнего) блока;  $\theta = \varphi_{m-1} - \varphi_m$  — угол излома расчетной поверхности (разность углов наклона площадок скольжения, являющихся основаниями блоков);

$h$  — высота грани, отделяющей последний блок.

3.15. Схема 1Х применяется при горизонтальном залегании слоев пород или при падении слоев в сторону выемки под пологими углами, когда угол наклона борта  $\alpha$  больше угла трения по контакту  $\rho'$ , а  $\beta$  меньше  $15^\circ - 20^\circ$  ( $h > H_{90}$ ), а также при падении слоев в сторону массива, когда угол между поверхностью откоса и наслойением составляет менее  $(90^\circ - \Phi')$ , где  $\Phi'$  — угол сдвига по контактам слоев; расчетная наиболее напряженная поверхность при этом в нижней своей части совпадает с наслойением, а в верхней части является плавной криволинейной поверхностью, построенной обычным способом без учета наслойения пород. На границе со слабым контактом поверхность скольжения (или наиболее напряженная поверхность в примыкающем к откосу массиве, находящемся в допредельном состоянии  $x$ ) приобретает излом под углом  $\theta$ , определяемым по формуле:

$$\theta' = \frac{\pi}{4} \pm \frac{1}{2} (\rho_n - \rho_n^*) - \frac{1}{2} \arcsin \left( \frac{\sin \rho_n}{\sin \rho_n^*} \right) \quad (28)$$

х) На границе со слабым контактом угол излома наиболее напряженной поверхности в массиве пород, примыкающем к откосу, находящемся в допредельном состоянии, определяется также по формуле (28), однако при вычислении  $\theta$  и  $\theta'$  значения  $\rho$  и  $\rho'$  соответственно заменяются на  $\rho_n$  и  $\rho_n^*$ .

Порядок определения высоты борта  $H_1$  при известном угле его наклона для схемы 1Х рекомендуется следующий: сначала по графику для плоских откосов по характеристикам  $\rho_n$  и  $k_n$  определяется высота борта  $H$  без учета поверхостей ослабления; затем определяется поправочный коэффициент  $b$  по формуле  $b = b_0 - c\delta$ ; входящие в эту формулу коэффициенты  $b_0$  и  $\delta$  берутся из таблицы 4, а величина  $c$  определяется по формуле:

$$c = \frac{\tan \rho_n}{\tan \psi_n^1} - 1,28, \quad (27)$$

где угол  $\psi_n^1$  — средняя величина угла сдвига по участку наиболее напряженной поверхности, совпадающему с поверхностью ослабления, определяемая по формуле:

$$\psi_n^1 = \arctan \left[ \tan \rho_n + \frac{k_n}{\sigma_{ncp}} \right]. \quad (28)$$

Средняя величина нормального напряжения  $\sigma_{ncp}$ , необходимая для вычисления  $\psi_n^1$ , определяется по формуле:

$$\sigma_{ncp} = \frac{1}{2} h \gamma \cos^2 \beta, \quad (29)$$

где  $\beta$  — угол наклона контактов между слоями;  
 $h$  — глубина залегания (по вертикали от верхней бровки) наиболее напряженной поверхности, построенной в откосе без учета поверхностей ослабления.

Искомая высота борта  $H_1$ , определяется умножением  $H$  на поправочный коэффициент  $b$ :

$$H_1 = H b \quad (30)$$

3.16. Схема X применяется при кругопадающих в сторону выемки поверхностях ослабления при условии  $80^\circ > \beta > \alpha > \rho$ .

Поверхность скольжения в этом случае в верхней своей части совпадает с одной из этих поверхностей ослабле-

Вспомогательные коэффициенты для определения  $H$  по схеме IX

Таблица 4

Угол наклона берта, град	Значения коэффициентов $b_0$ и $\delta$ при угле падения спуск. град.														
	+0		+20		+10		0		-10		-20		-25		
	$b_0$	$\delta$	$b_0$	$\delta$	$b_0$	$\delta$	$b_0$	$\delta$	$b_0$	$\delta$	$b_0$	$\delta$	$b_0$	$\delta$	
40	1,000	0,045	0,920	0,079	0,850	0,118	0,795	0,150	0,740	0,190	0,682	0,240	0,400	0,470	0,440
50			1,000	0,062	0,910	0,110	0,815	0,150	0,735	0,250	0,587	0,240	0,350	0,380	
60					1,000	0,100	0,330	0,140	0,300	0,220	0,350	0,295	0,590	0,340	
70							1,000	0,155	0,380	0,205	0,720	0,255	0,320	0,305	
80									1,000	0,255	0,800	0,245	0,350	0,280	

ПРИ ЧИСЛЕ: в таблице 4, где для облегчения вычисления считаются итоги интервалов при них записаны в скобках в строку массива и приведены они – при падении в сторону левого.

ния, а в нижней – с круглоцилиндрической поверхностью; на границе верхней и нижней частей поверхность скользения претерпевает излом под углом  $\theta'$ , вычисляемым по формуле (26). Порядок определения высоты борта по заданному углу наклона такой же, как и при пологом падении слоев; коэффициент  $b$  определяется по формуле  $b = b_0 - c\delta$ , входящие в эту формулу коэффициенты  $b_0$  и  $\delta$  берутся из таблиц 5 и 6, а величина  $c$  определяется по формуле:

$$c = \frac{\operatorname{tg} \rho_n}{\operatorname{tg} \psi_n} - 1.40 \quad (31)$$

3.17. Для уточнения параметров откосов, определенных по таблицам 5 и 6, выполняются поверочные расчеты, при которых обычно уточняется угол наклона борта при его заданной высоте. Так как при пологом и кругом залегании слоев пород бортам карьеров целесообразно придавать выпуклый профиль, то при поверочных расчетах устанавливается также и максимальный допустимый угол наклона борта в его нижней части.

Поверочные расчеты при пологом залегании пород (схема 1Х) выполняют в такой последовательности:

а) борту заданной высоты  $H_1$  с установленным согласно п.3.15 общим углом наклона  $\alpha_0$  придается выпуклый профиль в соответствии с п.3.10, и в нем проводится ряд расчетных поверхностей при различной высоте верхних участков этих поверхностей.

Примечание. При построении расчетных поверхностей необходимо придерживаться следующих положений (см.рис.13): поверхности начинаются на глубине  $H_{90}$  от верхней плоскости борта и имеют на этой глубине (в точках В, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>) угол наклона  $\omega = 45^\circ + \rho_n / 2$ ; поверхность ослабления ОС они пересекают под углом  $\theta$ , определяемым по формуле (26);

б) затем призму, опирающуюся на криволинейный участок расчетной поверхности (призму активного давления) разделяют на ряд блоков, для которых вычисляются нормальные и касательные составляющие по формулам:

Таблица поправочных коэффициентов  $\beta$  к расчетной схеме для  $\frac{\log \rho_n}{\log \psi_n} \geq 1400$

Таблица 5

$\beta^0$	25		30		40		50		60		70		80		90		
$\alpha^0$	$b_0$	$\delta$															
20	0,350	0,000	0,350	0,007	1,000	0,098											
25			0,455	0,058	0,755	0,055	1,000	0,047									
30					0,555	0,056	0,850	0,022	1,000	0,014							
35					0,755	0,073	0,760	0,031	0,955	0,048	1,000	0,037					
40							0,555	0,026	1,35	0,020	0,920	0,013	0,930	0,006	1,000	0	
50								0,755	0,021	0,880	0,014	0,950	0,007	1,000	0		
60									0,740	0,017	0,900	0,008	1,000	0			
70										0,795	0,011	1,000	0				

Таблица поправочных коэффициентов  $\psi$  к расчетной схеме X для  $\frac{\psi \rho_n}{\psi \phi_n} = 1400$

Таблица 6

$\beta^0$	25		30		40		50		60		70		80		90		
$\alpha^0$	$\psi_0$	$\delta$															
20	0,350	1,000	0,650	0,920	1,000	0											
25			0,435	0,540	0,735	0,245	1,000	0									
30					0,555	0,590	0,830	0,230	1,000	0							
35					0,355	0,665	0,760	0,310	0,935	0,065	1,000	0					
40							0,595	0,420	0,835	0,131	0,920	0,082	0,960	0,049	1,000	0	
50									0,715	0,180	0,880	0,115	0,950	0,065	1,000	0	
60											0,740	0,147	0,900	0,082	1,000	0	
70													0,795	0,098	1,000	0	

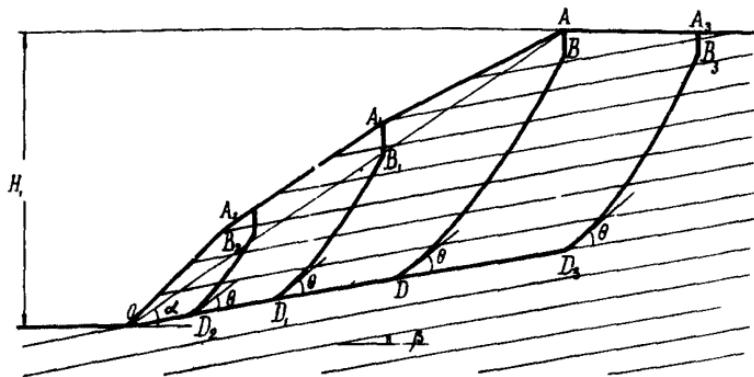


Рис.13. Схема поверочных расчетов устойчивости откоса выпуклого профиля в слоистом массиве по ряду расчетных поверхностей

$$N_i = P_i \cos \varphi_i ; \quad T_i = P_i \sin \varphi_i ,$$

и определяют реакцию  $E$  между призмами активного давления и упора по формуле

$$E = \sum T_i - \operatorname{tg} \rho_n \sum N_i - k_n L ; \quad (32)$$

и, наконец, по формуле (25) определяют длину основания призмы упора ( $OD_2$ ); эти расчеты производятся начиная с расчетной поверхности  $OD_2A_2$  для оценки устойчивости наиболее круглого участка борта; для всех следующих расчетных поверхностей проверочный расчет сводится к определению реакций  $E$ , и в этом случае формула (25) записывается относительно  $E$  в виде:

$$E = \frac{l_1 k_n^1 + P_i \cos^2 \beta (\operatorname{tg} \rho_n^1 - \operatorname{tg} \beta)}{\sin \theta (c \operatorname{tg} \theta - \operatorname{tg} \rho_n^1)} , \quad (33)$$

где  $P_i$  — вес призмы упора;

$l_1$  — длина ее основания;

$\beta$  — угол наклона основания призмы упора;

увеличиваая и уменьшая высоту призмы активного давления, находят такое положение точек  $A_i$ , при котором удов-

петворяется условие (32); все эти расчеты производятся по характеристикам сопротивления сдвигу с введенным в них необходимым коэффициентом запаса.

Для условий схемы X максимальный угол наклона нижней части борта может достигать угла падения слоев  $\beta$ , а высота ее  $H$  (рис.14) может быть определена по формуле (13).

Точки  $A_1$ ,  $A$ ,  $A'$  борта выпуклого профиля определяют путем расчетов по формуле:

$$P_2 = \frac{E \sin \theta^i (\cos \theta^i + \gamma g p_n^i + k_n l_2)}{\cos \beta (\gamma g \beta - \gamma g p_n^i)}, \quad (34)$$

где  $P_2$  — вес призмы активного давления <sup>x)</sup>;

$E$  — реакция призмы упора, определяемая по формуле:

$$E = \gamma g p_n \sum N_i + k_n L_1 - \sum T_i; \quad (35)$$

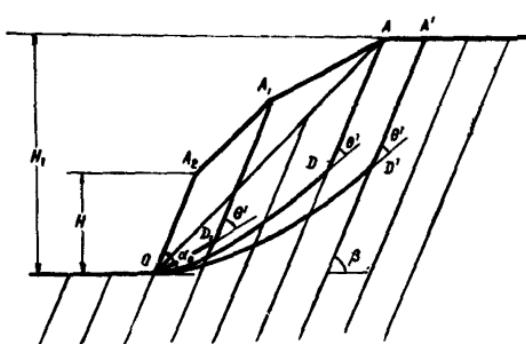


Рис.14. Схема к поверочным расчетам устойчивости откоса выпуклого профиля в слоистом массиве при круглом падении слоев

$N_i$  и  $T_i$  определяются так же, как и при пологом залегании слоев. В этих расчетах криволинейные участки поверхности скольжения пересекают слои под углами  $\theta^i$ , определяемые по формуле (26), а положение точек  $D_i$  (см. рис.14) устанавливается путем последовательного приближения.

### 3.18. Для условий расчетных схем УШ-Х

x) Для условий схемы X призма активного давления опирается на контакт.

проверочные расчеты могут выполняться также графическим методом, называемым методом многоугольника сил.

При применении метода многоугольника сил расчет устойчивости откоса, как и во всех других инженерных методах, производится по условию предельного равновесия по характеристикам, в которые введен необходимый коэффициент запаса. В этом методе напряжения, распределенные по площадкам скольжения двух семейств при предельном напряженном состоянии, заменяются сосредоточенными силами, действующими по разделяющим смежные блоки поверхностям. Многоугольник сил строится для каждого блока. В расчет принимаются следующие силы (рис.15):

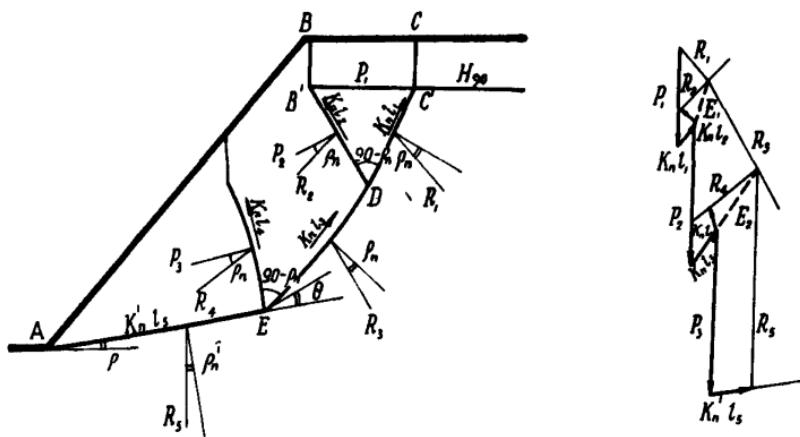


Рис.15. Схема к расчету устойчивости откоса методом многоугольника сил

$P_i$  - вес рассматриваемого блока;

$K_i l_i$  - силы сцепления, возникающие в основании блока и направленные параллельно основанию;

$R_i$  - реакция со стороны основания блока, являющаяся равнодействующей сил трения и нормальной составляющей веса блока;

$E_1$  и  $E_2$  - реакции со стороны смежных блоков на рассматриваемый блок, являющиеся равнодействующими

сил трения и сцепления, действующих по боковым поверхностям блока.

При расчете методом многоугольника сил точность расчета зависит от расположения границ между смежными блоками и направления реакций между ними. Высокая точность расчета, соответствующая точности графических построений (порядка 1-2%), достигается при расположении границ между блоками подобно тому, как располагается второе семейство поверхностей скольжения при предельно напряженном состоянии откосов.

Предельное равновесие откоса соответствует условию полной мобилизации внутренних сил сопротивления массива горных пород (сцепления и внутреннего трения), поэтому для условия предельного равновесия реакции  $R$  отклоняются от нормали к поверхности скольжения на угол внутреннего трения  $\rho$ .

В откосе, находящемся в допредельном состоянии, реакции отклоняются от нормалей к границам между блоками и к наиболее напряженной поверхности на угол  $\rho_n$ .

Построение многоугольника сил производится в следующем порядке (рис.15):

а) в определенном масштабе вертикально откладывается вес первого блока  $P_1$ ;

б) из конца вектора  $P_1$  строятся последовательно векторы  $k_1 l_1$  и  $k_1 l_2$ , соответственно параллельные боковым поверхностям блока (на рис.15  $k_1 l_1 \parallel DC$  и  $k_1 l_2 \parallel DB'$ );

в) из начала вектора  $P_1$  проводится отрезок прямой, параллельный  $R_1$ , до пересечения с отрезком прямой, проведенным из конца  $k_1 l_2$  параллельно  $R_2$  (вектор  $E_1$ , являющийся равнодействующей сил  $R_2$  и  $k_1 l_2$ , по величине и направлению представляет собой силу, с которой первый блок действует на смежный с ним второй блок);

г) из конца вектора  $E_1$  откладывается вес второго блока  $P_2$ ;

д) из конца вектора  $P_2$  строятся последовательно векторы  $k_2 l_3$  и  $k_2 l_4$ , далее из конца  $k_2 l_4$  прово-

дится отрезок прямой, параллельный  $E_4$ , а из начала  $E_1$  — отрезок прямой, параллельный  $E_3$ , до их взаимного пересечения, и определяется реакция  $E_2$ , и т.д.

Для откоса, находящегося в устойчивом состоянии с заданным коэффициентом запаса, многоугольник сил для всей призмы обрушения в целом должен замыкаться. Если многоугольник сил не замыкается, то степень устойчивости борта не соответствует заданному коэффициенту запаса. Действительный коэффициент запаса устойчивости борта может быть определен путем построения многоугольников сил при 2-3 значениях коэффициентов запаса и построения графика  $\Delta F = f(n)$  — здесь  $\Delta F$  — невязка в многоугольнике сил, т (см.рис.16).

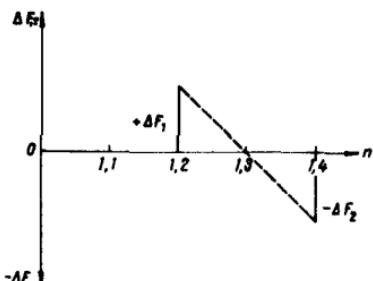


Рис.16. График зависимости  $\Delta F = f(n)$

3.19. Схема Х1 применяется при условии, если борт сложен породами, залегающими в форме синклинальных складок, одно крыло которых срезается горными выработками.

Наиболее напряженная поверхность в массиве, примыкающем к борту (откосу уступа), при таких условиях может проходить:

- полностью по наиболее слабым контактам слоев пород;
- частично по контактам слоев пород и частично по другим поверхностям ослабления (тектоническим нарушениям, крупным трещинам и т.д.);
- частично вкrest слоистости, не совпадая с поверхностями ослабления, если кривизна поверхности контактов слоев в нижней части откоса существенно возрастает.

Положение в массиве борта наиболее напряженной поверхности определяется поверочными расчетами по ряду расчетных поверхностей;

При расчете по этой схеме используются физико-механические характеристики сопротивления сдвигу для контактов слоев, ориентировочные значения которых приведены в таб-

лице 2 и приложении 4. При такой форме залегания пород особенно важно придавать бортам выпуклый профиль. Устойчивость нижней, наиболее крутой части борта проверяется поверочными расчетами по схеме IX.

3.20. Схема ХП применяется в условиях, когда борта карьера сложены весьма крепкими слаботрециноватыми породами, а также породами средней прочности при небольшой высоте бортов.

Параметры бортов карьеров в таких условиях определяются не прочностными характеристиками пород, а технологическими факторами – высотой уступов  $h_i$ , углами их откосов  $\delta_i$  и шириной площадок уступов  $a_i$  (при падении слоев в сторону карьера должна учитываться угол их падения  $\beta$ , см.схемы П, Ш, 1У).

Угол наклона борта определяется по формуле проф. Б.П.Боголюбова:

$$\alpha = \arctg \frac{\sum h_i}{\sum a_i + \sum h_i \operatorname{tg} \delta_i}. \quad (38)$$

По этой же формуле могут быть определены допустимые углы наклона бортов и при других условиях залегания пород, когда при расчете по прочностным характеристикам получаются углы более технически допустимых.

3.21. На прямолинейных участках бортов, где установлены поверхности ослабления, имеющие циркообразную форму, или плоские поверхности, секущие борт под острым углом, следует производить сложение удерживающих и сдвигающих сил по ряду профилей (4 – 6), параллельных направлению возможного скольжения; отношение общей суммы удерживающих сил по всем профилям к общей сумме сдвигающих сил будет являться коэффициентом запаса устойчивости данного участка борта.

#### 4. Определение углов откосов уступов в их предельном положении

4.1. Углы откосов уступов карьеров должны определяться с учетом прочности, трещиноватости и выветриваемости гор-

ных пород в откосах, углов наклона бортов, а также внешних нагрузок от оборудования и отвалов.

4.2. Углы откосов прочных слабо трещиноватых горных пород при благоприятной ориентировке трещин и больших углах наклона борта могут достигать  $75^{\circ}$ . Углы откосов уступов не должны превышать углов падения слоев, сланцеватости и трещин отдельности, падающих в сторону выемки под углами, превышающим углы трения по этим поверхностям ослабления, если последние подсекают откос по всей высоте.

4.3. Параметры устойчивых уступов, сложенных слабыми глинистыми и песчано-глинистыми породами, взаимо-зависимы. Заданный коэффициент запаса устойчивости обеспечивается при увеличении высоты откоса путем уменьшения его угла, а при уменьшении высоты — путем увеличения угла откоса уступа.

Углы откосов слабых глинистых горных пород определяются путем расчета на предельное равновесие при коэффициенте запаса устойчивости 1,2–1,5 (по схемам рис.5).

4.4. Углы откосов уступов несвязных пород (песков, чистых галечников и гравия) принимают равными их углам естественного откоса ( $35$ – $38^{\circ}$ ).

4.5. Углы откосов пород средней прочности, а также плотных глинистых пород, мергеля и мела принимают соответственно углам наклона бортов, ширине предохранительных и транспортных берм и вертикальных расстояний между ними, однако они не должны превышать  $60$ – $65^{\circ}$ , а также не должны превышать углов падения слоев, сланцеватости и крупных тектонических трещин при их падении в сторону выемки под углами, превышающими углы трения по этим поверхностям ослабления. Рекомендуемые значения углов откосов уступов приведены в таблице 7.

4.6. Расчет устойчивости уступов слабых глинистых пород, нагруженных весом тяжелого оборудования, производится также на предельное равновесие по наиболее напряженной поверхности. В качестве расчетных характеристик, кроме  $k_{\text{н}}$ ,  $R_{\text{н}}$  и  $\gamma$ , используются ширина опорной части оборудования и вес  $p$ , приходящийся на  $1 \text{ м}^2$  опорной части

Ориентировочные углы наклона бортов, углы откосов уступов и отвалов  
и рекомендуемые графики и формулы для расчета их углов

Таблица 7

Группа комплексов пород	Общая характеристика комплексов пород, слагающих борта	Геологические условия и основные факторы, оказывающие влияние на углы наклона бортов и углы откосов уступов	Ориентировочные величины углов наклона бортов, град	Углы откосов уступов (град)		Формулы и графики для расчета углов наклона бортов и откосов уступов
				рабочих	нерабочих	
I	2	3	4	5	6	7
I	Крепкие (скальные) горные породы	a) крепкие слаботрещиноватые породы; основными факторами, определяющими углы наклона бортов, являются: ширина берм, высота уступов (одиночных или сдвоенных) и углы их откосов, зависящие от углов падения в сторону карьера слоев, крупных тектонических трещин, тектонических нарушений, контактов между изверженными породами различного литологического состава	до 55-60	до 90	70-75	$\alpha = \arctg \frac{\sum h_i}{\sum a_i + \sum h_i \operatorname{ctg} \delta_i}$
		б) те же породы интенсивной трещиноватости при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления	40-45	65-70	55-60	$\alpha = f(N, T, k_n, p_n)$ определяется по графику ВНИИ для плоских откосов (рис. 6)
		в) борт лежачего бока при падении слоев под углом менее 40°	30-35	65-75	50-55	метод многоугольника сил (можно пользоваться графиком рис. 6 с поправками по табл. 4).

I	2	3	4	5	6	7
II	Средней крепости (полускальные) горные породы	<p>Зоны выветрелых изверженных и метаморфических пород, а также хлоритовые, серicitовые и талько-хлоритовые сланцы, аргиллиты, алевролиты, средней прочности песчаники</p> <p>а) при отсутствии поверхностей ослабления большого протяжения, падающих в сторону карьера</p> <p>б) при наличии поверхностей ослабления, падающих в сторону карьера</p> <p>в) при мульдообразном залегании слоев пород (зависит от условий подрезки)</p>	38-45 30-35 25-30	60-75 45-70 45-70	50-55 40-50 40-50	$d = f(H, \gamma, k_n, p_n)$ – определяется по графику рис. 6 метод многоугольника сил $\Sigma T_i = \Sigma N_i k_g p_n + k_n p_n$ – по наиболее слабой поверхности
III	Слабые (глинистые и песчано-глинистые) породы	<p>а) борта сложены в основном песчано-гравийными, меловыми, лессовидными изверженными и другими хорошо дренируемыми отложениями; в нижней части борта пластичных глин и поверхностей ослабления нет</p> <p>б) в нижней части борта или в его основании имеются слои пластичных глин или поверхности ослабления – древние поверхности скольжения и слабые контакты между слоями</p>	20-30 6-25	40-50 <sup>x</sup> ) 40-50 <sup>x</sup> )	55-45 <sup>x</sup> ) 30-40 <sup>x</sup> )	$d = f(H, \gamma, k_n, p_n)$ – определяется по графику рис. 6 метод многоугольника сил или метод алгебраического сложения сил по наиболее слабой поверхности
IV	Отвальные породы	<p>а) отвалы скальных или полускальных пород на прочном основании</p> $\tau_{\text{осн}} \geq 0,2 \gamma H_{\text{отв}}$	34-36 –		34-36	угол откоса отвальных пород может быть равен углу естественного откоса раздробленных пород

1	2	3	4	5	6	7
	<p>б) отвалы скальных и полускальных пород на слоистом основании</p> <p>в) отвалы глинистых пород (в том числе и отвалы на слоистом основании при <math>\sigma_{осн} &lt; 0,2 \text{ t Н}_\text{м}^{-2}</math>)</p> <p>г) отвалы водонасыщенных песчано-глинистых пород; высокие отвалы глинистых пород</p>	<p>20-30 18-25<sup>хх)</sup> 6-10<sup>хх)</sup></p>			<p>34-36 30-35 20-25</p>	<p>метод многоугольника сил метод алгебраического сложения сил по наиболее слабой поверхности метод алгебраического сложения сил по наиболее слабой поверхности</p>

ПРИМЕЧАНИЕ: х) Углы откосов устанавливаются путем расчетов.

хх) При ориентировочном определении регулирующих углов откосов отвалов принимаются минимальные значения.

Расчет устойчивости производится без учета защемления призмы возможного обрушения со стороны участков, не нагруженных весом оборудования; наличие этого защемления повышает коэффициент запаса устойчивости, поэтому коэффициент запаса устойчивости откоса, вычисленный без учета бокового защемления, будет несколько ниже действительного.

Для того чтобы вычислить коэффициент запаса устойчивости нагруженного уступа с учетом бокового защемления, расчет выполняется по трем-четырем поперечным профилям; отношениедерживающих сил к всем расчетным профилям к сдвигающим силам будет равно коэффициенту запаса устойчивости нагруженного участка уступа, при расчете следует иметь в виду, что поверхность скольжения имеет циркообразную форму и пересекает верхнюю бровку уступа под углом  $\varepsilon$ .

4.7. При расчете устойчивости загруженных уступов возможны два случая:

- а) откос при наличии нагрузки имеет такой же коэффициент запаса, как и без нагрузки;
- б) откос с нагрузкой имеет коэффициент запаса устойчивости меньший, чем без нагрузки.

В обоих случаях расчет устойчивости откоса позволяет установить ширину бермы, на которую не должно помещаться оборудование для обеспечения заданного коэффициента запаса его устойчивости.

4.8. В первом случае ширина бермы, в пределах которой нельзя размещать оборудование для обеспечения данного коэффициента запаса, будет превышать ширину призмы, ограниченной наиболее напряженной поверхностью на верхней площадке ненагруженного уступа.

Расчет устойчивости производится в следующем порядке. В массиве уступа проводится ряд расчетных поверхностей (рис.17); в верхней своей части эти поверхности наклонены к вертикали под углом, равным  $45^\circ - \rho/2$ ; если удельное давление оборудования на 1 м<sup>2</sup> опорной части больше величины  $\sigma_0$ , рассчитываемой по формуле (5):

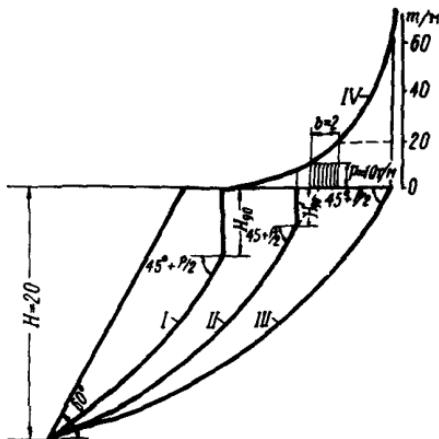


Рис.17. Схема к упрощенному расчету допустимых нагрузок на уступ (первый случай)

волнистых поверхностей.

После построения поверхностей скольжения для каждой из них определяется дополнительная нагрузка, при которой обеспечивается заданный коэффициент запаса устойчивости по формуле:

$$\eta = \frac{kL + \tan \omega_n \sum N + P \cdot \cos \omega \cdot \tan \rho}{\sum T + P \cdot \sin \omega} ,$$

или

$$P = \frac{k_n L + \tan \omega_n \sum N - \sum T}{\cos \omega_n (\tan \omega_n - \tan \rho)} ,$$

где  $P$  — допускаемая дополнительная нагрузка опорной части оборудования, т/м,

$\omega_n$  — угол наклона поверхности скольжения в верхней части ( $\omega_n = 45^\circ + Pn/2$ );

$b$  — площадь опорной части оборудования,  $m^2$ ;

$k, \rho$  — характеристики сопротивления сдвигу пород в уступе;

$$G_0 = 2 k_n c \tan (45^\circ - Pn/2) ,$$

то наклонные участки расчетных поверхностей будут начинаться непосредственно под опорной частью оборудования; если же удельная нагрузка опорной части оборудования  $\frac{P}{b} < G_0$ , то наклонные участки расчетных поверхностей будут начинаться с глубины:

$$H_{90} = \frac{G_0 - \frac{P}{b}}{\gamma}$$

В средней и нижней частях расчетные поверхности имеют вид плавных кри-

$k_n$ ,  $\rho_n$  - те же характеристики, разделенные на коэффициент запаса устойчивости и ;

$L$  - длина поверхности скольжения, м;

$\Sigma N_{ET}$  - суммы нормальных и касательных составляющих от веса элементарных блоков, на которые при расчете разбивается примыкающая к откосу призма, ограниченная расчетной поверхностью.

После расчета величины  $P$  для заданных поверхностей скольжения строится кривая 1У зависимости допускаемых нагрузок от расстояния до верхней бровки уступа (рис.17).

Для определения расстояния от верхней бровки до оборудования на уступе, при котором сохраняется заданный коэффициент запаса устойчивости (равный коэффициенту устойчивости ненагруженного уступа), необходимо на кривой 1У найти точку, соответствующую нагрузке, приходящейся на  $1 \text{ m}^2$  опорной части оборудования, и из этой точки опустить перпендикуляр на ось абсцисс (рис.17); опорная часть оборудования размещается за пределами бермы, полученной таким путем.

4.9. Во втором случае расчетные поверхности располагаются в откосе подобно тому, как изображено на рис.18,

причем положение наиболее напряженных поверхностей, выходящих на откос, определяется подбором; расчет и построение кривой допустимых нагрузок на верхнюю площадку уступа, при которых сохраняется принятый к расчету коэффициент запаса устойчивости откоса, производится так же, как и в первом случае.

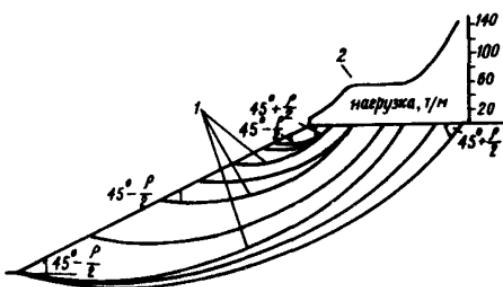


Рис.18. Схема к упрощенному расчету допустимых нагрузок на уступ (второй случай): 1-расчетные поверхности; 2-кривая допустимых нагрузок

4.10. В тех случаях, когда в массиве уступа имеются контакты слоев, поверхности древних оползней или другие поверхности ослабления, падающие в сторону выемки под углом более  $10-15^{\circ}$ , наиболее напряженная поверхность частично или полностью будет проходить по этим поверхностям ослабления; это должно учитываться приоценке устойчивости откосов (см.схемы П,Ш,1У,1Х-Х1).

4.11. Ориентировочную величину угла нагруженного откоса при заданной высоте или его высоту при заданном угле можно определять по графику для плоских откосов (рис.6), заменив прецварительно удельный вес оборудования эквивалентным слоем породы; тогда условная расчетная высота откоса будет складываться из действительной высоты откоса  $H$  и величины  $\Delta H$ , равной  $\Delta H = \frac{P}{\gamma_y}$ ; после того, как таким путем будут установлены ориентировочные параметры нагруженных уступов, производятся поверочные расчеты способом, изложенным выше.

## 5. Определение углов откосов отвалов

5.1. Внутренние отвалы твердых пород (в том числе песков и гравелистых пород), отсыпаемые на поверхность плотных неслюистых пород, сохраняют устойчивость при углах естественного откоса, изменяющихся в пределах  $34-36^{\circ}$ , практически при любой высоте.

5.2. Высота отвала  $H$  твердых пород, отсыпаемого на наклонное основание, содержащее слабые контакты, может быть приближенно вычислена по формуле:

$$H = \frac{2 k_n \sin 2\alpha \cdot \sin(\omega_n - \beta)}{\gamma \sin(\alpha - \beta) \left[ \frac{(1 - \sin \rho_n) \sin(\alpha - \beta)}{\cos(90^{\circ} - \omega_n - \beta)} - 2 \cos \beta \cdot \sin(\omega_n \alpha) (\tan \rho_n \cdot \cos \beta - \sin \beta) \right]} \quad (37)$$

Здесь  $\omega_n = 45^{\circ} + \rho_y 2$ .

5.3. Параметры отвалов рыхлых глинистых пород на прочном основании определяются следующим способом.

На графике прочности отвальных пород начальная криволинейная часть линии, выражающая зависимость между нормальными и касательными напряжениями, в пределах рабочих напряжений, заменяется отрезком прямой (в соответствии с п.2.7), и определяются характеристики  $\rho$  и  $k$  (рис.19). В характеристики вводится коэффициент запаса:

$$k_n = \frac{k}{\eta} ; \quad \eta \rho_n = \frac{\tau_{\max}}{n} ; \quad \tau_n = \frac{\sigma_{\max}}{n},$$

где  $\sigma_{\max}$  — предельное значение сопротивления сдвигу отвальной массы.

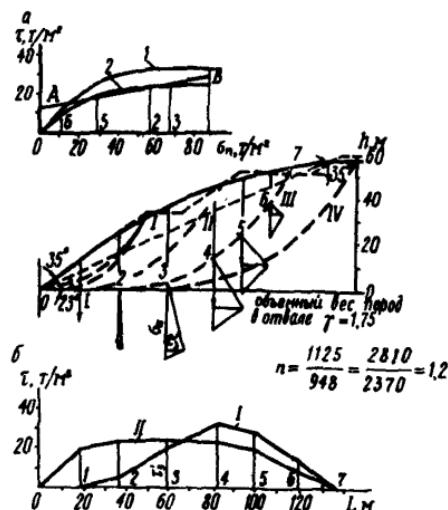


Рис.19. Пример расчета устойчивости отвалов глинистых пород на устойчивом основании: а-график сопротивления сдвигу пород отвала; 1-предельное сопротивление; 2-устойчивое сопротивление; б - эллюры касательных напряжений по поверхности III: I-сдвигающие; II-удерживающие

водится корректировка откоса: откос выполняется, если вычисленный коэффициент запаса меньше принятого к расчету; угол откоса отвала увеличивается, если вычисленный

По  $k_n$ ,  $\rho_n$ ,  $\eta$  определяется величина  $N_{90}$ , и по графику выпуклых откосов (рис.8) строится контур откоса отвала. Нижняя часть откоса отвала заостряется под углом естественного откоса; сверху откос отвала постепенно выполяживается.

Проверочные расчеты производятся по ряду расчетных поверхностей (рис. 19); порядок выполнения проверочных расчетов изложен в п. 3.12.

Если величина коэффициента запаса  $\eta$  не соответствует расчетному значению, то произ-

Коэффициент запаса больше принятого к расчету.

Для определения искомого значения угла откоса отвала следует пользоваться формулой:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 \cdot n_1}{n}, \quad (38)$$

- где  $\alpha$  - искомый угол откоса отвала;  
 $n_1$  - принятый к расчету коэффициент запаса;  
 $\alpha_1$  - угол откоса отвала, построенного вышеописанным способом;  
 $n_1$  - коэффициент запаса устойчивости откоса отвала, полученный из расчета.

Проверка устойчивости производится для различных высот отвала, как показано на рис.19.

5.4. Расчет устойчивости высоких отвалов, когда практически на всей наиболее напряженной поверхности сопротивляемость сдвигу отвальной массы может характеризоваться  $\tau_{\max}$  (предельным сопротивлением сдвигу, соответствующим сопротивляемости сдвигу отвальной массы при минимальном нормальном напряжении, при котором наблюдается отжим поровой воды), производится по предельным значениям сопротивления сдвига.

Параметры отвала (высота и угол откоса) могут быть определены по графику, представленному на рис.20.

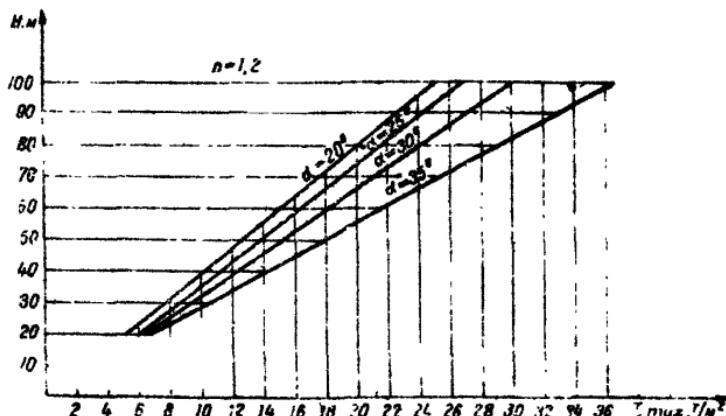


Рис.20. График зависимости высоты отвала от предельного сопротивления сдвигу отвальной массы

6.5. При наличии в основании откосов горизонтально залегающих тонких слоев слабых глин или слабых контактов поверхность скольжения частично проходит по одному из них. Характер деформирования таких откосов отличается следующими особенностями:

а) в период развития смещений призма оползания разбивается на три блока — призму активного давления АВСЕ, массивную призму плоского скольжения СFNE и призму выпирания, пригружающую контакт в основании откоса, KLN'F (рис.21);

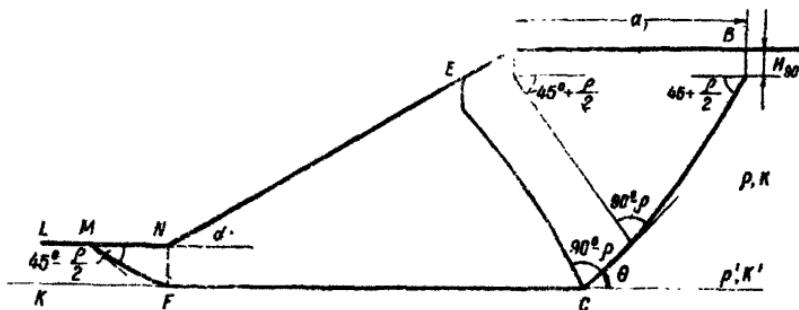


Рис.21. Схема оползня выпирания

б) при оползании призма активного давления, внедряясь в массив, сдвигает призму СFNE по контакту; на границе этих призм проявляется семейство поверхностей скольжения;

в) призма выпирания откоса испытывает при этом сжатие, вследствие чего поверхность скольжения выходит в подошву откоса под углом  $45^{\circ} - \frac{P}{2}$ ;

г) угол наклона боковых поверхностей скольжения призмы активного давления в верхней части составляет  $\omega = 45^{\circ} + \frac{P}{2}$ , а в нижней части они имеют криволинейную форму; угол встречи поверхности скольжения призмы активного давления со слабым контактом при этом следует вычислять по формуле (26).

Максимальная ширина призмы в примыкающем к откосу

су массиве, ограниченной наиболее напряженной поверхностью, при условии, когда контакт обладает весьма низким сопротивлением сдвигу, определяется по формуле:

$$a_1 = H \left[ \sqrt{4 \operatorname{ctg}^2 \alpha + 2 \operatorname{ctg} \omega_n (3 \operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \omega_n)} - 2 \operatorname{ctg} \alpha \right], \quad (39)$$

где  $H$  — глубина залегания контакта (от поверхности отвала);

$\alpha$  — угол наклона откоса отвала;

$$\omega_n = 45^\circ + \rho_n / 2.$$

При значениях характеристик сопротивления сдвигу по контакту в пределах  $\rho > \rho' > 0$  и  $k > k' > 0$  положение наиболее напряженной поверхности на верхней площадке (ширина призмы  $a_2$ ) отвала будет определяться условием  $a_1 > a_2 > a$ ,  $0 \leq \theta \leq \omega_n$  (где  $a$  — ширина призмы, ограниченной наиболее напряженной поверхностью, для откоса, сложенного породами одинаковой прочности;

$a_1$  — ширина призмы в примыкающем к откосу массиве, вычисляемая по формуле 39); ширина этой призмы может быть определена интерполяцией.

5.6. Процесс оползания отвалов при наличии слабых слоев в основании откоса зависит от мощности и физико-механических характеристик слабого слоя и отличается от процесса оползания отвалов, имеющих в основании горизонтальные контакты с пониженной сопротивляемостью сдвигу.

В этом случае призма активного давления проявляется менее четко, так как на границе с пластичным слоем излом поверхности скольжения более плавный, чем при наличии тонкого слоя (слабого контакта), вследствие чего создаются более благоприятные условия для вращения всей призмы обрушения, включая и слабый слой (рис.22).

Схема расчета в данном случае будет аналогична схеме УП (п.3.11).

Параметры отвалов, размещенных на слабом основании, определяются в следующем порядке.

На графике прочности пород основания кривая, выражающая зависимость между нормальными и касательными

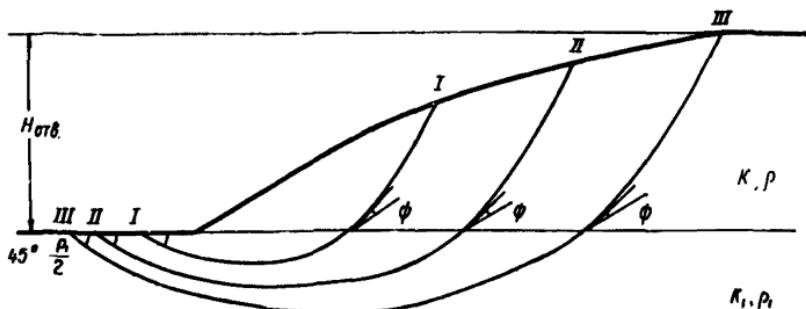


Рис.22. Схема к расчету устойчивости отвала вышуклого профиля на слабом основании

напряжениями, в интервале рабочих напряжений заменяется прямой (см.п.2.7); в полученные условные величины  $\rho$  и  $K$  вводится коэффициент запаса, и вычисляется величина  $H_{80}$ . Затем по графику выпуклых откосов определяется контур откоса. Нижняя часть откоса отвала выполняется до угла естественного откоса  $34\text{--}36^\circ$ ; в верхней части откос постепенно выполняется.

Проверочные расчеты выполняются в соответствии с п.3.11 по ряду расчетных поверхностей.

При отвалообразовании на слабом основании предельная высота отвала при угле естественного откоса, в зависимости от мощности и прочности горизонтально залегающего в основании отвала слабого слоя, ориентировочно может быть определена по графику (рис.23).

## 6. Обеспечение устойчивости боргов карьеров после погашения работ в них

6.1. На погашение работ в глубоких карьерах должны составляться специальные проекты, в которых решается вопрос о дальнейшем использовании отработанных карьеров в народном хозяйстве как водоемов, водохранилищ, хвосто-

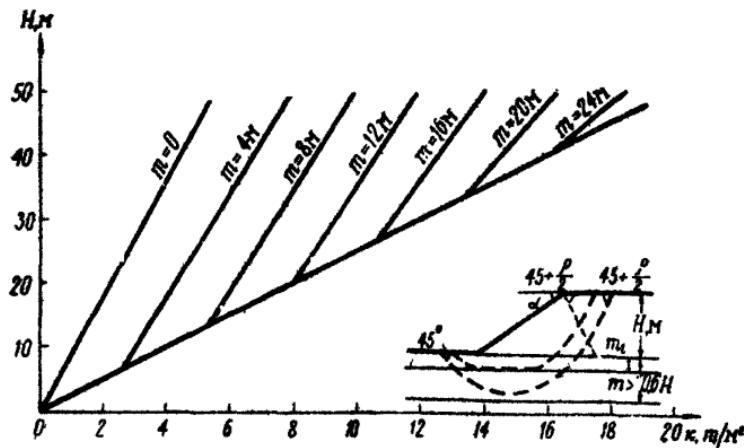


Рис.23. График зависимости между высотой отвала грунтов и сопротивлением сдвигу основания. Исходные данные:  $K_{\text{отв}}=0$ ;  $\rho_{\text{отв}}=35^{\circ}$ ;  $K'=0 - 20 \text{ t/m}^2$ ;  $\rho'=0$ ;  $\tau_{\text{отв}} = \tau_{\text{осн}} = 2,0 \text{ t/m}^2$

хранилищ, канализационных коллекторов или как объектов специального назначения и т.д.

6.2. Прилегающая к погашенному карьеру территория, а также площадь, освободившаяся после рекультивации отвалов, может использоваться для строительства промышленных и гражданских объектов; эта территория, включая также и территорию в пределах призмы, примыкающей к откосу и ограниченной наиболее напряженной поверхностью, может быть превращена в зону отдыха трудящихся.

Незастроенная зона поверхности, примыкающая к верхней бровке борта, в пределах призмы, ограниченной наиболее напряженной поверхностью, застройке не подлежит x). При наличии в пределах этой зоны зданий и сооружений должны проводиться наблюдения за деформациями бортов по специальной программе. Если по данным наблюдений

x) При особых условиях строительство на поверхности в пределах этой призмы возможно при коэффициенте запаса устойчивости борта более 2,5.

Судет сделан вывод о возможном опасном развитии деформаций, то вопрос о переносе сооружений или о проведении мер по предотвращению опасного развития деформаций должен быть решен технико-экономическими расчетами.

8.3. Вопрос об устойчивости бортов погашенных карьеров должен решаться в зависимости от принятого варианта использования карьера в народном хозяйстве. С точки зрения устойчивости погашенного борта, наиболее оптимальным вариантом является полное затопление карьера, так как устойчивость бортов при этом повышается на 25-40% (кроме случаев, когда в борту преобладают пески). При использовании погашенного карьера как емкости под хвостохранилище, устойчивость бортов также будет повышаться по мере его заполнения твердыми составляющими.

8.4. При постоянном затоплении карьера наиболее неблагоприятные условия устойчивости борта создаются при подтоплении его на 1/3 глубины; коэффициент запаса устойчивости борта при этом уменьшается на 10-25%.

8.5. При затоплении карьеров, борта которых сложены песчано-глинистыми породами, необходимо учитывать волново-

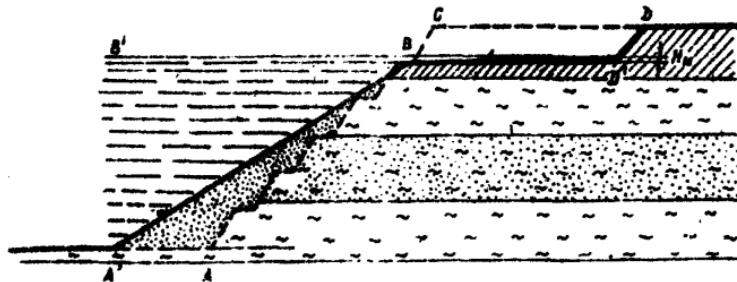


Рис.24. Изменение профиля борта карьера при волновой переработке берега водоема. АВС - предельный профиль борта карьера до затопления; А'В'D' - устойчивый профиль борта карьера, сформировавшийся в результате волновой переработки берегов; ВВ' - уровень воды в карьере;  $H_m$  - наибольшая возможная высота волны в водоеме; ВД' - подводная береговая отмель

вое воздействие водоема на надводную часть бортов, так называемую "переработку берегов". При волновой переработке берегов происходит образование береговой отмели, которая гасит волновую энергию, расходовавшуюся ранее на разрушение пород берега. Обрушившиеся породы размещаются в водоеме под углом естественного откоса под водой (рис.24). Величина отступления берега под влиянием волнового воздействия может быть предрасчитана по известным в литературе методам /17/.

## Принятые обозначения, основные понятия и термины

- а - ширина приэмы обрушения борта (откоса уступа, отвала) по земной поверхности (верхней площадке уступа, отвала), м
- D - результирующая сила гидростатического и гидродинамического давлений, т
- E - силы реакции между смежными блоками (равнодействующие сил трения и сцепления), действующие по боковым поверхностям отдельного блока, т
- $\xi = 45^\circ - \frac{\rho}{2}$  - угол между направлением наибольшего главного напряжения и площадкой скольжения, град.
- H - высота борта, м
- H<sub>90</sub> - высота вертикальной трещины отрыва, м
- H<sub>δ</sub> - предельная высота вертикального откоса, м
- $H_n = \frac{H}{\sin \alpha}$  - наклонная высота борта, м
- $H' = \frac{H}{H_{90}}$  - условная высота борта (откоса уступа, отвала), м
- α - угол наклона борта, град.
- δ - угол откоса уступа, град.
- λ - коэффициент структурного ослабления массива
- k - сцепление пород в монолите (образце), т/м<sup>2</sup>
- k<sub>и</sub> - сцепление пород в массиве, т/м<sup>2</sup>
- k' - сцепление пород по контактам поверхностей ослабления массива, т/м<sup>2</sup>
- k<sub>н</sub> - сцепление (расчетная величина), измененное на величину коэффициента запаса устойчивости, т/м<sup>2</sup>

- $\rho$  - угол внутреннего трения горных пород, град.  
 $\rho'$  - угол внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления массива, град.  
 $\rho_n$  - угол внутреннего трения (расчетная величина), измененный на величину коэффициента запаса устойчивости, град.  
 $\psi$  - угол сдвига, град.  
 $\psi'$  - угол сдвига по контакту слоев, град.  
 $L$  - длина поверхности скольжения (расчетной поверхности) призмы возможного обрушения, м  
 $L'$  - длина поверхности скольжения (расчетной поверхности) призмы возможного обрушения по контакту, м  
 $n$  - коэффициент запаса устойчивости борта, откосауступа, отвала  
 $\tau_{\max}$  максимальное значение общего сопротивления сдвигу отвальной массы (горной породы),  $\text{т}/\text{м}^2$   
 $c_c$  - касательное напряжение на площадке скольжения,  $\text{т}/\text{м}^2$   
 $c_y$  - общее сопротивление сдвигу горной породы, соответствующее определенному значению  $\rho_n$ ,  $\text{т}/\text{м}^2$   
 $\sigma_1$  - наибольшее главное напряжение,  $\text{т}/\text{м}^2$   
 $\sigma$  - приведенное напряжение,  $\text{т}/\text{м}^2$   
 $\sigma_n$  - нормальное напряжение на площадке скольжения,  $\text{т}/\text{м}^2$   
 $\gamma$  - объемный вес пород в массиве,  $\text{т}/\text{м}^3$   
 $\Delta$  - удельный вес грунта,  $\text{г}/\text{см}^3$   
 $\Delta_w$  - удельный вес воды,  $\text{г}/\text{см}^3$   
 $P_i$  - вес отдельного блока, на которые разбивается призма возможного обрушения, т  
 $N_i$  - нормальная составляющая веса отдельного блока, т  
 $T_i$  - касательная составляющая веса отдельного блока, т  
 $\varphi_i$  - угол наклона площадки, являющейся основанием отдельного блока, град.

$R$  - равнодействующая сил трения и нормальной составляющей веса отдельного блока, т

$\theta, \theta'$  - углы излома поверхности скольжения, град.

$\beta$  - угол падения слоев и поверхностей ослабления, град.

$W$  - средняя интенсивность трещиноватости массива горных пород, 1/пог.м

1. К оэффициент запаса устойчивости борта (откоса уступа или отвала) - отношение суммы всех сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме всех сдвигающих сил, стремящихся вывести его из равновесия; действие этих сил во всех инженерных методах расчета устойчивости откосов переносится на наиболее напряженную поверхность, форма и расположение которой в массиве, прилегающем к откосу, определяются основными положениями теории предельного равновесия сущей среды.

2. Наиболее напряженная поверхность - поверхность в примыкающем к борту (откосу уступа или отвала) массиве, верхней своей частью выходящая на дневную поверхность (верхнюю площадку уступа или отвала), а нижней - в подошву (нижнюю бровку) борта (откоса уступа или отвала), по которой коэффициент запаса устойчивости борта (откоса уступа или отвала) является минимальной величиной из всех вычисленных по ряду расчетных поверхностей коэффициентов запаса устойчивости.

3. Оптимальные параметры борта (откоса уступа и отвала) - угол наклона  $\alpha$  и высота  $H$  устойчивого борта (откоса уступа и отвала), обеспечивающие экономически целесообразные объемы вскрытых пород.

4. Предельное равновесие при земных обрушениях борта, откоса уступа или отвала (предельное равновесие борта, откоса уступа или отвала) - такое напряженное состояние примыкающего к откосу массива, когда на наиболее напряженной поверхности отношение суммы всех сил, удерживающих призму обрушения в равновесии, к сумме всех сдвигающих сил, стремящихся

вывести ее из состояния равновесия, равно 1,0.

5. Призма обрушения борта карьера (откоса уступа, отвала) - часть массива горных пород (отвальных масс), заключенная между бортом карьера (откосом уступа или отвала) и поверхностью скольжения.

В состоянии предельного равновесия призма обрушения борта (откоса уступа, отвала) отрывается от массива и смещается к основанию борта (уступа или отвала) по поверхности скольжения.

6. Призма возможного обрушения борта карьера (откоса уступа, отвала) - часть массива горных пород (отвальных масс), заключенная между бортом карьера (откосом уступа или отвала) и наиболее напряженной поверхностью в массиве, по которой коэффициент запаса устойчивости с учетом нагрузки от веса применяемого оборудования менее допустимого, предусмотренного проектом.

7. Поверхность скольжения - поверхность в массиве борта карьера (откоса уступа или отвала), являющаяся геометрическим местом точек максимальных относительных сдвигов горных пород и отделяющая смещающуюся часть (призму обрушения) от основной неподвижной части массива горных пород. В большинстве случаев поверхность скольжения в массиве частично или полностью совпадает с поверхностями пониженного сопротивления сдвигу горных пород (крупные трещины, слоистость, тектонические нарушения, относительно слабые слои и прослойки).

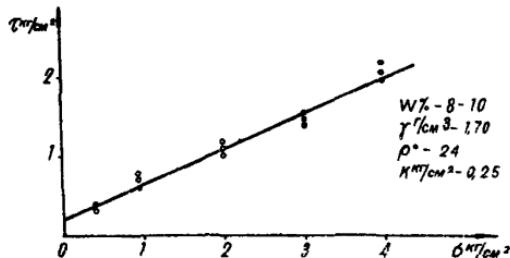
8. Расчетная поверхность - поверхность в массиве, примыкающем к борту (откосу уступа или отвала), по которой при расчете устойчивости борта (откоса уступа или отвала) производится сравнение сил, удерживающих откос в равновесии, с силами, стремящимися вывести его из состояния равновесия. Расчетные поверхности применяются при расчетах устойчивости откосов для отыскания наиболее напряженной поверхности в тех случаях, когда местоположение и форму последней предварительно без расчета устойчивости установить не-

возможно (в сложных инженерно-геологических условиях); наиболее напряженная поверхность в этих условиях совпадает с той из ряда расчетных поверхностей, по которой вычисленный коэффициент запаса устойчивости откоса является минимальным.

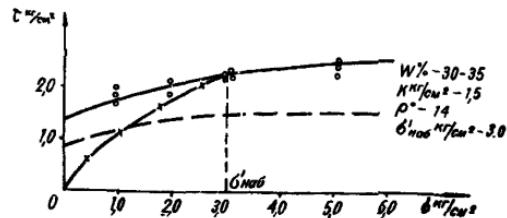
9. Ширина призмы возможного обрушения на земной поверхности борта, верхней площадке уступа или отвала - горизонтальное расстояние между бровкой борта (откоса уступа или отвала) и контуром наиболее напряженной поверхности, по которой коэффициент запаса устойчивости с учетом нагрузки от горного оборудования менее допустимого, предусмотренного проектом.

## ПРИМЕРЫ ГРАФИКОВ СОПРОТИВЛЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД СДВИГУ

## 1. Неводонасыщенные суглинки



## 2. Глины естественной плотности-влажности и разуплотненные



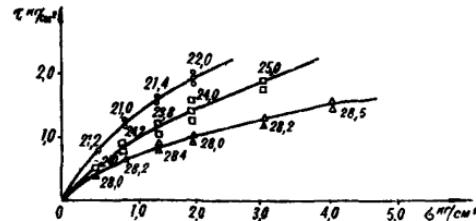
— график сопротивления срезу глин естественной плотности-влажности

$\times$  график сопротивления срезу разуплотненных глин

— нижняя граница напряжений, вызывающих пластические деформации

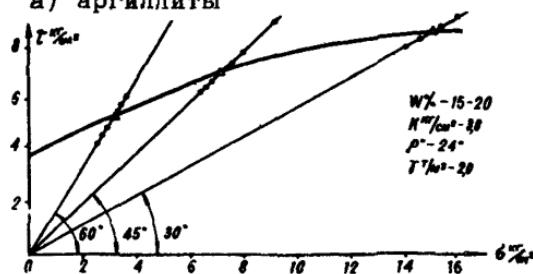
## 3. Отвальные породы (при неполном водонасыщении)

Смесь состоит: суглинок 5%, аргиллит 42%, алевролит 25%, песчаник 28%

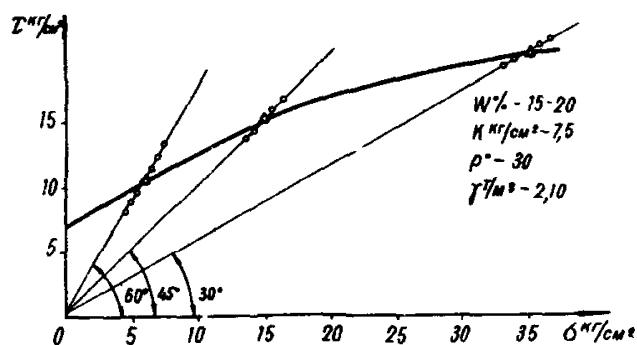


## 4. Песчано-глинистые полускальные породы

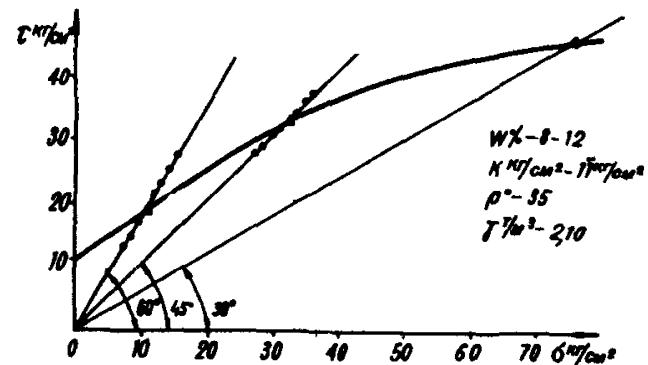
а) аргиллиты



б) алевролиты

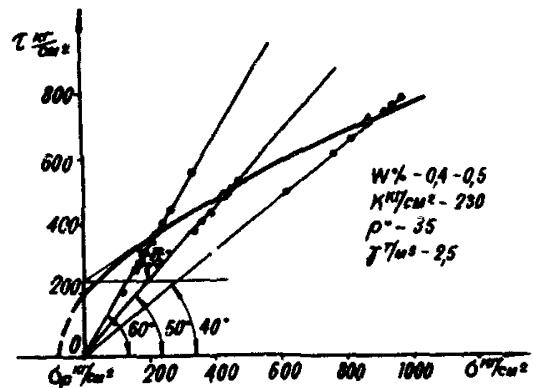


в) песчаники

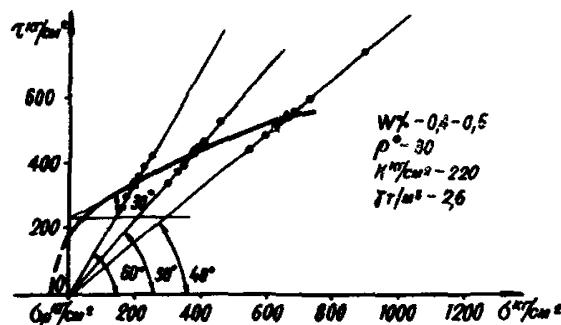


## 5. Скальные породы

### а) кварцодержащие



### б) бескварцевые



Приложение 3

Физико-механические свойства некоторых горных пород

Литологическое наименование горных пород	Физико-механические характеристики					Размер элементарного структурного блока, м
	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Удельный вес, г/см <sup>6</sup>	Влажность, %	Сцепление в образце, кг/см <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения, град.	
I	2	3	4	5	6	7
I. Крепкие породы						
Извещенные ( $\kappa > 300$ кг/см <sup>2</sup> )						
Гранитоиды, кварцевые порфирь, сиениты, порфириты, габбро-диориты	2,6-3,0	2,64-2,80	0,40-0,50	360-420	36	0,4-0,5
Габбро, габбро-диабазы, перidotиты, пироксениты	2,8-3,2	-	-	320-400	34	0,6-0,8
Метаморфические и осадочные ( $\kappa > 200$ кг/см <sup>2</sup> )						
Кварциты	2,64	2,84	0,50	350-700	36	0,5-0,7
Джессипилиты, роговики, роговики гидрогематитовые, сланцы кремнисто-глинистые	2,6-3,4	-	0,20-0,40	300-380	34	0,3-0,4
Сланцы кварцево-хлорито-серпентитовые, филлиты туфриты, серпентиниты, скарны, кварцевые песчаники, известняки	2,5-2,9	2,6-2,8	0,14-0,40	210-300	33	0,4-1,0

I	2	3	4	5	6	7
П. Породы средней прочности						
Извещенные слабовыветрелые ( $\kappa \leq 500$ кг/см <sup>2</sup> )						
Гранитоиды, кварцевые порфиры, сиениты, сиенито-диориты, грано-диориты, гранодиориты-порфиры	2,50-2,57	2,64-2,75	0,20-1,05	205-285	35	0,3-0,5
Порфириты, габбро-диабазы, диабазы, спилиты	2,75-00	-	-	210-285	36	0,5-0,7
Извещенные выветрелые ( $\kappa = 20 - 200$ кг/см <sup>2</sup> )						
Сиенито-диориты, керато-диориты, грано-диориты-порфиры, габбро-диориты	2,40-2,66	2,7		120-180	34	0,3-0,5
Метаморфические ( $\kappa = 20-200$ кг/см <sup>2</sup> )						
Кварциты	2,61	2,78		165	34	0,5-0,7
Кварциты каолинизированные	2,24	2,59		48	30	0,2-0,3
Сланцы песчано-кальцистые, сланцы хлорито-кварцевые и хлоритовые	2,8-2,9	-	-	140-180	35	0,3-0,4
Филлиты	-			152	27	0,3
Магнетиты	4,32			190	34	0,2-0,3
Тальково-кароонатная порода, серпентиниты выветрелые	2,50-2,90			85-120	32	0,2-0,3
Серпентиниты рассланцованные, сильно-выветрелые	2,50			23	33	0,05-0,3

1	2	3	4	5	6	7
		Осадочные	( $\kappa = 20-200 \text{ кг}/\text{см}^2$ )			
Известняки	2,44- 2,67	2,83	0,1- 4,0	I40-I65	27-32	0,3-0,8
Известняки выветрельные, песчаники аркозовые, песчаники глинистые	2,37- 2,57			75-175	35	0,5
Песчаники с карбонатным цементом	2,57	2,68	2,27	I70	36	0,4
Песчаники с глинисто-же- лезистым це- ментом, алев- ролиты, аргил- литы	2,31- 2,53	2,70- 2,80	2,70- 8,00	40-90	33	0,2-0,7
Уголь	I,26- I,58		5,00	28	36	0,03-0,6

III. Слабые породы ( $\kappa < 20 \text{ кг}/\text{см}^2$ )

		Сильно выветрельные изверженные и метаморфические				
Габбро-диориты	2,40			I4,3	36	
Сланцы	2,12		I8,0	I,2-I3,6	28	
Песчаники, диабазы, доломиты, сидериты	2,00- 2,10		I9,6- 31,6	I,4- 7,5	34	
		Осадочные				Отношение $\frac{T_u}{T_p}$ (предел ползучести)
Песчаники	2,11	2,65	II,0	II,0	35	
Алевролиты	2,13	2,48	20,0	3-I7	31	0,8-0,9
Аргиллиты	2,02	2,67	I8,0	3-I0	29	0,7-0,9
Песок разно- зернистый	2,04	2,65	I6,5	0,0-0,24	35	-
Песок сред- незернистый	I,75	2,64	I7,0	0,I-0,15	33-34	-
Песок мелко- зернистый	I,96	2,68	23,0	0,I-0,35	31-32	-

1	2	3	4	5	6	7
Песок тонко-зернистый	I,80	2,66	I7,0	0,28	30	-
Песок глинистый уплотненный	2,08	2,65	I8,0	0,45-0,8	26-32	0,7-0,8
Песок глинистый мелкозернистый	I,80		40,0	0,4-0,70	28-30	0,6-0,8
Песок глинистый тонкозернистый	I,99	2,67	25,0	0,35-0,6	26-28	0,6-0,8
Супесь	I,80	2,66	I3,0	0,17	30-34	0,6-0,8
Суглинок пылеватый лессовидный	I,76	2,68	I6,0	0,35-0,65	27-32	0,6-0,8
Суглинок пылеватый	I,90	2,69	2I,0	0,25-0,4	22-27	0,6-0,8
Лессы	I,76			I,05	29	0,6-0,7
Мел трещиноватый	I,90	2,64	3I	I,40	35	0,8
Мел переотложенный	I,92	2,70	26	0,5	35	0,7-0,8
Глина брекчия видная	2,I9		I5	I,6-7,6	28	-
Глина бокситовая видная	2,20		I3	I,25-4,I	27	0,8
Глина опоковая видная	I,64	2,55	46	I,55	23	-
Глина песчаная	2,02	2,70	22	0,5-I,25	I8-23	0,6-0,8
Глина плотная	I,98	2,69	25	I,3-3,5	I6-25	0,6-0,8
Глина пестроцветная	I,96	2,70	27	0,8-I,5	I4-I8	0,4-0,6
Глина коры выветривания	I,94	2,78	26	I,00	I5-I7	0,5-0,8
Глина плотная пылеватая	I,96	2,70	25	0,6-I,75	9-15	0,5-0,7

1	2	3	4	5	6	7
Глика плотная литой воск	1,93	2,42 2,93	20	1,75	15	0,4-0,6
Глика кирпичная	1,91	2,54	26	0,50	9	0,3-0,5

Приложение 4

Значения углов трения по поверхности основания

Наименование пород	Углы трения в зависимости от характера поверхности			
	Неровные переко-ва- тие	Ровные не- ровчатые	Неровные гладкие	Ровные гладкие
Порфиры, роговики, дис- пилиты, песчаники	28-31°	24-28°	22-27°	20-25°
Вторичные кварциты, гра- но-диориты, кварцевые порфирь, гранодиорит-пор- фиры, скарнированные по- роды, синеклиты, диориты, алевролиты	25-28°	22-25°	20-23°	17-20°
Известняки, калькаропи- ческие сланцы, магнетиты	24-27°	23-25°	20-22°	16-19°
Глинистые сланцы, аргиллиты	21-23°	21-23°	18-20°	15-18°
Филлиты, талько-хлори- товые и серицитовые сланцы	23-25°	20-22°	16-15°	9-12°

Определение параметров устойчивых бортов  
с учетом их криволинейности в плане

Условия устойчивости вогнутых в плаче бортов лучше условий устойчивости прямолинейных в плане бортов за счет дополнительного сопротивления смешению призмы обрушения, создаваемого силами бокового распора.

Геологическое строение пород, слагающих борта карьеров, и конфигурация криволинейных в плане бортов определяют схему расчета их устойчивости.

Схема 1. Карьер круглой формы.

Схема расчета применима для карьеров, контур которых в плане близок к окружности как поверху, так и по низу (по подошве). Отклонения радиусов карьера поверху и понизу в различных точках контура борта не должны превышать 15% среднего значения радиуса. Кроме того, борт карьера не должен прорезаться траншеей более чем на 1/3 глубины карьера. Последнее условие должно соблюдаться и для схем 2,3,4.

Определение параметров бортов карьеров круглой формы производится в такой последовательности.

Сначала по схемам расчета, предложенным в "Методических указаниях ..." (см.п.п. 3.5-3.21), определяется угол наклона прямолинейного в плане борта плоского профиля  $\alpha_{pl}$ . Затем вычисляется поправка к этому углу за кривизну борта в плане.

Порядок вычисления поправки следующий:

а) по расчетным характеристикам  $\rho_n$ ,  $k_n$ ,  $T$  (характеристики по контактам  $\rho'_n$  и  $k'_n$  не учитываются) определяют величину  $H_{90}$ ;

б) на плане горных работ определяют средний радиус подошвы карьера  $R_n$  и рассчитывают условную величину его  $R' = \frac{R_n}{H_{90}}$ ;

в) по графику поправок (рис.25) для значения  $R'$

определяют поправку  $\Delta\alpha_0$ .

Для заданной глубины карьера  $H$  минимально допустимый радиус выемки понизу  $R'_0$ , при котором можно пользоваться графиком поправок (рис.25), определяется по формуле:

$$R'_0 \geqslant \left( \frac{H}{H_{90}} + 11,5\rho_n - 7,0 \right) \times \log(45^\circ - \rho_n) \quad (40)$$

Рис.25. График зависимости поправки к углу наклона борта от радиуса кривизны по низу выемки

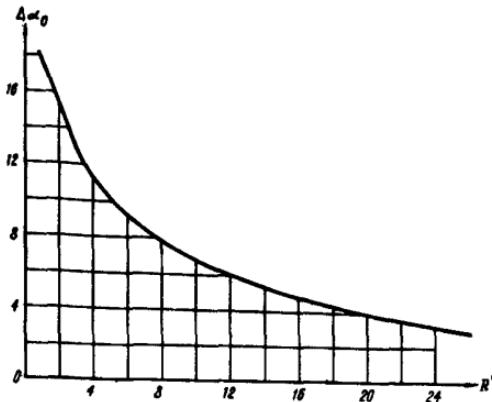
наклона борта равен  $\alpha = \alpha_{pl} + \Delta\alpha_0$ . Если радиус понизу меньше допустимого, вычисленного по формуле (40) для заданной глубины, то для определения профиля откоса используются график предельных очертаний откосов вогнутого профиля круглых выемок (рис.26а). Графиком пользуются следующим образом:

а) по относительным величинам  $H' = \frac{H}{H_{90}}$  и  $R' = \frac{R}{H_{90}}$  определяют контур откоса на графике;

б) в точке пересечения этого контура со штриховой линией определяют радиус  $R'_1$  и высоту  $H'_1$ ;

в) для высоты  $H'_1$  методом аналогий <sup>x)</sup> определяют

<sup>x)</sup> Сущность определения угла откоса круглой выемки методом аналогий заключается в следующем: а) по графику предельных очертаний откосов вогнутого профиля круглой выемки (рис.26а) и по графикам откосов вогнутого профиля, прямолинейных в плане (рис.26б), с использованием характеристик  $\rho_n, k_n, \gamma, H'_1$  и  $R'_1$  определяют контуры откосов и разность (поправку) между средними значениями



Искомый угол

наклона борта равен  $\alpha = \alpha_{pl} + \Delta\alpha_0$ .

Если радиус понизу

меньше допустимого,

вычисленного по

формуле (40) для

заданной глубины,

то для определения

профиля откоса ис-

пользуются графиком

предельных очертаний

откосов вогнуто-

го профиля круглых

выемок (рис.26а).

Графиком пользуют-

ся следующим обра-

зом:

а) по относительным

величинам  $H' = \frac{H}{H_{90}}$

и  $R' = \frac{R}{H_{90}}$  опре-

деляют контур откоса

на графике;

б) в точке пересечения

этого контура со штриховой

линией определяют радиус

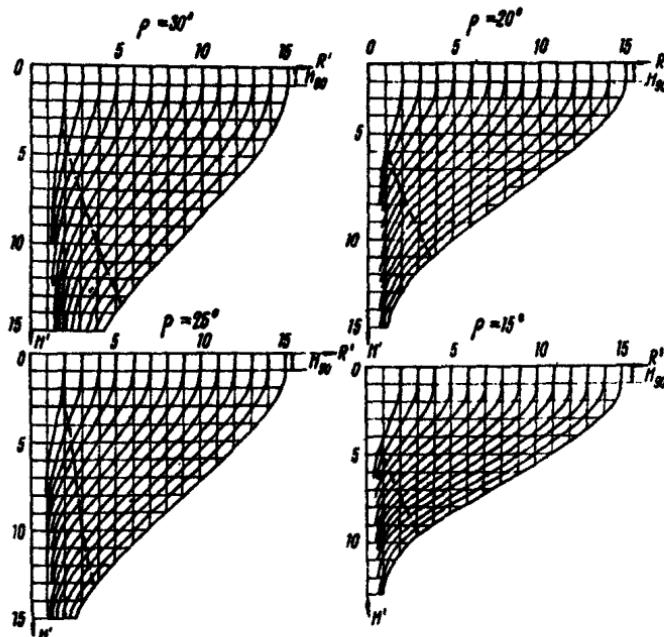
$R'_1$  и высоту  $H'_1$ ;

в) для высоты  $H'_1$  ме-

тодом аналогий <sup>x)</sup> опре-

деляют

а



б

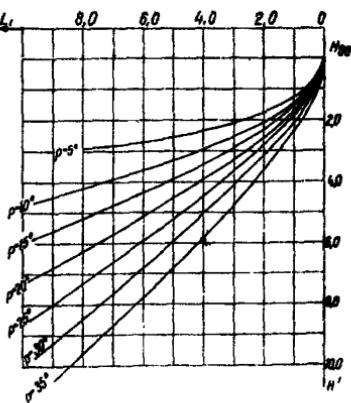


Рис. 26. Графики предельных очертаний откосов:  
а) вогнутого профиля круглых выемок; б) вогнутого профиля прямолинейных в плане выемок; масштаб графиков  $H : H_{90} = H'$ ,  
где  $H_{90} = \frac{2k}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - \rho/2)$

$\text{t/m}^3$ ,  $k$  — сцепление в массиве,  $\text{t/m}^2$ ,  $\rho$  — угол внутреннего трения,  $H$  — действительная глубина выемки,  $\text{m}$

$$R' = \frac{R}{H_{90}}, R — \text{радиус выемки, м}$$

$$L' = \frac{L}{H_{90}}, L — \text{заложение откоса, м}$$

параметры откоса плоского профиля;

г) в интервале глубин от  $H'$  до  $H'$  откосу придается плоский профиль с максимальным технически допустимым углом.

Схема 2. Прямолинейные участки откосов, зажатые на закруглениях борта.

Основное условие расчета по этой схеме: поправка к углу за "зажатость" не должна превышать поправки за кривизну борта. Это условие определяет условную длину  $l'_0$  зажатого участка, эквивалентного закруглению:

$$l'_0 = \text{ctg } \rho_n + R' \text{tg} (50^\circ - \rho_n), \quad (41)$$

где  $R' = \frac{R_n}{H_{90}}$  — условный радиус по подошве карьера;  
 $\rho_n$  — радиус закругления по подошве карьера.

Общая длина зажатого участка равна:

$$l' = l'_0 + l'_1, \quad (42)$$

где  $l'_1 = \frac{l}{H_{90}}$  — условная длина прямолинейного участка;  
 $l$  — длина прямолинейного участка борта.

Угол наклона прямолинейного участка борта, зажатого на закруглениях, определяется в такой последовательности.

Сначала по графику поправок (рис.27) определяют поправку к углу наклона  $\Delta \alpha_0$ , а затем вычисляют общий угол наклона:  $\alpha = \alpha_{пл} + \Delta \alpha_0$ .

Схема 3. Карьер с квадратной подошвой при условии, когда линейный размер подошвы меньше 2-х наклон-

---

углов этих откосов —  $\Delta \alpha_0$ ; б) по графику зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом (рис.6) определяют угол наклона откоса плоского профиля для высоты  $H'$  —  $\alpha_{пл}$ ; в) искомый угол наклона борга плоского профиля круглой выемки вычисляют по формуле:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta \alpha_0.$$

ных высот борта (рис.28).

Схема применима также для определения угла наклона зажатых участков бортов, размер которых по простианию

$L$  не превышает 2-х наклонных высот борта  $H_{\text{н}}$ .

Порядок определения параметров устойчивости борта следующий:

а) по графику поправок, представленному на рис.27, определяют поправку  $\Delta\alpha$  за степень зажатости участка по условной длине прямолинейного участка  $l'$ ; угол наклона борта на прямолинейных участках будет:  $\alpha_1 = \alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha$ ;

Рис.27. График зависимости  $\Delta\alpha$  от длины зажатого участка  $l'$ .

б) на закруглениях поправка  $\Delta\alpha_0$  определяется по графику (рис.25) для допустимого радиуса понизу  $R_0'$ , определяемого по формуле (40); по профилям, проходящим через угловые точки подошвы карьера, наклон борта равен  $\alpha_2 = \alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha_0$ ;

в) на диагонали квадрата отыскивается центр закругления, находящийся на расстоянии  $R_0' \cdot H_{90}$  от угла (рис.28). Верхняя бровка борта проводится радиусом  $R = R_0' \cdot H_{90} + H_{90}\alpha_2$  до пересечения с бровкой плоского борта.

В случае, когда при построении верхнего контура карьера верхняя бровка закругления не пересекает бровку прямолинейного участка борта, она

Рис.28. Карьер с квадратной подошвой

$$R = R_0' \cdot H_{90} + H_{90}\alpha_2,$$

Схема 4. Карьер с квадратной или прямоугольной подошвой с линейными размерами подошвы более 2-х наклонных высот борта.

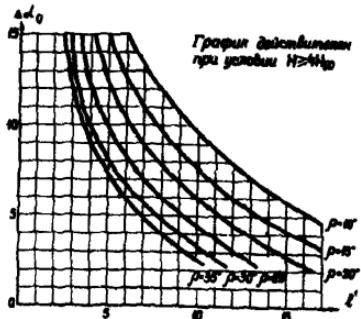


Рис.27. График зависимости  $\Delta\alpha$  от длины зажатого участка  $l'$ .

б) на закруглениях поправка  $\Delta\alpha_0$  определяется по графику (рис.25) для допустимого радиуса понизу  $R_0'$ , определяемого по формуле (40); по профилям, проходящим через угловые точки подошвы карьера, наклон борта равен  $\alpha_2 = \alpha_{\text{пл}} + \Delta\alpha_0$ ;

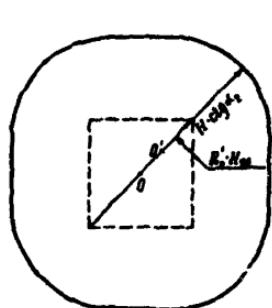


Рис.28. Карьер с квадратной подошвой

$$R = R_0' \cdot H_{90} + H_{90}\alpha_2,$$

Схема 4. Карьер с квадратной или прямоугольной подошвой с линейными размерами подошвы более 2-х наклонных высот борта.

Определение параметров выполняется в следующем порядке.

На прямолинейных участках борту придается угол, определенный по графику зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом (рис.6) –  $\alpha_{пл}$ .

На закруглениях поправка  $\Delta\alpha_0$  определяется для допустимого радиуса понизу  $R'_0$  по графику поправок (рис.25). Центр закругления находится на биссектрисе угла на расстоянии  $R'_0 \cdot H_{90}$  от вершины. Радиус закругления верхней бровки равен  $R = R'_0 \cdot H_{90} + H \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0)$ .

В том случае, когда при построении контура карьера верхняя бровка закругления не пересекает верхнюю бровку прямолинейного участка борта, она проводится радиусом  $R$ :

$$R = R'_0 \cdot H_{90} + H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{пл}$$

Схема 5. Карьер эллипсоидальной формы.

Схема применима также для карьеров с кризелинейными вогнутыми бортами, у которых для отдельных участков можно подобрать свои радиусы закругления поверху и понизу.

Порядок определения параметров бортов карьеров эллипсоидальной формы следующий:

а) для всех участков криволинейного в плане борта определяют центры радиусов закруглений (для карьера эллипсоидальной формы, в частности, выделяется четыре участка, причем для двух симметрично расположенных участков радиусы закругления одинаковы – рис.29);

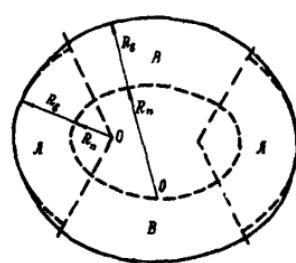


Рис.29. Карьер эллипсоидальной формы

б) по характеристикам  $R_n$  и  $k_n$  определяют величину  $H_{90}$  и условный радиус закругления по подошве карьера  $R = \frac{R_n}{H_{90}}$  для каждого вычисленного участка;

в) по графику зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом (рис.6) определяют угол наклона борта плоского профиля –  $\alpha_{пл}$ ;

г) по графику зависимости поправки к углу наклона прямолинейного в плане борта от радиуса кривизны по низу выемки (рис.25) определяют поправку за кривизну борта  $\Delta\alpha_0$  для всех участков по известным значениям  $R'$ ;

д) угол наклона криволинейных участков бортов карьера определяют по формуле:  $\alpha_i = \alpha_{пл} + \Delta\alpha_i$ ;

е) верхняя бровка криволинейного участка борта проводится радиусом  $R = R_n + H \sin (\alpha_{пл} + \Delta\alpha_i)$ ;

ж) контур карьера плавно сглаживается путем постепенного увеличения угла наклона борта, начиная с границы участка с большим радиусом кривизны, от величины его на этом участке до величины угла наклона борта на участке с меньшим радиусом закругления, как показано на рис.29.

**Схема 8.** Карьер круглой формы, прорезанный глубокой траншееей не менее чем на  $2/3$  глубины карьера.

Порядок установления параметров бортов карьеров по схеме 6 следующий:

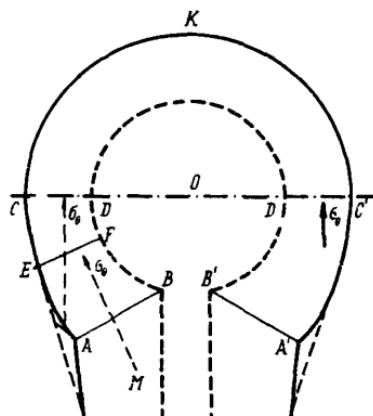
а) карьер делят на две половины таким образом, чтобы траншея оказалась посередине одной из частей (рис.30);

б) для половины карьера, борт которой не прорезается траншееей, поправку  $\Delta\alpha_0$  определяют так же, как по схеме 1 (см.стр.71-72);

в) на прорезанной половине угол наклона борта следует принимать переменным - от  $\alpha_{пл}$  на границе с траншееей до  $\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$  на границе со второй половиной борта.

Для условий схем 3,4,5, если борт рассечен глубокой траншееей, для нерассеченной половины борта поправка  $\Delta\alpha_0$  определяется по соответствующей схеме; в прорезанной половине угол наклона борта переменный

Рис.30. Карьер круглой формы, прорезанный глубокой траншееей



- от  $\alpha_{пл}$  у границы с траншееей до  $\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$  на границе со второй половиной борта.

**Схема 7.** Применяется для определения параметров бортов карьеров на сопряжении закруглением двух прямолинейных участков борта, угол простирации между которыми находится в интервале  $90^\circ - 180^\circ$ .

Определение параметров бортов карьеров по схеме 7 производится в такой последовательности (рис.31):

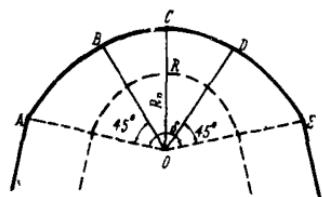


Рис.31. Сопряжение двух прямолинейных участков борта закруглением

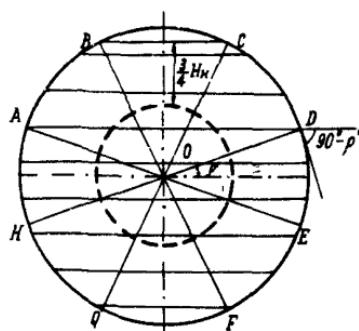


Рис.32. Карьер круглой формы, борта которого рассечены вертикально залегающими слоями

и ОЕ - угол наклона плавно уменьшается от  $\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$  до  $\alpha_{пл}$

а) по графику поправок (рис.25) по относительному радиусу кривизны  $R' = \frac{R_n}{H_{90}}$  определяют поправку  $\Delta\alpha$ ;

б) при  $\Delta\alpha_0 > 10^\circ$  угол наклона в среднем сечении закругления (ОС на рис.31) определяют по формуле:

$$\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha_0 \sin \frac{\delta}{2},$$

где  $\delta$  - угол между простиранием сопряженных прямолинейных бортов;

на остальных сечениях закругления угол наклона принимается переменным - от  $\alpha_{пл}$  на границе с плоским бортом до  $\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha_0 \sin \frac{\delta}{2}$  в среднем сечении закругления;

в) при  $\Delta\alpha_0 < 10^\circ$  для средней части закругления на участке от сечения OD до сечения OB, расположенных к крайним сечениям прямолинейных участков AO и OE под углом  $45^\circ$  (рис.31), угол наклона борта принимается равным  $\alpha = \alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$ ; между сечениями OB и OA, OD

Приведенные выше семь схем по определению поправок к углу наклона за кривизну борта в плане применяются для неслоистого массива, в котором нет поверхностей ослабления, а также при условии, когда имеющиеся поверхности ослабления и зоны анизотропии прочности (зоны разлома, сланцеватости) имеют локальное распространение и не рассекают борт.

В слоистом массиве, где сцепление по контактам слоев, как правило, значительно меньше сцепления в массиве, следует различать три случая залегания пород:

- а) горизонтальное и пологое — угол падения слоев до  $20^{\circ}$ ;
- б) наклонное и крутое — угол падения слоев  $20\text{--}80^{\circ}$ ;
- в) весьма крутое и вертикальное — угол падения слоев  $80\text{--}90^{\circ}$ .

При горизонтальном и пологом залегании слоев слоистого массива они не рассекаются бортом карьера круглой формы, а боковой распор в породах, слагающих борт карьера, действует, как в неслоистом массиве. Поэтому при горизонтальном и пологом залегании слоев для определения угла наклона криволинейного борта следует применять вышеприведенные расчетные схемы.

При вертикальном залегании слоев при круглой или овальной форме карьера бортом на некоторых участках слои рассекаются и боковой распор по контактам слоев уменьшается; на этих участках параметры борта принимаются такие же, как для прямолинейного в плане борта небольшой протяженности (см.схемы 2-4).

Границы участков, на которых угол наклона борта круглой формы равен углу наклона прямолинейного в плане борта, определяются следующим образом:

- а) со стороны участка, где простижение слоев перпендикулярно простианию борта, граничное сечение ограничивается углом трения по контактам  $\rho'$  (на рис.32 граничные сечения для круглого карьера обозначены линиями ОА, ОД, ОЕ, ОН);
- б) со стороны участка, где простижение слоев парал-

пельно простиранию борта, граничные сечения проводят через точки пересечения верхней бровки слоем, пересекающим откос в сечении, нормальному к простиранию слоев, на высоте  $\frac{3}{4} H_n$  ( $H_n$  - наклонная высота борта) от нижней бровки борта (на рис.32 этими сечениями будут ОВ, ОС, ОF, ОQ).

На участках АН, ВС, DE, QF угол наклона борта определяют, как в схеме 7 для случая сопряжения двух прямолинейных зажатых откосов.

На участках АВ, СD, EF, QH угол наклона борта принимается с поправкой за кривизну, равной половине поправки на участках АН, ВС, DE, OF.

При наклонном и круглом залегании слоев ( $20^\circ < \beta < 80^\circ$ ) угол наклона борта карьера круглой или овальной формы определяют в следующем порядке:

а) по главным сечениям ОА, ОВ, ОС, ОD (рис.33)

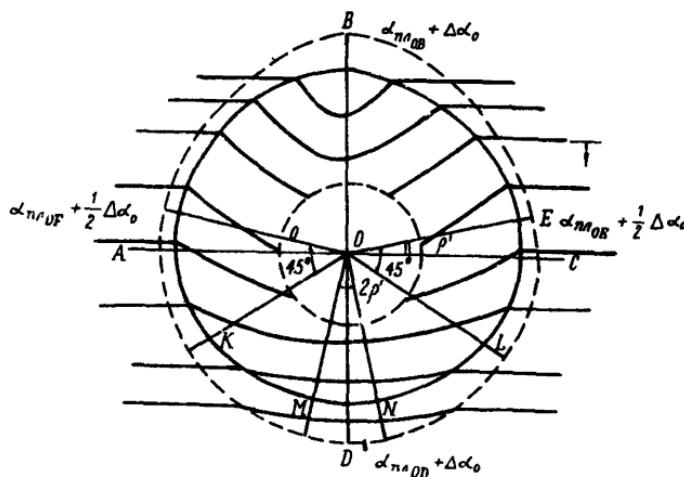


Рис.33. Карьер круглой формы при наклонном и круглом ( $20^\circ < \beta < 80^\circ$ ) залегании слоев пород, слагающих борта

угол наклона вычисляют, как для прямолинейного в плане борта плоского профиля: для сечений ОА, ОС, ОВ - по схеме У, для сечения ОВ - по схеме Х:

б) по вычисленным углам наклона строят верхний контур борта карьера для главных сечений - пунктирный контур на рис.33;

в) по графику (рис.25) определяют поправку к углу наклона за кривизну борта  $\Delta\alpha_0$  - она одинакова для всех главных сечений АО, ВО, СО, ДО;

г) по сечению ОВ угол наклона борта  $\alpha_{0B}$  принимают равным

$$\alpha_{0B} = \alpha_{плOB} + \Delta\alpha_0;$$

д) по сечениям OF и OE угол наклона принимают равным

$$\alpha_{0F} = \alpha_{0E} = \alpha_{плOA} + \frac{1}{2} \Delta\alpha_0;$$

е) на участке FBE угол принимают переменным: от  $\alpha_{плOA} + \frac{1}{2} \Delta\alpha_0$  в сечениях OF и OE до  $\alpha_{плOB} + \Delta\alpha_0$  в сечении OB;

ж) при  $\Delta\alpha_0 > 10^\circ$  на участке MN, ограниченном центральным углом  $2\rho'$ , угол наклона принимают равным  $\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$ ; на участках FM, EN угол переменный - от  $\alpha_{плOA} + \frac{1}{2} \Delta\alpha_0$  в сечениях OF и OE до  $\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$  в сечениях OM и ON;

з) при  $\Delta\alpha_0 < 10^\circ$  на участках FK и EL угол наклона переменный - от  $\alpha_{пл} + \frac{1}{2} \Delta\alpha_0$  до  $\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$ ; на участке KL -  $\alpha_{пл} + \Delta\alpha_0$ .

В слоистом массиве на участках, где имеется боковой распор, поправку по графику (рис.25) определяют по условному радиусу, полученному по характеристикам  $R_n$  и  $k_n$  без учета слоистости:

$$R' = \frac{R_n}{H_{90}},$$

где  $R_n$  - радиус выемки по подошве карьера.

При других схемах определения параметров криволинейного в плане борта в слоистом массиве условия рассчета

слоев бортом, когда уменьшается боковой распор, возникают также только при наклонном, кругом и вертикальном залегании слоев на отдельных участках, определяемых аналогично рассмотренным выше условиям круглого карьера.

## Приложение 6

### Пример расчета устойчивости бортов углеразрезов 1,2 и 5-6 Экибастузского месторождения до глубины 500 м

1. Краткая геологическая характеристика месторождения, структурные особенности участков углеразрезов 1,2 и 5-6.

Месторождение сложено породами нижнего карбона, выше которых залегают третичные и четвертичные отложения (рис.34).

Продуктивная толща содержит 4 мощных сближенных угольных пласта. Самым мощным пластом является пласт 3, мощность его 80-160 м. Пласт 2 отделяется от пластика 3 городням прослоем в 0,5-2,0 м и имеет мощность 28-45 м. Пласт 1, залегающий выше 2-го пластика на 4-8 м, имеет мощность 20-35 м. Выше пластика 1 залегает алевролитовая подсвита мощностью 175-210 м; в нижней части подсвита представлена углистыми аргиллитами, выше по разрезу толща характеризуется переслаиванием алевролитов с аргиллитами и песчаниками. Третичные отложения залегают сплошным покровом мощностью не более 15 м; представлены они глинами разной окраски и кварцевыми песками с линзами кварцитов. Четвертичные отложения покрывают почти всю площадь месторождения и представлены главным образом суглинками и супесями, мощность которых не превышает 1-2 м.

Угленосные отложения залегают в форме брахисинклинальной складки, вытянутой в северо-западном направлении. Общая протяженность мульды составляет 24 км, а в поперечнике - 8,5 км. Максимальная глубина погружения почвы пласта достигает 700 м, а кровли пласта - 500 м.

В структурном отношении участки углеразрезов №№ 1,2 и 5-6 характеризуются следующими особенностями: на 1-м углеразрезе угольные пластины имеют пологое и наклонное залегание (углы падения изменяются от  $10^{\circ}$  до  $30^{\circ}$ ), на 2-м - падение пластов от  $22^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ , на углеразрезе

3-3 наблюдается спокойное пологое залегание с углом падения до  $12\text{--}20^{\circ}$ . Вмещающие породы имеют согласное с угольными пластами залегание.

На поле углеразреза № 1 обнаружены три дислоктивных нарушения:

1) тектоническое нарушение типа взброса, зафиксированное по разведочным линиям 3 и 3-б; падение поверхности сместителя северо-восточное под углом  $65\text{--}70^{\circ}$ ;

2) тектоническое нарушение типа взброса в районе 9 разведочной линии, направление поверхности сместителя юго-западное под углом  $80^{\circ}$ ;

3) нарушение № 47 типа согласного взброса, зафиксированное скважинами разведочной линии 10-а - 13.

Отмеченные нарушения имеют кругое падение и не будут оказывать существенного влияния на устойчивость горлов углеразреза № 1.

Проведенные исследования по изучению трещиноватости массива горных пород показали, что, в основном, преобладают нормальносекущие трещины, пересекающие плоскости наслоения под углом от  $72^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ . Кососекущие трещины встречаются весьма редко и приурочены к зонам тектонических нарушений.

Расстояния между трещинами изменяются в пределах от 20 см до 90 см.

Сплошных трещин, имеющих значительные размеры по простиранию и падению - до 10 м и более, не обнаружено.

## 2. Выбор расчетных характеристик

Для получения расчетных механических характеристик горных пород на месторождении были отобраны образцы этих пород как из скважин, так и непосредственно из уступов. Результаты многочисленных (около 500) испытаний пород с различных глубин месторождения позволили установить прочность всех литологических разностей и изменение их физико-механических характеристик с глубиной.

О средненныи значения характеристики пород приведены в таблице 1.

Таблица I

Литологическое наименование пород	Глубина														
	до 50 м			50-100 м			100-150 м			150-200 м			свыше 200 м		
	K, кг/см <sup>2</sup>	p <sup>0</sup> т/м <sup>3</sup>	T, т/м <sup>3</sup>	K, кг/см <sup>2</sup>	p <sup>0</sup> т/м <sup>3</sup>	T, т/м <sup>3</sup>	K, кг/см <sup>2</sup>	p <sup>0</sup> т/м <sup>3</sup>	T, т/м <sup>3</sup>	K, кг/см <sup>2</sup>	p <sup>0</sup> т/м <sup>3</sup>	T, т/м <sup>3</sup>	K, кг/см <sup>2</sup>	p <sup>0</sup> т/м <sup>3</sup>	T, т/м <sup>3</sup>
Песчаник	I3	35	2,30	41	34	2,39	63	34	2,56	77	34	2,57	93	34	2,62
Алевролит	II	33	2,40	36	32	2,50	44	32	2,51	57	33	2,60	66	33	2,58
Аргиллит	8	28	2,25	27	27	2,38	47	27	2,60	58	27	2,64	66	27	2,60
Уголь	26	36	1,50	26	36	1,50	26	36	1,50	26	36	1,50	26	36	1,50
Углистый аргиллит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	37	1,90

Построенные графики изменения величины сцепления с увеличением глубины залегания пород показали, что до глубины 200 м отмечается увеличение прочности пород, начиная же с глубины 200 м физико-механические характеристики пород почти не изменяются.

Угол трения по контактам слоев определен лабораторными испытаниями пород на 2-тонном срезом приборе; при колебании угла трения по контакту от 19° до 24° к расчету принято среднее значение, равное 22°.

Сцепление пород по контактам принято по результатам натурных испытаний пород углеразреза № 1; величина сцепления составляет 10 т/м<sup>2</sup>.

Величина сцепления пород в массиве определялась по формуле (3):

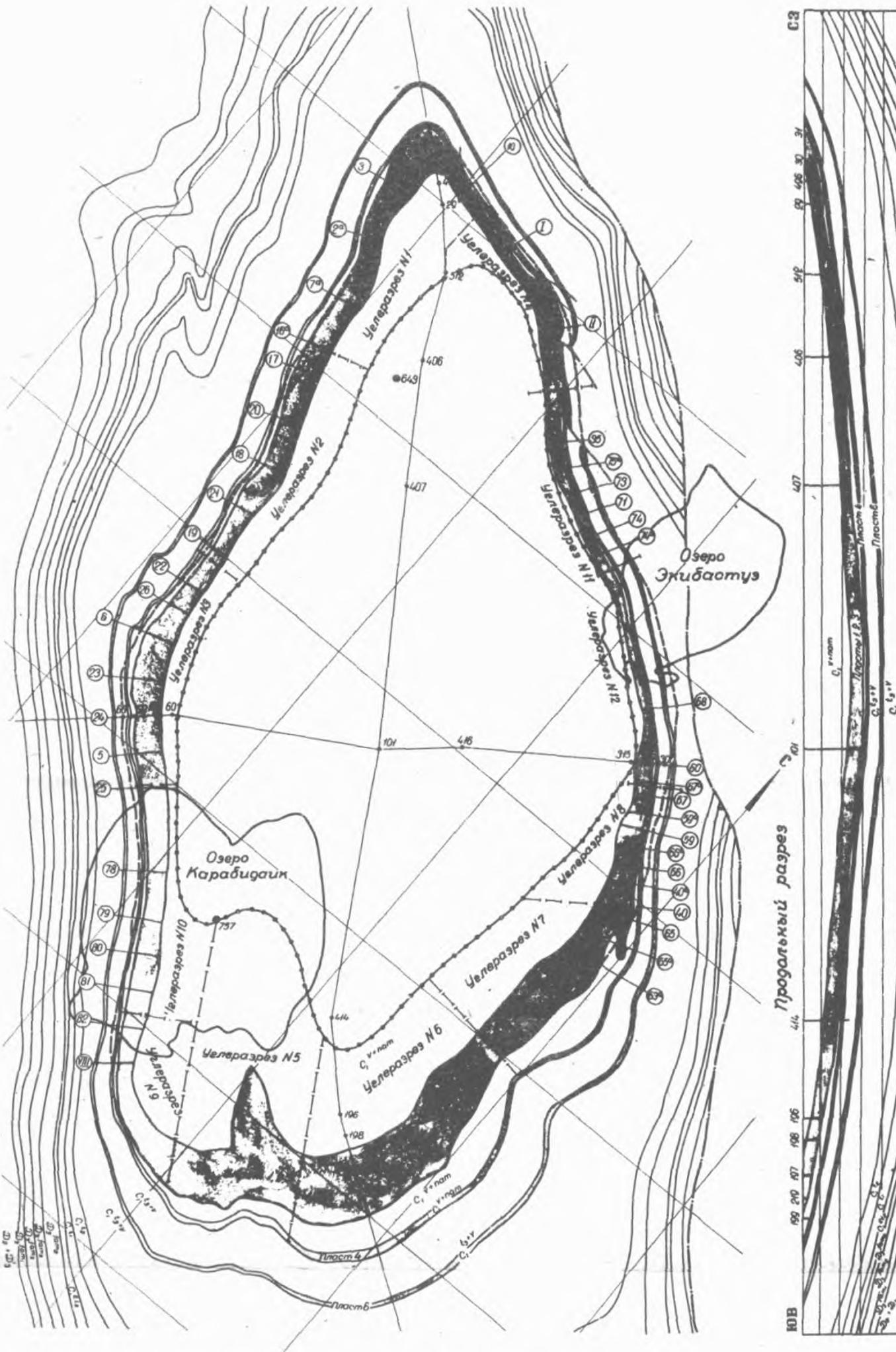
$$\kappa_m = \frac{\kappa}{1 + a \ln(HW)},$$

где

H - общая высота борта в метрах;

κ - сцепление пород в образце;

W - число, характеризующее степень (интенсивность) трещиноватости; величина W обратна средним



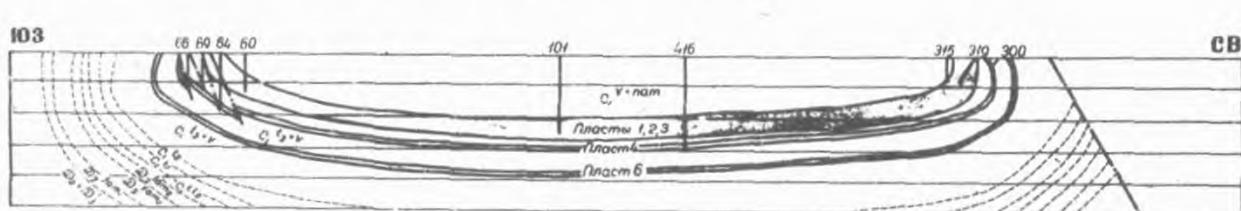
### Стратиграфический разрез карбона-девона Экибастузской лифтоды

Краткая литолого-литористическая характеристика	
Отделы	Свойства или стратиграфические членение слоев
Переслояние алевролитов с песчаниками серой окраски, часто с зеленоватым оттенком. Угольные пласты флюи	
Частое переслаивание алевролитов, аргиллитов, реже песчаников и углистых пород. Угольные пласты 1-8	
Изогипные пласты 4, 3, 2 и т. алевролиты, песчаники светло-серые, от тонкоизернистых до конгломератовидных	
Переслаивание углистых пород с тонко- и среднезернистыми песчаниками светлосерой окраски. Угольный пласт 6	
Аргиллиты и алевролиты, реже песчаники и прослои углистых пород	
Песчаники полимиктовые тонко- и разнозернистые серовато-зеленого цвета, включаяющие тонкие прослои углистых пород, опрессенные известняки и перекрытые аргиллитами и алевролитами	
Сланцовые сланцы и персонистые прослои известняков и мергелей	
Нормальные и опрессенные известняки, сланцы, песчаники и прослои мергелей	
Песчаники аргиллитовые известняки кремнистые вливны	
Верхний горизонт кремнистых известняков	
Известниково-сланцевый горизонт	
Нижний горизонт кремнистых известняков	
Песчано-сланцевый горизонт	
Песчаники, реже сланцы и прослои известняков	
Альбитофирмы, порфириты и их туфы	

### Условные обозначения:

Песчаники	Переслаивание песчаников с аргиллитами или песчанистыми сланцами
Алевролиты	Альбитофирмы, порфириты и их туфы
Аргиллиты	Углистые породы
Сланцевые сланцы	Пласты угля
Сланцы кремнистые	Выходы угольных пластов
Известники кремнистые	Изогипса 10м пробки угольного пласта
Известники мергелистые	Линииtektonических нарушений
Известники глинистые	Разведочные скважины на угле
Известники нормальные	Скважины отбора образцов
Верхний контур разреза при глубине работ 200 метров	(20) Разведочные линии

Рис.34. Геологическая карта Экибастузского каменно-угольного месторождения



линейным размерам блоков, ограниченных смягкными трещинами;

$\alpha$  - коэффициент, зависящий от прочности пород в куске, степени и характера трещиноватости (для Экибастузского месторождения по результатам натурных испытаний величина  $\alpha$  получена равной 2).

Величина среднего элементарного блока составляет для песчаников 0,80 м, для алевролитов - 0,50 м, для аргиллитов - 0,30 м, для угля и углистого аргиллита - 0,40 м.

Так как борта углеразрезов сложены различными по свойствам породами, к расчету принимаются средневзвешенные по расчетной поверхности характеристики сопротивления сдвигу пород.

При определении расчетных характеристик были использованы геологические разрезы по разведочным линиям 3,2-а 7-а, 16-а, 17, 18, 20 и 21 (рис.34).

Средневзвешенные значения характеристик сопротивления сдвигу для бортов лежачего бока вычислены по формулам (1) и (2):  $k_m = 44,5 \text{ т}/\text{м}^2$ ,  $\rho = 34^\circ$ ,  $\tau = 2,5 \text{ т}/\text{м}^3$ .

Сопротивление сдвигу по слоистости, характеризующееся углом сдвига, вычислено по формуле (28) и равно  $\psi = 24^\circ$ . Расчетные характеристики прочности пород получают путем деления средневзвешенных значений на выбранный коэффициент заласа ( $\eta = 1,3$ , см.п.2.11).

### 3. Расчет устойчивости бортов углеразрезов №№ 1,2 и 5-6.

При расчете устойчивости бортов лежачего бока углеразрезов № 1 и № 5 использована схема 1У, по которой определяются допустимая высота борта, заоткосенного по наслению, или допустимый угол наклона борта при известной его высоте. Для борта  $H = 500 \text{ м}$ , в результате расчета по формуле (12):  $\operatorname{cig} \alpha = \operatorname{cig} \psi' n \left(1 - \frac{H_{90}}{H}\right)$ , допустимый угол падения слоев, при котором можно заоткосывать борт по наслению, получился равным  $22^\circ$ .

Расчет устойчивости бортов лежачего бока углеразрезов № 1 и № 2, где угол падения слоев является величиной переменной и изменяется в пределах от  $25^\circ$  до  $65^\circ$ , выполнен по схеме X.

Для различных углов падения слоев  $\beta$  построены графики зависимости между высотами бортов  $H$  и углами наклона  $\alpha$  (рис.35).

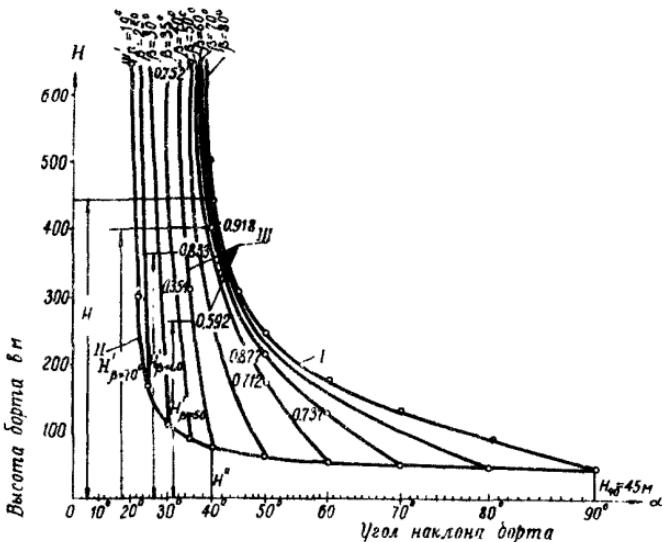


Рис.35. Графики зависимости между высотой борта  $H$  плоского профиля и его углом наклона  $\alpha$  при различных углах падения слоев  $\beta$ . Расчетные характеристики:  $K_h=34 \text{ т}/\text{м}^2$  – сцепление пород под углом к плоскостям ослаблений;  $\beta_h=27^\circ 30'$  – угол внутреннего трения пород под углом к плоскостям ослаблений;  $\psi_h=18'$  – угол сдвига по плоскостям ослаблений;  $\gamma=2,5 \text{ т}/\text{м}^3$  – объемный вес пород;

I-кривая зависимости между  $H$  и  $\alpha$  без учета наслоения;  
II-кривые зависимости между  $H$  и  $\alpha$  при  $90^\circ > \beta > \alpha$ ; III-кривая зависимости между  $H$  и  $\alpha$  при  $\beta = \alpha$

Для построения графиков предварительно вычисляются расчетные характеристики прочности пород, для чего средневзвешенные значения характеристик прочности делятся на

коэффициент запаса  $n = 1,3$ :

$$\kappa_n = \frac{44,5}{1,3} = 34,2 \text{ т/м}^2; \operatorname{tg} \rho_n = \frac{\operatorname{tg} 34^\circ}{1,3} = \frac{0,674}{1,3} = 0,518;$$
$$\rho_n = 27^\circ 30'; \operatorname{tg} \psi'_n = \frac{\operatorname{tg} 24^\circ}{1,3} = \frac{0,445}{1,3} = 0,342; \psi'_n = 19^\circ.$$

Затем, используя расчетные характеристики, строят кривую 1 зависимости  $H = f(\alpha)$  без учета слоистости массива пород; для построения кривой 1 пользуются графиком зависимости высоты откоса плоского профиля от его угла (рис.6).

Для построения кривой П, отражающей зависимость  $H = f(\alpha)$  при заоткоске откоса по слоистости ( $\alpha = \beta$ ), используют формулу (12), по которой вычисляют отдельные (частные) значения высот откоса в зависимости от угла его наклона.

Промежуточные кривые Ш зависимости  $H = f(\alpha)$  построены для условий  $\beta > \alpha > \rho'$ ; отдельные значения высот откоса в зависимости от угла его наклона вычисляются по схеме Х с использованием таблиц 5, 6.

В качестве примера приведен порядок определения высоты борта слоистого массива при условии  $\alpha = 40^\circ$ ,  $\beta = 50^\circ$ , который состоит в следующем:

а) определяется (по кривой 1, рис.35) высота борта при угле его наклона  $\alpha = 40^\circ$  без учета слоистости —  $H = 450$  м;

б) по таблице 5 для условий  $\alpha = 40^\circ$  и  $\beta = 50^\circ$  определяются поправочные коэффициенты  $b = 0,595$  и  $\delta = 0,026$ ;

в) вычисляется с по формуле:  $c = \frac{\operatorname{tg} \rho_n}{\operatorname{tg} \psi'_n} - 1,40$ ;

$$c = \frac{0,521}{0,342} - 1,40 = 1,52 - 1,40 = 0,12;$$

г) вычисляют коэффициент  $b' = b_0 - c\delta = 0,595 - 0,003 = 0,592$ ;

д) вычисляют искомую высоту  $H = H \cdot b' = 450 \cdot 0,592 = 266$  м.

После построения графика зависимости  $H = f(\alpha)$ , представленного на рис.35, бортам карьеров придается выпуклый профиль, в соответствии с п.3.10, и параметры их уточняются поверочными расчетами.

Расчет устойчивости бортов высочного бока углеразрезов 1,2 и 5-6 произведен по схеме IX.

Для определения средневзвешенных значений расчетных характеристик пород высочного бока были использованы геологические колонки по скважинам №№ 843 и 757, а также стратиграфический разрез карагандинской свиты Экибастузской мульды.

Порядок установления параметров борта высочного бока следующий:

1. В соответствии с группой комплекса пород (см. табл.7) устанавливают ориентировочный угол наклона борта  $\alpha = 30^\circ$ .

2. По формуле (26) вычисляют угол  $\theta$  :

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(\rho_n - \rho'_n) - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \rho'_n}{\sin \rho_n} = 45^\circ + \frac{1}{2}(27^\circ 30' - 17^\circ) - \\ - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin 17^\circ}{\sin 27^\circ 30'} = 45^\circ + 5^\circ - \frac{1}{2} \arcsin 0,643 = 30^\circ;$$

здесь  $\rho_n = 27^\circ 30'$  — средневзвешенное по мощности слоев значение угла внутреннего трения пород.

3. В откосе с параметрами  $H = 500$  м и  $\alpha = 30^\circ$  ориентировочно проводят наиболее напряженную поверхность, для чего:

а) используя средневзвешенные по мощности характеристики прочности пород  $k_n = 34,2$  т/м<sup>2</sup>;  $\rho_n = 27^\circ 30'$ ;  $\gamma = 2,5$  т/м<sup>3</sup>, вычисляют  $H_{90}$ :

$$H_{90} = \frac{2k_n}{\gamma} \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right) = \frac{68,4}{2,5} \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{27^\circ 30'}{2} \right) = 45,5 \text{ м}$$

б) от верхней бровки борта откладывают отрезок BC (рис.36), равный 0,2 – 0,3 H; из точки С по вертикали от-

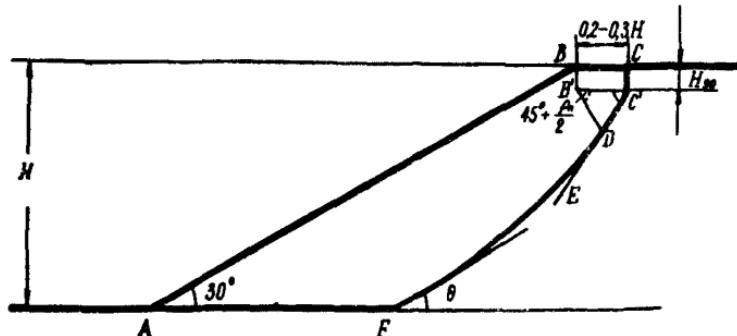


Рис.38. Ориентировочное построение наиболее напряженной поверхности в откосе со слабым контактом в основании

кладывают  $H_{90}$ , а из точки  $C'$  проводят отрезок  $C'E$  под углом  $\omega = 45^\circ + \rho_n/2$  к горизонту до пересечения с отрезком  $B'D$ ; затем из точки  $D$  проводят плавную кривую, касающуюся отрезка  $C'E$  в точке  $D$  и пересекающую контакт под углом  $\theta$ .

Поверхность  $AFDCC'$  является искомой поверхностью.

4. По формулам (1), (2) определяют средневзвешенные характеристики прочности пород по построенной наиболее напряженной поверхности:

$$k_m = 36,5 \text{ т/м}^2; \quad \rho = 29^\circ; \quad \gamma = 2,5 \text{ т/м}^3.$$

5. Поделив средневзвешенные характеристики прочности пород на коэффициент запаса, принятый к расчету ( $11 : 1,3$ ) определяют расчетные характеристики прочности пород

$$k_n = 28 \text{ т/м}^2; \quad \rho_n = 23^\circ; \quad k'_n = 7,7 \text{ т/м}^2; \quad \rho'_n = 17^\circ$$

6. По расчетным характеристикам вычисляют:

$$H_{90} = \frac{2k_n}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - \frac{\rho_n}{2}) = \frac{56,0}{2,5} \operatorname{ctg} 33^\circ 30' = \frac{56,0}{2,5} \cdot 1,51 = 33,8 \text{ м}$$

и условную высоту борта  $H' = \frac{H}{H_{90}} - \frac{500}{33,8} = 14,8$ .

7. По графику зависимости между высотой откоса плоского профиля и его углом (рис.6) определяется угол наклона борта высотою  $H = 500$  м; искомый угол равен  $\alpha = 31^\circ$ .

8. В соответствии с пунктом 3.10, борту придается выпуклый профиль: нижней части борта высотою  $1/3 H$  придается максимальный технически допустимый угол наклона для условий Экибастузского месторождения —  $43^\circ$ .

После установления профиля борта производят поверочные расчеты общей устойчивости борта по ряду расчетных поверхностей (см.рис.37); поверочные расчеты выполнены в соответствии с пунктом 3.17.

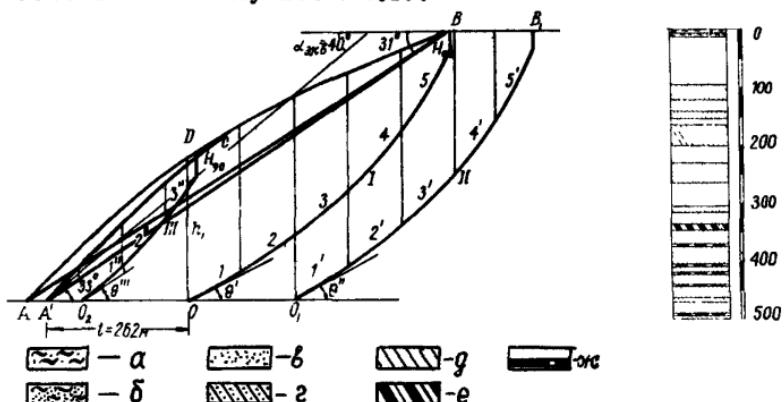


Рис.37. Расчет устойчивости борта выпуклого профиля (висячего бока) Экибастузского месторождения: а - суглинок, б - пески, в - песчаники, г - алевролиты, д - аргиллиты, е - углистые породы, ж - уголь

$$\text{По формуле (25): } L = \frac{E \sin \theta (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{tg} p_n)}{k_n^1 + \frac{1}{2} n_1 \gamma \cos^2 \beta (\operatorname{tg} p_n^1 - \operatorname{tg} \beta)}$$

определяют длину основания призмы упора (проверочный расчет по поверхности АOB).

Величина  $E$  для призмы активного давления определяется по формуле (32):

$$E = \sum T_i - \sum N_i \operatorname{tg} p_{n_i} - \sum k_{n_i} l_i.$$

Необходимые данные для определения величины Е приведены в таблице 2.

В результате расчетов величина L получена равной 262 м. Отложив OA, =262 м (рис.37), корректируют выпуклый контур борта (на рис.37 откорректированный контур изображен линией A<sub>1</sub>CB). Проверочные расчеты показали, что коэффициент запаса устойчивости по поверхности A<sub>1</sub>O<sub>2</sub>C  $\eta'' = 1,31$ , а по поверхности A<sub>1</sub>O<sub>2</sub>B<sub>1</sub> -  $\eta = 1,45$ ; таким образом, борт с принятым выпуклым профилем устойчив и имеет коэффициент запаса 1,3.

Общий угол наклона борта составляет 33°.

#### 4. Рекомендуемые углы наклона бортов и уступов.

При глубине карьеров до 500 м рекомендуются следующие значения углов наклона бортов.

Угол наклона лежачего бока борта при падении слоев до 22° следует принимать равным углу падения слоев. При падении слоев круче 22° рекомендуются следующие значения:

$\beta^{\circ}$	25	30	35	40	45	50	60	$>60$
$\alpha^{\circ}$	23	26	30	33	34	35	37	38

Для борта висячего бока рекомендуется выпуклый профиль с общим углом наклона  $\alpha = 33^{\circ}$ , при этом коэффициент запаса устойчивости будет составлять 1,3 для горизонтального наслонения и больше 1,3 для случаев пологого падения слоев в сторону массива.

Рекомендуемый выпуклый профиль по участкам от поверхности до проектной глубины определяется следующими величинами углов: от поверхности до глубины 120 м - 22°, от 120 до 170 м - 28°; от 170 до 240 м - 35° и от 240 до 500 м - 45°.

Уступы борта лежачего бока при падении слоев в пределах 25-65° следует заоткашивать по наслонению пород. Заострку уступов борта висячего бока и уступов борта лежачего бока при падении слоев под углом 25° рекомендуется

Таблица 2

нр блоков	$\alpha,$ $m$	$h$ $m$	$P,$ $T$	$\varphi,$ град.	$\sin \varphi$	$T$	$\cos \varphi$	$N$	$\operatorname{tg} P_n$	$N \operatorname{tg} P_n$	$k_n$	$\tau$	$k_n \tau$
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	100	280	70000	28	0,45	32000	0,88	62000	0,44	27500	34	110	3780
2	100	270	67500	34	0,56	37500	0,82	55500	0,46	25800	34	120	4100
3	100	245	61000	40	0,64	39000	0,76	46500	0,50	28000	45	186	6150
4	100	190	47500	49	0,75	35500	0,65	31000	0,46	14400	42	150	6500
5	100	98	24400	55	0,82	19800	0,57	13900	0,52	7200	50	176	5400
						163900				97780			25950
I'	100	380	95000	50	0,49	46500	0,855	81000	0,44	35600	34	116	3940
2'	100	354	58500	36	0,58	51700	0,81	71000	0,46	38000	34	124	4200
3'	100	310	77500	44	0,69	53500	0,715	55500	0,495	27400	45	140	6300
4'	76	220	42000	58	0,79	62000	0,60	25200	0,46	11700	42	128	5400
5'	74	110	20400	59	0,85	17500	0,495	10100	0,52	5200	50	154	4600
						202400				II2900			24440
I''	80	78	15600	57	0,50	9400	0,795	12400	0,44	5500	34	102	3480
2''	80	84	16800	46	0,72	12000	0,69	11600	0,46	5400	34	120	4100
3''	80	58	8700	55	0,82	7100	0,57	4950	0,495	2450	45	110	4950
						28500				16350			12550

производить под углами 50-55°.

Пероды Экибастузского месторождения - песчаники, аргиллиты, алевролиты, улистые аргиллиты - подвергаются интенсивному выветриванию, поэтому для того, чтобы не допустить образования сплошного откоса борта при наращиваниисылей, рекомендуется, в соответствии с "Едиными правилами безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом", через 40-45 м по высоте борта оставлять предохранительные бермы (бермы зачистки) шириной 12-15 м.

**Примеры расчета устойчивости бортов карьеров  
и откосов отвалов**

**Пример 1.** Определение параметров борта карьера плоского профиля при пологом залегании поверхностей ослабления (схема IX).

Борт сложен слоистыми породами, в которых прослеживаются слабые контакты пологозалегающих слоев.

Пусть средневзвешенные характеристики <sup>x)</sup> по расчетной поверхности без учета поверхностей ослабления (контактов между слоями) с введенным коэффициентом запаса  $\eta = 1,3$  следующие:

$$k_n = 20 \text{ т/м}^2; \quad \rho_n = 25^\circ; \quad \gamma = 2,5 \text{ т/м}^3;$$

а показатели сопротивляемости сдвигу по контактам пород с введенным коэффициентом запаса устойчивости  $\eta = 1,3$  следующие:

$$k'_n = 10 \text{ т/м}^2; \quad \rho_n = 15^\circ.$$

Требуется определить оптимальную высоту борта при угле его наклона  $\alpha = 40^\circ$ , если поверхности ослабления имеют падение  $\beta = +10^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$  и  $\beta = -10^\circ$ .

Порядок расчета следующий.

1. По графику плоского откоса (рис.6) без учета поверхностей ослабления определяют допустимую высоту борта откоса для заданного угла  $\alpha = 40^\circ$ . Для рассматриваемого примера высота  $H = 193$  м.

2. Высоту борта  $H_1$ , с учетом поверхностей ослабления, определяют по формуле  $H_1 = H \cdot b$

где  $b = b_0 - c\delta$  - поправочный коэффициент;  
 $b_0$  и  $\delta$  - величины, определяемые по таблице 4;

---

<sup>x)</sup> Порядок определения средневзвешенных характеристик в данном случае такой же, как и в предыдущем примере (см.приложение 6)

$$c = \frac{\operatorname{tg} \rho_n}{\operatorname{tg} \psi_n} - 1,28.$$

Для рассматриваемого примера  $\operatorname{tg} \psi_n' = \operatorname{tg} \rho_n' + \frac{k_n}{\sigma_{cp}} = 0,270 + \frac{10}{245} = 0,270 + 0,041 = 0,311$ ;

$$c = \frac{0,466}{0,311} - 1,280 = 1,500 - 1,280 = 0,22;$$

в соответствии с заданными углами падения поверхностей ослабления, получены следующие значения коэффициентов  $b$  и высот борта  $H_1$ :

$$\begin{array}{lll} \beta = +10^\circ & b = 0,826, & H_1 = 160 \text{ м;} \\ \beta = 0^\circ & b = 0,763, & H_1 = 147,5 \text{ м;} \\ \beta = -10^\circ & b = 0,680, & H_1 = 131,5 \text{ м.} \end{array}$$

### 3. Выполняют поверочный расчет.

В данном примере поверочные расчеты выполнены методом многоугольника сил в такой последовательности:

а) в откосе с параметрами, определенными по графику плоского откоса (рис.6) без учета поверхностей ослабления, строится поверхность скольжения ( $OE, D$ , на рис.38);

б) на соответствующей глубине  $H_1$  проводят поверхность ослабления (в нашем примере поверочные расчеты проводились для условий  $\beta = 0$  и  $H_1 = 147,5$  м; для других условий решения будут аналогичными);

в) вычисляют угол  $\theta$  по формуле (26):

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} (\rho_n - \rho_n') - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \rho_n'}{\sin \rho_n} = 45^\circ + \frac{25-15}{2} \\ &- \frac{1}{2} \arcsin \frac{0,259}{0,423} = 45^\circ + 5^\circ - 19^\circ = 31^\circ; \end{aligned}$$

г) определяют оптимальную длину основания призмы упора  $l$ , по формуле (25):

$$\begin{aligned} l_i &= \frac{E \sin \theta (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{tg} \rho_n')}{k_n' - \frac{1}{2} h_i; \gamma \cos^2 \beta (\operatorname{tg} \rho_n' - \operatorname{tg} \beta)} = \frac{2910 \cdot 0,546 (1,54 - 0,27)}{10 + 0,5 \cdot 32,5 \cdot 0,27} = \\ &= \frac{2010}{20,9} = 96 \text{ м;} \end{aligned}$$

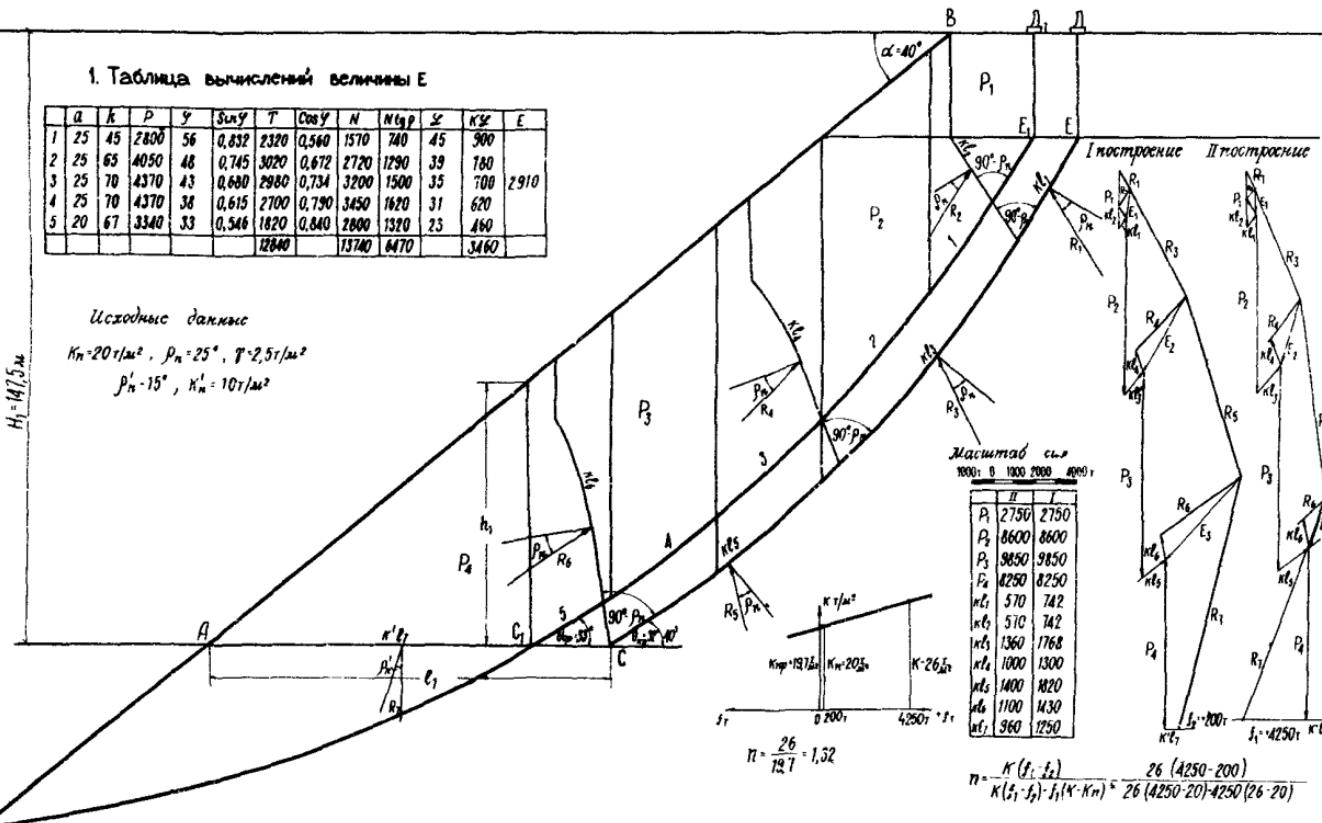
### 1. Таблица вычислений величины Е

<i>a</i>	<i>k</i>	<i>P</i>	<i>y</i>	<i>Say</i>	<i>T</i>	<i>Cosy</i>	<i>N</i>	<i>Neg</i>	<i>S</i>	<i>KSE</i>	<i>E</i>
1	25	45	2800	56	0.832	2320	0.560	1570	740	45	900
2	25	65	4500	48	0.745	3020	0.672	2720	1290	39	780
3	25	70	4370	43	0.880	2980	0.734	3200	1500	35	700
4	25	70	4370	38	0.615	2700	0.790	3450	1620	31	620
5	20	67	3340	33	0.546	1820	0.640	2800	1520	23	560
						12600		15700	6470		3460

### Исходные данные

$$K_m = 20 T/m^2, \quad \rho_m = 25 \text{ g/cm}^3, \quad T = 2.5 T/m^2$$

$$P_n' = 15^\circ, \quad K_n' = 10\gamma/m^2$$



$$n = \frac{26}{19.7} = 1.32$$

$$n = \frac{K(f_1, f_2)}{K(f_1, f_2) - f_1(K - Kn)} = \frac{26(4250 - 200)}{26(4250 - 20) - 4250(26 - 20)} = \frac{105300}{7980} = 1,32$$

Рис.38. Пример расчета устойчивости борта карьера плоского профиля при пологом залегании поверхностей ослабления

д) призму возможного обрушения разбивают на элементарные блоки гранями, наклоненными к расчетной поверхности под углом  $90^\circ - \beta_n$ , как показано на рис. 38;

е) определяют вес  $P$  каждого блока, а по линиям, ограничивающим блоки, определяют силы сцепления, равные произведению  $k_{n_i} \cdot l_i$ ; проводят направления реакций, действующих между блоками и со стороны оснований блоков (направления  $R_1, R_2, \dots, R_6$ ); реакции направлены под углом  $\rho_n$  к нормали, проведенной к граничной линии между блоками или к поверхности скольжения; реакция  $R_7$  составляет угол  $\rho'_n$  с нормалью проведенной к поверхности ослабления;

ж) строят многоугольник сил для всей призмы обрушения;

з) если многоугольник сил не замыкается, то производят вторичное построение многоугольника сил с коэффициентом запаса устойчивости  $\eta$ , отличаясь от принятого

$\eta = 1,3$ . В рассматриваемом примере многоугольник сил не замкнулся, а величина невязки составила 200 тонн. Вторичное построение многоугольника сил произведено для реальных физико-механических характеристик. При вторичном построении силы сцепления по линиям, ограничивающим блоки, равны произведению  $k_i \cdot l_i$ , а реакции отклоняются от нормалей к поверхности скольжения и граням блоков на углы  $\rho$  и  $\rho'$ ;

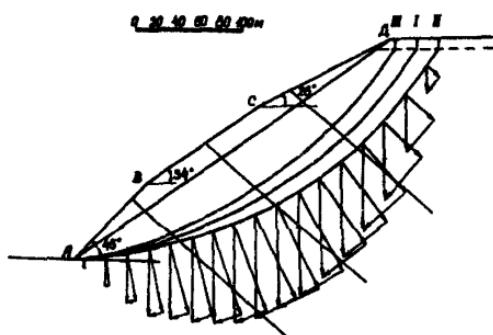
и) определяют коэффициент запаса устойчивости – графически или по формуле (см. рис. 38).

Для данного примера коэффициент запаса получен равным 1,32.

4. В том случае, если вычисленный коэффициент запаса устойчивости отличается от принятого к расчету (для рассматриваемых условий коэффициент запаса принят равным 1,3) на величину, большую  $\pm 5\%$ , необходимо высоту борта соответственно увеличить или уменьшить, а весь проверочный расчет повторить.

**Пример 2.** Определение параметров борта по схеме У1.

Пусть требуется определить угол наклона борта карьера глубиной 200 м; борт сложен слоистыми горными породами; слои имеют падение в сторону массива под углом  $40^\circ$  (рис. 39)



С = 4,7 М = 20-245-2000-106					
Н	Т	К	Е	кЕ	ρ
40	05				
130	15				
215	3,6	40	100	4000	25°
290	6,6				
330	8,7				
340	9,5				
400	13,0	30	97	2910	26°
420	15,5				
430	20,0				
430	26,5				29°
440	25,0				
520	26,0	25	91	2276	30°
340	25,0				
385	25,5				26°
235	25,5				
265	40	10	163	1635	25°
70	100				
Σ	9940		Σ	10363	

$$\frac{P_t - \frac{0.001005 \cdot 0.167 + 15.6 \cdot 0.329 \cdot 4.5 \cdot 0.555 + 10.0 \cdot 0.578 + 20.5 \cdot 0.460 + 57 \cdot 0.467 + 10.355}{0.05 \cdot 253.8}}{0.05 \cdot 253.8} = 1397$$

$$P_t = 134, P_{\text{н}} = 137$$

Рис.39. Пример расчета устойчивости борта выпуклого профиля

Породы, слагающие борт, имеют следующие характеристики (нумерация слоев приведена сверху вниз):

1 слой	$\rho_1 = 25^{\circ}$	$k_1 = 10 \text{ т/м}^2$	$\gamma_1 = 2,60 \text{ т/м}^3$
2 слой	$\rho_2 = 28^{\circ}$	$k_2 = 25 \text{ т/м}^2$	$\gamma_2 = 2,70 \text{ т/м}^3$
3 слой	$\rho_3 = 30^{\circ}$	$k_3 = 30 \text{ т/м}^2$	$\gamma_3 = 2,60 \text{ т/м}^3$
4 слой	$\rho_4 = 25^{\circ}$	$k_4 = 40 \text{ т/м}^2$	$\gamma_4 = 2,68 \text{ т/м}^3$

Для определения угла наклона борта выполняют следующие операции:

1. Для данной группы пород, согласно таблице 7, находят примерный угол наклона борта, который равен  $40^{\circ}$ . В массиве, примыкающем к борту высотой 200 м и с углом наклона  $\alpha = 40^{\circ}$ , строят наиболее напряженную поверхность (в соответствии с п.3.2), по которой находят значения  $s_1, s_2, s_3$  и  $s_4$ , и по формулам (1) и (2) определяют средневзвешенные значения  $k_{ср}$  и  $\rho_{ср}$ . Для рассматриваемого случая получены  $k_{ср} = 29 \text{ т/м}^2$ ,  $\rho_{ср} = 27^{\circ}$ .

2. Средневзвешенные значения  $\kappa_{ср}$  и  $\rho_{ср}$  делят на значение коэффициента запаса устойчивости, равного  $\eta = 1,3$ , и вычисляют значения величин  $\kappa_n$  и  $\rho_n$ :

$$\kappa_n = \frac{\kappa_{ср}}{\eta} = \frac{20}{1,3} = 22 \text{ г/м}^2;$$

$$\lg \rho_n = \frac{\lg \rho_{ср}}{\eta} = \frac{0,510}{1,3} = 0,392; \quad \rho_n = 21^\circ.$$

3. Вычисляют величину  $H_{90}$  по формуле (6):

$$H_{90} = \frac{2 \kappa_n}{\gamma} \operatorname{ctg} \left( 45^\circ - \frac{\rho_n}{2} \right) = \frac{2 \cdot 22}{2,65} \operatorname{ctg} (45^\circ - 10^\circ 30') = \\ = 24 \text{ м.}$$

4. Определяют условную высоту:  $H' = \frac{H}{H_{90}} = \frac{200}{24} = 8,3$ .

5. По графику предельных очертаний откосов выпуклого профиля (рис.8) для найденных значений  $\rho_n$  и  $H'$  определяют условную величину заложения, равную для данного примера  $L = 12,6$ , а затем - действительное заложение по формуле:  $L = L' \cdot H_{90} = 12,6 \cdot 24,0 = 293$  м. Угол наклона борта  $\alpha$  при этом будет равен  $\arctg \frac{200}{293} = \arctg 0,682 = 34^\circ$ .

6. Соответственно п.3.10 профиль борта строится следующим образом: нижняя часть высотой  $1/3 H$  заоткашивается под углом  $45^\circ$ , средняя - под углом  $34^\circ$ ; верхняя часть борта высотой  $1/3 H$  заоткашивается по линии, соединяющей среднюю часть борта с верхней бровкой борта; в рассматриваемом случае угол заоткоски борта верхней части равен  $26^\circ$ .

7. Выполняют поверочные расчеты.

Для рассматриваемого примера поверочные расчеты выполнены по трем расчетным поверхностям методом алгебраического сложения сил.

Порядок выполнения поверочного расчета следующий:

а) в соответствии с п.3.10 строят расчетную поверхность;

б) призму, примыкающую к борту и ограниченную расчетной поверхностью, разбивают на блоки шириной по 20 м;

в) для каждого блока соответственно п.3.9 графически определяют нормальные и касательные составляющие  $N_i$  и  $T_i$ ;

г) определяют масштаб векторов по формуле:

$$c = \frac{\alpha \cdot I}{1000} \cdot M = \frac{20 \cdot 2,65 \cdot 2000}{1000} = 106 \text{ т/мм.}$$

Все остальные необходимые данные для определения коэффициента запаса устойчивости по расчетной поверхности П сведены в таблицу (см.рис.39). Расчетная поверхность с коэффициентом запаса устойчивости  $n_1 = 1,34$  является наиболее напряженной. Поскольку эта величина (незначительно менее чем на 5%) отличается от расчетной, вычисленные параметры борта принимаются в качестве окончательных.

Пример 3. Определить параметры отвала рыхлых почв на прочном основании.

График зависимости  $\tau = f(\delta)$  для отвальной массы представлен на рис.40; объемный вес отвальной массы  $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$ .

Порядок определения параметров отвалов в данных условиях следующий:

1. Криволинейную часть графика сопротивления сдвигу отвальной массы, в соответствии с п.2.7, заменяют отрезком прямой и снимают с графика характеристики:  $k = 9,0 \text{ т/м}^2$ ;  $\rho = 15^\circ$ .

2. Соответственно пп.2.10, 2.11 в расчетные характеристики вводят коэффициент запаса  $n = 1,2$ :

$$k_n = \frac{k}{n} = \frac{9,0}{1,2} = 7,5 \text{ т/м}^2; \quad \lg \rho_n = \frac{\lg \rho}{n} = \frac{0,268}{1,2} = 0,223; \quad \rho_n = 12^\circ 30'; \quad c_n = \frac{\tau_{\max}}{n} = \frac{30,0}{1,2} = 25 \text{ т/м}^2.$$

3. Определяют значение  $H_{90}$  по формуле (6):

$$H_{90} = \frac{275}{1,8} \operatorname{ctg}(45^\circ - 6^\circ 15') = 10,4 \text{ м.}$$

4. По графику предельных очертаний откосов выпуклого профиля (рис.8) соответственно п.3.10 определяют контур выпуклого откоса. Нижняя часть откоса высотою  $1/3 H_{np}$  заосткашивается под углом  $35^\circ$ . Верхняя часть на высоте:

$$H_{np} = \frac{5,14 \cdot \tau_n}{\gamma} = \frac{5,14 \cdot 25}{1,8} = 71,4 \text{ м}$$

переходит в горизонтальный участок (рис.40-б). Искомый общий угол откоса отвала выпуклого профиля равен  $23^\circ$ .

Проверочные расчеты проводят соответственно п.3.12 по ряду поверхностей скольжения (в данном случае по четырем) в следующем порядке.

1. На расчетной поверхности (в данном примере на поверхности 1-1) через некоторые интервалы в точках 1,2...8 по формулам (18) вычисляют нормальные  $b_n$  и касательные  $\tau_c$  напряжения.

2. Расчетную поверхность разворачивают в прямую линию (рис.40-в). В указанных точках 1,2...8 как ординаты откладывают сдвигающие касательные напряжения  $\tau_c$ .

3. Определяют площадь, ограниченную прямой и линией, соединяющей концы ординат, которая является суммой сдвигающих сил:

$$\sum \tau_c = 3617 \text{ т.}$$

4. По графику прочности (рис.40-а) для нормальных напряжений в выбранных точках 1,2...8 определяют соответствующие предельные удерживающие касательные напряжения  $\tau_y$ , которые как ординаты откладываются от прямой в указанных точках; площадь, ограниченная прямой и линией, соединяющей концы ординат  $\tau_y$ , является суммой удерживающих сил  $\sum \tau_y = 4905 \text{ т.}$

5. Определяют коэффициент запаса устойчивости откоса отвала:

$$\eta_1 = \frac{\sum \tau_y}{\sum \tau_c} = \frac{4905}{3617} = 1,34.$$

По П, Ш и 1У расчетным поверхностям вычисленные коэф-

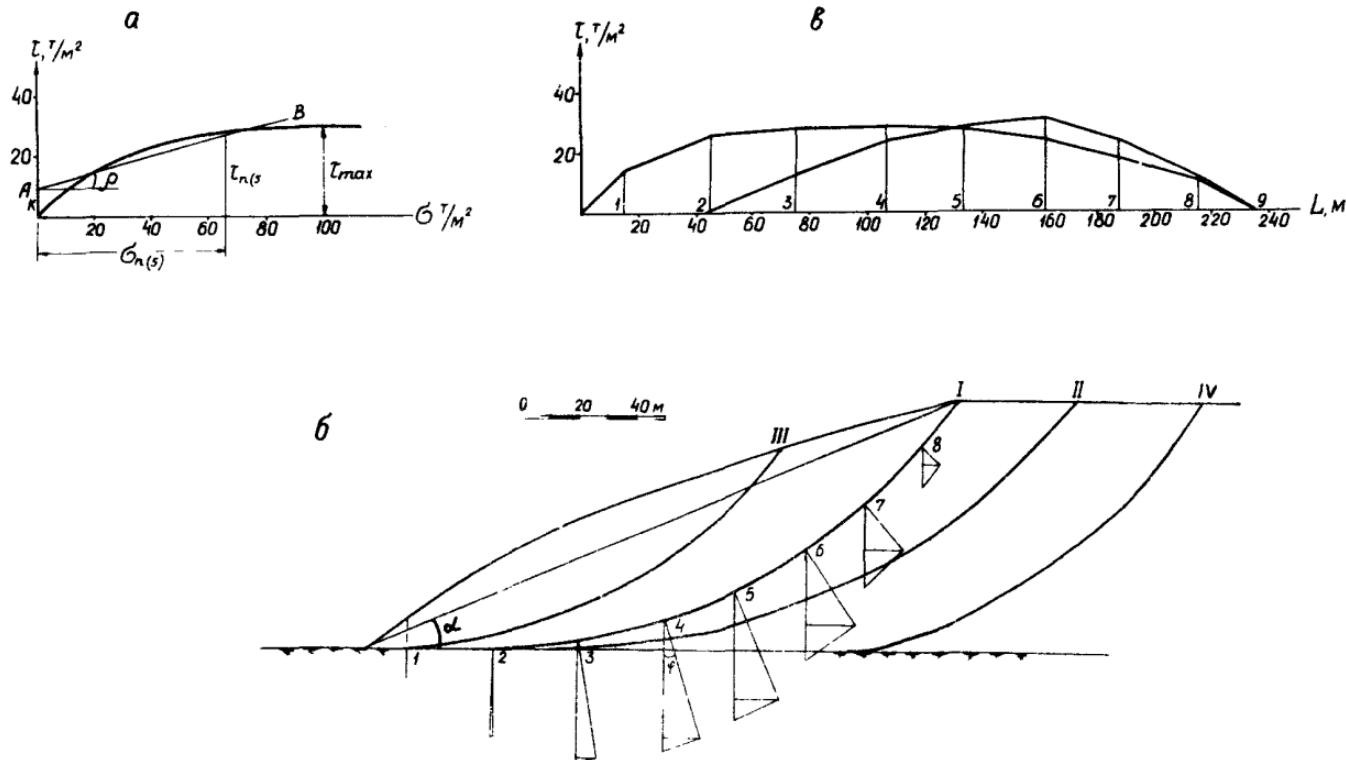


Рис.40. Пример расчета параметров отвала рыхлых пород на прочном основании

Факторы запаса устойчивости  $\eta_2$ ,  $\eta_3$ ,  $\eta_4$  соответственно равны:

$$\eta_2 = 1,25; \quad \eta_3 = 1,41; \quad \eta_4 = 1,30.$$

Наименьший коэффициент запаса устойчивости  $\eta_2 = 1,25$  и характеризует общую устойчивость отвала, т.е. коэффициент запаса устойчивости отвала равен 1,25.

Пример 4. Определение параметров отвала на слабом основании.

Графики зависимости  $\tau = f(\theta)$  для отвальных пород и пород основания представлены на рис.41-а. Объемный вес пород  $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$ .

Расчет устойчивости отвала производится следующим образом:

1. На участке рабочих напряжений, в соответствии с п.2.7, заменяют криволинейную часть графика прочности пород основания отрезком прямой и определяют характеристики:  $k_n = 9,0 \text{ т/м}^2$ ;  $\rho_n = 15^\circ$ .

2. Соответственно пп.2.10, 2.11 в расчетные характеристики вводят коэффициент запаса  $\eta = 1,2$ :

$$k_n = \frac{9,0}{1,2} = 7,5 \text{ т/м}^2, \quad \varphi_n = \frac{15^\circ}{1,2} = 0,223;$$

$$\rho_n = 12^\circ 30'; \quad \tau_n = \frac{30,0}{1,2} = 25,0 \text{ т/м}^2.$$

3. Определяют значение  $H_{90}$  по формуле (6):

$$H_{90} = \frac{27,5}{1,8} \operatorname{ctg}(45^\circ - 6^\circ 15') = 10,4 \text{ м}$$

4. Пользуясь графиком предельных очертаний откосов выпуклого профиля (рис.8, см.п.3.10), определяют контур выпуклого откоса. Нижнюю часть откоса выкладывают под углом  $35^\circ$ . Верхняя часть на высоте  $H_{\text{нр}} = \frac{5,14 + 25,0}{1,8} = 71,4 \text{ м}$  переходит в горизонтальный участок.

5. Выполняют поверочные расчеты.

Соответственно п.3.12 порядок проведения поверочных расчетов следующий.

1. Соответственно п.3.11 проводят многоугольную расчетную поверхность (рис.41-б).

2. На этой поверхности в точках 1,2...10 по формулам (19) вычисляют нормальные  $\sigma_n$  и касательные  $\tau_c$  напряжения.

3. Производят развертку поверхности скольжения в прямую линию (рис.41-в). В точках 1,2...10 как ординаты откладывают  $\tau_c$ .

4. Определяют сумму сдвигающих сил, которая равна площади, ограниченной прямой и линией, соединяющей концы ординат  $\tau_c$ :

$$\Sigma \tau_c = 6709 \text{ т}$$

5. Определяют предельные удерживающие касательные напряжения  $\tau_u$ ; для нормальных напряжений  $\sigma_n$ : в точках 1,2...6 - по графику сопротивления сдвигу пород основания, в точках 7,8,9,10 - по графику сопротивления сдвигу пород отвала.

6. Величины  $\tau_u$  откладывают как ординаты в данных точках; площадь, заключенная между прямой и линией, соединяющей концы ординат  $\tau_u$ , является суммой удерживающих сил:

$$\Sigma \tau_u = 7913 \text{ т}$$

7. Определяют коэффициент запаса устойчивости:

$$n = \frac{\Sigma \tau_u}{\Sigma \tau_c} = \frac{7913}{6709} = 1.18$$

Коэффициенты запаса  $n_2$  и  $n_3$  по П и Ш поверхностям скольжения, вычисленные аналогичным путем, получены равными  $n_2 = 1.08$ ,  $n_3 = 1.15$ . Наиболее слабой поверхностью является поверхность П. Коэффициент запаса устойчивости по этой поверхности значительно ниже расчетного коэффициента запаса  $n = 1.2$ , поэтому необходима корректировка профиля отвала. На рис.41 откорректированный профиль показан пунктирной линией.

Проверочные расчеты для нового профиля отвала повторяются аналогичным образом.

Пример 5. Рассчитать устойчивость подтопленного откоса.

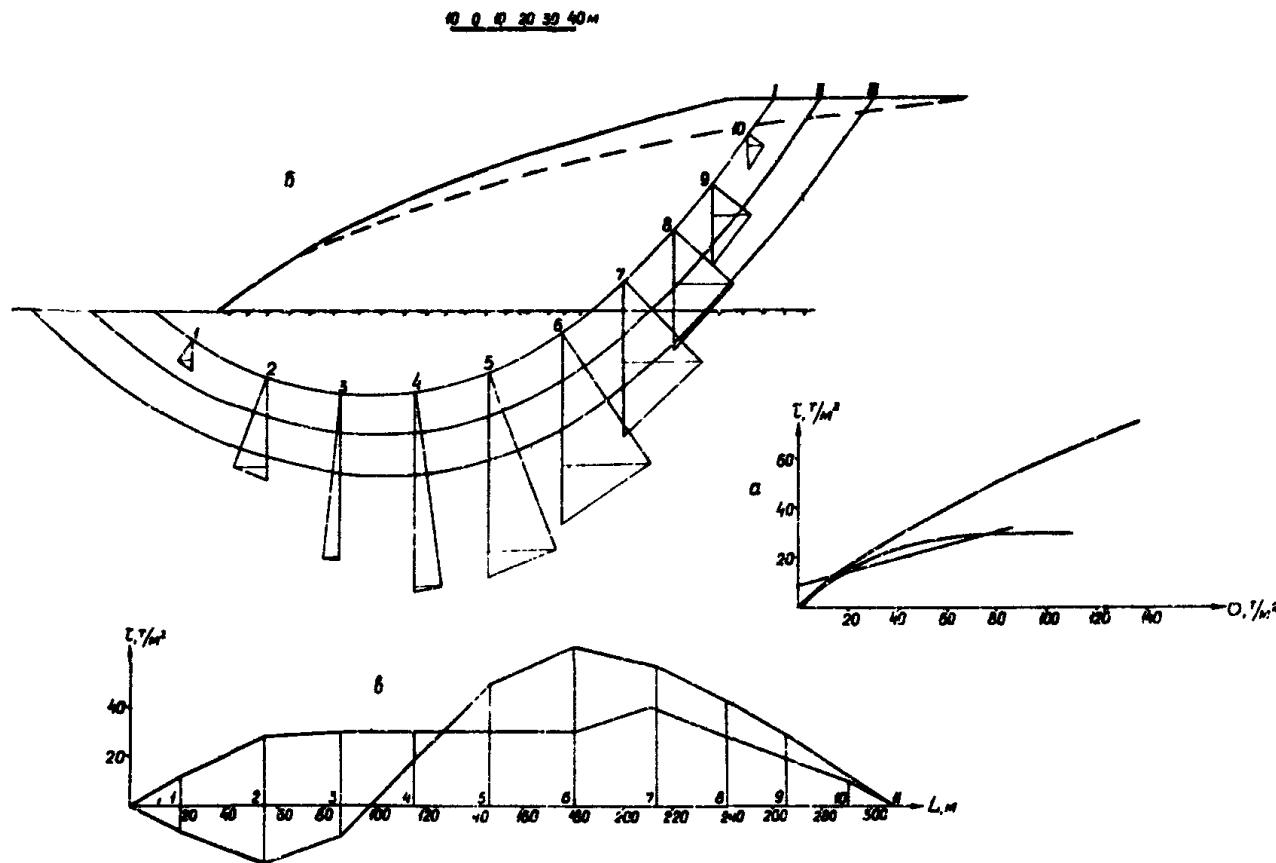


Рис.41. Пример расчета параметров отвала на слабом основании

## И с х о д и ю ё д а н н ы е :

$$\begin{array}{lll} \gamma_{\text{суглинка}} = 2,0 \text{ т/м}^3; & \rho_{\text{суглинка}} = 28^0; & k_{\text{суглинка}} = 5,0 \text{ Г/м}^2 \\ \gamma_{\text{песка}} = 1,7 \text{ т/м}^3; & \rho_{\text{песка}} = 33^0; & k_{\text{песка}} = 2,0 \text{ т/м}^2 \\ \Delta_{\text{песка}} = 2,65 \text{ т/м}; & \gamma_{\text{песка}} = 0,35; & \end{array}$$

Расчет ведется в такой последовательности (см.рис.12, п.3.11).

1. Согласно п.3.9 определяют параметры откоса (без учета гидростатических и гидродинамических сил) и положение наиболее напряженной поверхности.

2. Определяют положение депрессионной кривой и линий равных напоров в откосе, для чего для рассмотренного примера применено моделирование на приборе ЭГДА (могут применяться также и другие аналитические и графические приемы). Отсчет напоров производят от произвольной горизонтальной прямой (АА).

Для определения напора в какой-либо точке М следует найти точку пересечения N линии равного напора, проходящей через точку М, с депрессионной кривой. Расстояние от точки N до прямой АА и есть величина напора в точке М.

При отсутствии линий напоров, построенных на ЭГДА, в данном случае можно приближенно принимать величину напора в точке М равной заключенному между прямой АА и депрессионной кривой (или линией уреза воды в котловане) отрезку вертикали, проведенному через эту точку.

3. Призму в примыкающем к борту массиве, ограниченную расчетной поверхностью, разбивают на вертикальные блоки и в пределах каждого блока определяют результирующую силу гидростатического и гидродинамического давления (см. таблицу 1).

4. Определяют объемный вес водонасыщенных песков  $\gamma_{\text{нас}}$  (см.п.3.13):

$$\gamma_{\text{нас}} = \Delta (1 - i) + \Delta_i i = 2,65 \cdot 0,85 + 0,35 = 2,07 \text{ т/м}^3;$$

5. Коэффициент запаса устойчивости  $i$  вычисляют по формуле (23):

$$n = \frac{\sum [P_i \cos \varphi_i + P_{bi} \frac{\cos(\alpha - \varphi_i)}{\cos d} - D_i] \lg p_i + \sum k_i l_i}{\sum [P_i \sin \varphi_i - P_{bi} \frac{\sin(\alpha - \varphi_i)}{\cos d}]} =$$

$$= \frac{2342,6}{1757,9} = 1,32.$$

Все данные, необходимые для вычисления коэффициента запаса устойчивости откоса, приведены в таблице 1.

Для повышения точности оценки устойчивости откоса аналогичный расчет производится дополнительно по 2-3 расчетным поверхностям, и устанавливается положение наиболее напряженной поверхности.

**Пример 6.** Определение углов наклона различных участков борта карьера, имеющего сложную форму в плане.

На рис.42 изображен в плане карьер, где представлены основные случаи определения углов наклона бортов раз-

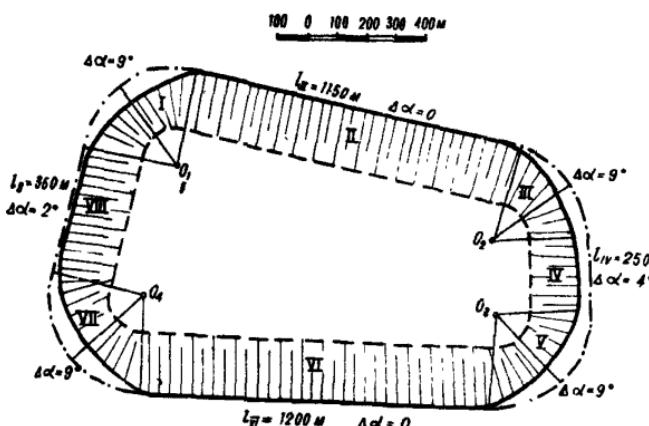


Рис.42. Пример расчета параметров различных участков борта карьера, имеющего сложную форму в плане. Расчетные характеристики:  $K_n = 25 \text{ т/м}^2$ ;  $\rho_n = 20 \text{ t/m}^3$ ;  $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$ ;  $n = 1,30$ ;  $H = 250 \text{ м}$ ;  $R_{низ} = 216 \text{ м}$ ;  $d_{пл} = 35^\circ$

личной конфигурации.

Пусть требуется определить параметры бортов

карьера сложной конфигурации, глубиной 250 м, при значениях характеристик сопротивления сдвигу пород;

$$\rho_n = 20^\circ; \quad k_n = 25,0 \text{ т/м}^2; \quad \gamma = 2,0 \text{ т/м}^3.$$

Расчет устойчивости бортов карьера, имеющего в плане сложную конфигурацию, производится в следующем порядке:

1. По графику зависимости высоты откоса плоского профиля от его угла (рис.6) соответственно пункту 3.9 определяется угол наклона борта плоского профиля прямолинейного простиания.

Для рассматриваемых условий  $\alpha_{pl} = 35^\circ$ .

2. Участки бортов I,Ш,У и УП представляют собою части дуг окружности с радиусом закругления по подошве карьера  $R_n = 216$  м. Максимальная поправка к углу наклона борта  $\Delta\alpha_n$  за счет закругления  $\alpha_0$  определяется соответственно п.4.2 по графику (рис.25). При данном условном радиусе, равном

$$R' = \frac{R_n}{H_{90}} = \frac{216}{35,7} = 6, \text{ поправка равна } \Delta\alpha_0 = 9^\circ.$$

Однако, угол наклона борта  $\alpha_{pl}$  увеличить на  $9^\circ$  вдоль всего закругления нельзя, так как криволинейные участки (I,Ш,У и УП) плавно переходят в прямолинейные, поэтому только в средних сечениях закруглений угол наклона борта увеличивается до значения  $\alpha' = \alpha_{pl} + \Delta\alpha_0$ . В зависимости от "зажатости" соседних прямолинейных участков максимальная поправка к  $\alpha_{pl}$  будет постепенно уменьшаться.

3. Поправку к углу наклона борта  $\alpha_{pl}$  для зажатых на гордах закруглений и прямолинейных участков IУ и УШ определяют следующим образом:

а) соответственно п.4.3 вычисляют длину эквивалентного "зажатого" участка по формуле (38):

$$l'_0 = \operatorname{ctg} \rho_n + R' \operatorname{tg} (50^\circ - \rho_n) = \operatorname{ctg} 20^\circ + 6 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 2,75 + 3,48 = 6,3$$

и условную длину прямолинейного участка по формуле (39):

Таблица I

Номер блока	Пло- щадь блока $S_i$	$P_i$	$\varphi_i$	$\cos \varphi_i$	$\sin \varphi_i$	$N_i$	$T_i$	$H_i$	$y_i$	$H_i - y_i$	$a_i$	$(H_i - y_i) a_i$	$F_i$	$\frac{P_i \cos(\alpha - \varphi)}{\cos \alpha}$	$\frac{P_i \sin(\alpha - \varphi)}{\cos \alpha}$	$\frac{14}{15}$	$\frac{18}{16}$	$\frac{k_i}{L_i}$	$L_i$	$k_i L_i$	$\frac{22}{19}$	$\frac{P_i \sin(\alpha - \varphi)}{\cos \alpha}$					
														$P_i$	$\varphi_i$	$N_i$	$T_i$	$H_i$	$y_i$	$H_i - y_i$	$a_i$	$(H_i - y_i) a_i$	$F_i$	$\frac{P_i \cos(\alpha - \varphi)}{\cos \alpha}$			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
I	17,6	35,2	59	0,515	0,857	18,1	30,1	-	-	-	-	-	-	30,1	28	0,32	9,6	5	13,5	67,5	77,1	30,1					
2	<u>128,5</u>	<u>257,0</u>	<u>71,2</u>	<u>121,0</u>	<u>56</u>	<u>0,559</u>	<u>0,828</u>	<u>211,5</u>	<u>313,0</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>211,5</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>137,5</u>	<u>2</u>	<u>18</u>	<u>36</u>	<u>373,5</u>	<u>313,0</u>				
3	<u>118,7</u>	<u>237,4</u>	<u>249,5</u>	<u>423,0</u>	<u>17,9</u>	<u>37,1</u>	<u>43</u>	<u>0,735</u>	<u>0,681</u>	<u>512,5</u>	<u>475,0</u>	<u>25</u>	<u>22,5</u>	<u>2,5</u>	<u>6,0</u>	<u>15,0</u>	<u>20,4</u>	<u>-</u>	<u>492,1</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>320</u>	<u>2</u>	<u>17,5</u>	<u>35</u>	<u>355</u>	<u>475,0</u>
4	<u>24,8</u>	<u>49,6</u>	<u>398,5</u>	<u>677,5</u>	<u>34</u>	<u>0,828</u>	<u>0,559</u>	<u>1032</u>	<u>697</u>	<u>25</u>	<u>13,0</u>	<u>12,0</u>	<u>20,85</u>	<u>250</u>	<u>302</u>	<u>-</u>	<u>730</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>475</u>	<u>2</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>525</u>	<u>697,0</u>		
5	<u>236,0</u>	<u>401,0</u>	<u>440,0</u>	<u>910,0</u>	<u>20</u>	<u>0,939</u>	<u>0,342</u>	<u>1230</u>	<u>448</u>	<u>23,5</u>	<u>1,0</u>	<u>22,5</u>	<u>20,85</u>	<u>470</u>	<u>500</u>	<u>-</u>	<u>730</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>475</u>	<u>2</u>	<u>22</u>	<u>44</u>	<u>519</u>	<u>448,0</u>		
6	<u>8,25</u>	<u>14,0</u>	<u>376</u>	<u>778,0</u>	<u>0</u>	<u>I</u>	<u>0</u>	<u>792,5</u>	<u>0</u>	<u>22</u>	<u>0</u>	<u>22</u>	<u>17,5</u>	<u>385</u>	<u>385</u>	<u>-</u>	<u>407,5</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>265</u>	<u>2</u>	<u>17,5</u>	<u>35</u>	<u>300</u>	<u>0</u>		
7	<u>112,5</u>	<u>112,5</u>	<u>337,5</u>	<u>699,0</u>	<u>0</u>	<u>I</u>	<u>0</u>	<u>699</u>	<u>0</u>	<u>20,5</u>	<u>0</u>	<u>20,5</u>	<u>20,5</u>	<u>461,2</u>	<u>461,2</u>	<u>II2,5</u>	<u>51,4</u>	<u>350,3</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>229,5</u>	<u>2</u>	<u>22,5</u>	<u>45</u>	<u>274,5</u>	<u>-51,4</u>	
8	<u>337,5</u>	<u>337,5</u>	<u>II2,5</u>	<u>233</u>	<u>0</u>	<u>I</u>	<u>0</u>	<u>233</u>	<u>0</u>	<u>20,25</u>	<u>0</u>	<u>20,25</u>	<u>22,5</u>	<u>457</u>	<u>457</u>	<u>337,5</u>	<u>I53,8</u>	<u>II3,5</u>	<u>33</u>	<u>0,65</u>	<u>73,5</u>	<u>2</u>	<u>22,5</u>	<u>45</u>	<u>II8,5</u>	<u>-153,8</u>	
																							<u><math>\Sigma = 23426</math></u>	<u><math>\Sigma = 1757,9</math></u>			

$\ell_1' = \frac{\ell}{H_{90}}$ , и общая условная длина зажатого участка:

$\ell' = \ell_0' + \ell_1' -$  для участка 1У  $\ell' = 6,3 + 7,0 = 13,3;$

для участка УШ  $\ell' = 6,3 + 10,0 = 16,3;$

б) по графику (рис.27) определяют поправку к углу  $\alpha_{пл}$  за зажатость  $\Delta\alpha_0$  по условным длинам зажатых участков:

для участка 1У  $\Delta\alpha_0 = 4^\circ$ ;

для участка УШ  $\Delta\alpha_0 = 2^\circ$ ;

поправка за зажатость прямолинейных участков П и У1 равна нулю, т.к. их длина больше удвоенной величины наклонной высоты борта

$$(\ell_{II} > 2H_{II} \text{ и } \ell_{IV} > 2H_{IV}, H_{II} = \frac{250}{\sin 35^\circ} = \frac{250}{0,574} = 430 \text{ м}).$$

4. Промежуточные значения углов наклона борта в интервале между средними сечениями закруглений и границами закруглений с прямолинейными участками определяют интерполяцией.

На рис.42 сплошной линией показан искомый контур карьера, борта которого на всех участках имеют коэффициент запаса устойчивости  $n = 1,3$ .

Пример 7. Определить параметры бортов карьера круглой формы.

Глубина карьера 256 м; борта карьера сложены слоистыми породами; угол падения слоев  $\beta = 45^\circ$ , радиус кривизны по подошве  $R_{II} = 195$  м, физико-механические характеристики горных пород, слагающих борта, следующие:  $\rho_n = 25^\circ$ ;  $k_n = 25 \text{ т}/\text{м}^2$ ;  $\rho'_n = 20^\circ$ ;  $k' = 0$ ;  $\gamma = 2,0 \text{ т}/\text{м}^3$ .

Определение параметров бортов карьеров круглой формы в слоистой среде выполняется в такой последовательности:

1. Решением плоской задачи с учетом слоистости пород определяют углы наклона борта по сечениям, нормальным простиранию слоев. По сечению ОС, где слои падают в сторону массива, угол наклона борта, определенный по схеме У (см. и.3.9) решением плоской задачи, равен  $\alpha_{пл} = 43^\circ$ ; по сечению ОА слои падают в сторону карьера, угол наклона борта

в этом сечении, определенный по схеме X (см.п.3.16), равен  $35^\circ$  (рис.43). От сечения OA к сечениям OB и OD, в связи с изменением ориентировок бортов и углов встречи борта со слоями пород, угол наклона борта плавно увеличивается до угла  $\alpha = 43^\circ$ .

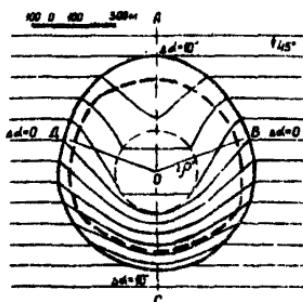


Рис.43. Пример расчета параметров бортов карьеров круглой формы, сложенных слоистыми породами. Расчетные характеристики:  $\gamma = 2.0 \text{ т/м}^3$ ;  $K_n = 25 \text{ т/м}^2$ ;  $\rho_n = 25^\circ$ ;  $\kappa' = 0$ ;  $\rho_n = 20^\circ$ ;  $\beta_0 = 45^\circ$ ;  $H = 256 \text{ м}$ ;  $\alpha_{(0-c)} = 43^\circ$ ;  $\alpha_{(0-A)} = 35^\circ$ ;  $R_{\min} = 195 \text{ м}$ ; — контур из условия плоской задачи, - - - контур с учетом сил бокового распора

2. Определяют поправки к углам наклона бортов за счет их кривизны соответственно п.4.2 по графику поправок (рис. 25), для чего:

a) вычисляют

$$H_{90} = \frac{2K_n}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^\circ - \rho_n/2) = \\ = \frac{2 \cdot 25,0}{2} \cdot \operatorname{ctg} 32^\circ 30' = 25,0 \times \\ \times 1,57 = 39,2 \text{ м};$$

б) вычисляют относительный радиус кривизны по подошве карьера

$$\frac{R'}{R_n} = \frac{R_n}{H_{90}} = \frac{195}{39,2} = 5;$$

в) поправку за кривизну определяют по относительному радиусу  $R' - \Delta \alpha_0 = 10^\circ$ .

По сечениям OB и OD, отклоненным от линии простирации слоев на угол  $\rho'$ , угол между направлением кольцевого напряжения и наслонением  $\theta \geq (90^\circ - \rho')$ ; поправка к углу наклона борта по этим сечениям может быть принята также максимальной —  $\Delta \alpha_0 = 10^\circ$  и одинаковой на протяжении всего участка BCD. Однако уже по очень близким к указанным сечениям угол между направлением кольцевого напряжения и простирацией слоев меньше  $90^\circ - \rho'$ , и поэтому на участке BAD при крутых углах наклона условия устойчивости ухудшаются. Кроме того, слои здесь подрезаны: частично — в области сечения OA и полностью — к сечениям OB и OD. Следовательно, чтобы сохранить условия для бо-

бокового распора по всему периметру выемки, необходимо от сечений ОА и ОС к сечениям ОВ и ОД постепенно вы- положить борт до угла, равного  $\alpha_{OB} = \alpha_{OD} = \alpha_{MLOB} + \frac{1}{2}\Delta\alpha_0$ . Некоторое увеличение угла наклона на участках с полно- стью рассеченными слоями оправдано тем, что они "за- жаты" на торцах устойчивыми участками бортов.

На рис.43 контур выемки с учетом сил бокового рас- пора показан штриховой линией.

## Приложение 8

**Примеры расчета устойчивости и ширины призмы возможного обрушения рабочих уступов и породных отвалов, нагруженных горным оборудованием**

**Пример 1.** Рассчитать устойчивость и ширину призмы возможного обрушения откоса одноярусного бульдозерного отвала.

Исходные данные для расчета.

В отвал отсыпаются суглиники и бурье глины, график сопротивления сдвигу отвальной массы приведен на рис.44,

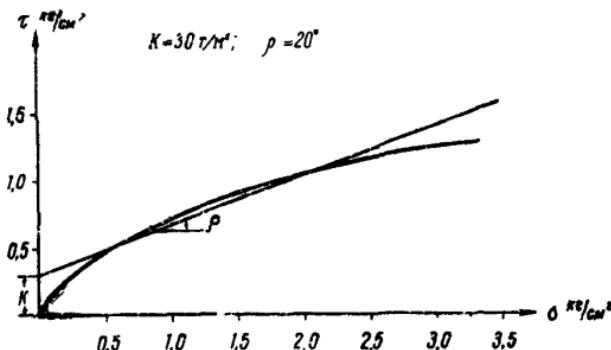


Рис.44. График сопротивления сдвигу отвальной массы (суглинистые и бурьевые глины)

угол откоса отвала  $34^\circ$ , основание отвала — скальные породы, объемный вес отвальной массы  $1,80 \text{ т/m}^3$ . Расчет выполняется в такой последовательности:

1. В соответствии с п.2.7, заменяют криволинейный участок графика (рис.44) отрезком прямой и снимают с графика характеристики сопротивления сдвигу; для рассматриваемого случая они равны:

$$\rho = 20^\circ, \quad k = 3,0 \text{ т/m}^2.$$

Примечание. Максимальная величина  $\sigma_H$ , соответствующая наибольшему нормальному напряжению на ориентированно построенной наиболее напряженной поверхности,

вычисляется по формуле:  $\delta_n = \gamma H_n \cos^2 \varphi_i$ ; высота откоса отвала предварительно выбирается из таблицы 1 приложения 9.

2. В соответствии с пп. 2.10, 2.11 вычисляют расчетные характеристики сопротивления сдвигу отвальной массы:

$$\rho_n = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{1,2} = \operatorname{arctg} 0,303 = 17^\circ; k_n = \frac{3,0}{1,2} = 2,5 \text{ т/м}^2.$$

3. По формуле (6) вычисляют  $H_{90}$ :

$$H_{90} = \frac{2 k_n}{\gamma} \operatorname{ctg} (45^\circ - \rho_n/2) = \frac{2 \cdot 2,5}{1,8} \operatorname{ctg} 36^\circ 30' = 3,8 \text{ м}$$

4. По графику зависимости между высотой плоского откоса и его углом для различных значений расчетных характеристик (рис.8), в соответствии с п.3.9, по углу откоса отвала находят условную высоту откоса  $H'$ . Для рассматриваемых условий она получена равной 6,5.

5. Вычисляют действительную высоту откоса отвала без учета нагруженности отвала горным оборудованием:

$$H = H' \cdot H_{90} = 6,5 \cdot 3,8 = 25,0 \text{ м}$$

Примечание. Устойчивость нагруженного отвала рассчитывается для условий, когда для транспортирования пород в отвалы используются автосамосвалы МАЗ-525. Вес  $P_{gr}$  груженого автосамосвала МАЗ-525 - 49,5 т; площадь, на которую опирается самосвал, -  $S_{0n}$  равна произведению базы на среднюю ширину колеи:

$$S_{0n} = 4,8 \cdot 2,35 = 11,3 \text{ м}^2$$

Удельная нагрузка автосамосвала на грунт  $p$  будет равна:

$$p = \frac{P_{gr}}{S_{0n}} = \frac{49,5}{11,3} \approx 4,4 \text{ т/м}^2.$$

6. В одном из принятых для графической маркшейдерской документации масштабе на чертеже строят профиль откоса отвала с параметрами:  $H = 25,0$  м и  $\alpha = 34^\circ$  и отмечают на чертеже положение автосамосвала.

В соответствии с требованиями 88 80, 349 "Единых правил безопасности при разработке месторождений полез-

ныхскопаемых открытым способом", ось заднего моста автосамосвала МАЗ-525 при разгрузке на верхней площадке отвала должна быть расположена не ближе 2,5-3,0 м от его верхней бровки (положение автосамосвала при разгрузке показано на рис.45).

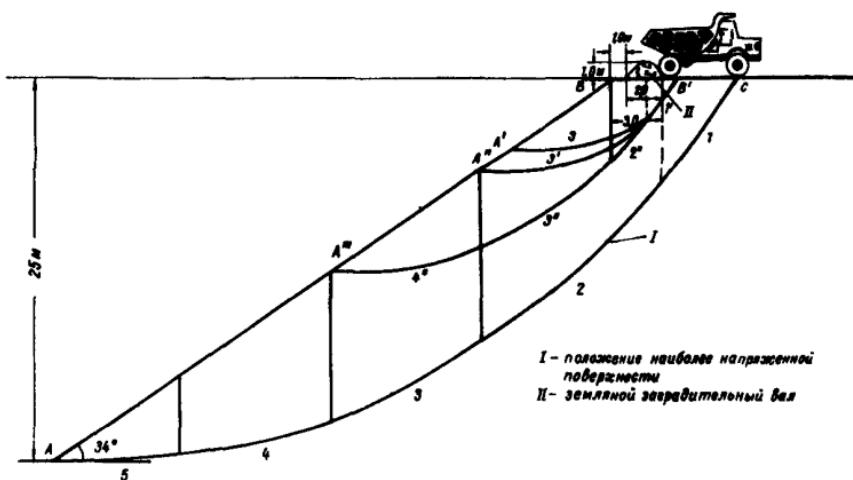


Рис.45. Схема безопасного расположения автосамосвала МАЗ-525 на отвале при разгрузке

7. Производят оценку устойчивости отвала с учетом веса автосамосвала по поверхности АС, очертывающей призму, в пределах которой размещается автосамосвал, и дополнительно по поверхностям А'В', А''В' и А'''В', очертывающим призму, на которую давит задний мост автосамосвала.

Для выполнения расчета устойчивости нагруженного отвала предварительно вычисляют вес автосамосвала  $\Delta P$  приходящийся на 1 пог.м протяженности отвала (вдоль бровки); поскольку призма, ограниченная наиболее напряженной поверхностью, нагруженного откоса в плане имеет циркообразный вид, показанный на рисунке 46, условно увеличивают площадь, на которую передается вес автосамосвала, и вычисляют  $\Delta P$  по формуле:

$$\Delta P = \frac{P}{\alpha_{kp} + 2 \cdot \frac{1}{3} c} = \frac{49,5}{2,35 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 14,4} = \frac{49,5}{11,95} = 4,1 \text{ т};$$

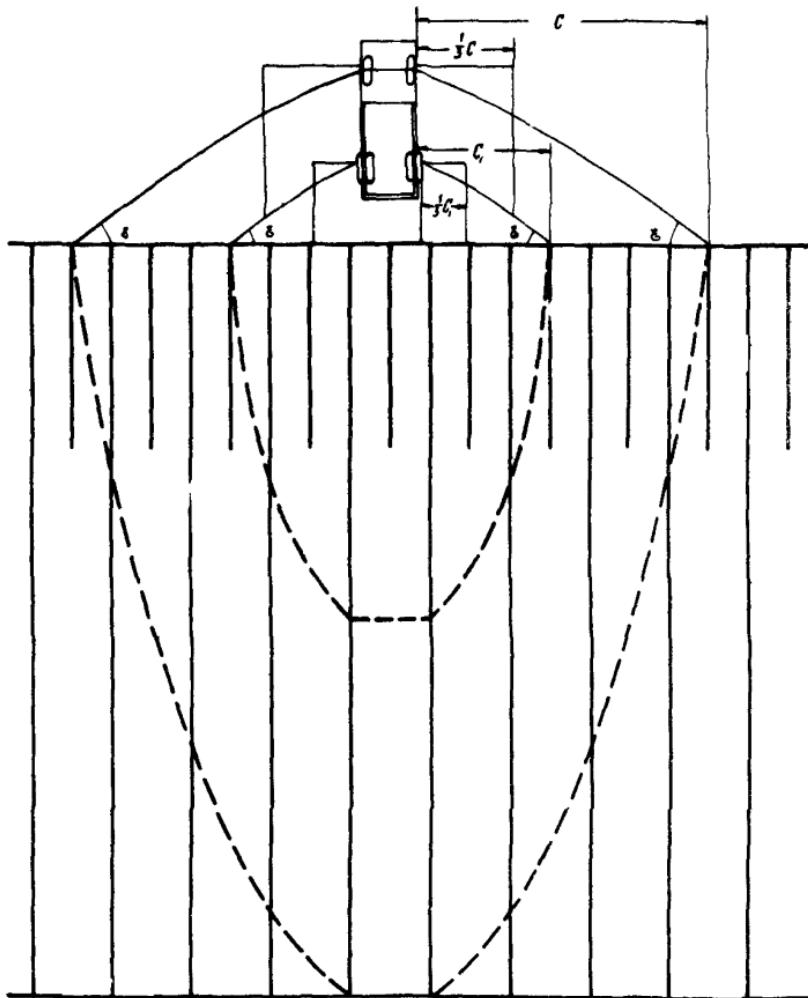


Рис.46. Форма призмы в плане, ограниченной в массиве наиболее напряженной поверхностью, при безопасном расположении автосамосвала на отвале

здесь  $P$  - вес автосамосвала МАЗ-525;

$a_{кор}$  - средняя ширина колеи автосамосвала МАЗ-525;

$c$  - расстояние от самосвала до края призмы  
(см.рис.46).

Коэффициент запаса устойчивости откоса отвала вычисляют, в соответствии с п.3.12, по общему сопротивлению

сдвигу отвальной массы (рис.44). Все необходимые данные для вычисления коэффициента запаса устойчивости отвала по поверхности АС приведены в таблице 1.

В таблице применены следующие обозначения:

$a_i$  - ширина элементарного блока, на которые разбита призма, примыкающая к откосу и ограниченная расчетной (наиболее напряженной) поверхностью, м;

$h_i$  - высота (средняя) элементарного блока, м;

$\gamma$  - объемный вес отвальной массы,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

$P_i = a_i h_i \gamma$  - вес элементарного блока (при расчете устойчивости ширина призмы, примыкающей к откосу и ограниченной наиболее напряженной поверхностью, вдоль бровки откоса принимается равной 1 м), т;

$\varphi_i$  - угол наклона основания элементарного блока, град;

$T_{i\partial\theta} = P_i \sin \varphi_i$  - касательная составляющая веса элементарного блока, действующая вдоль его основания, т;

$N_i = P_i \cos \varphi_i$  - нормальная составляющая веса элементарного блока, т;

$\lambda_i$  - длина <sup>x)</sup> (площадь) основания элементарного блока,  $\text{м}^2$ ;

$\sigma_i = \frac{P_i \cos \varphi_i}{\lambda_i}$  - нормальное напряжение в основании элементарного блока,  $\text{т}/\text{м}^2$ ;

$\tau_i$  - удельное сопротивление сдвигу отвальной массы при нормальном напряжении  $\sigma_i$  (снимается с графика сопротивления сдвигу отвальной массы, рис.44),  $\text{т}/\text{м}^2$ ;

$T_{i\text{у}\partial}$  - общее сопротивление сдвигу отвальной массы вдоль основания элементарного блока, т.

x) Поскольку при решении плоской задачи ширина призмы, примыкающей к откосу и ограниченной расчетной (наиболее напряженной) поверхностью, вдоль бровки откоса принимается равной 1 м, длина основания элементарного блока численно равна площади его основания.

Таблица 1

№ п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{св}}$	$\cos \varphi$	$N$	$\ell$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
1	5.0	3.5	1.8	31.5	53°30'	0.802	28.6	0.597	21.2	8.5	2.5	3.0	25.5
2	8.6	10.5	1.8	162.5	43°	0.682	110.9	0.731	119.0	16.0	7.4	6.0	96.0
3	10.0	10.7	1.8	192.7	27°	0.454	87.4	0.891	171.5	11.6	14.8	9.0	104.3
4	10.0	7.7	1.8	138.6	13°	0.225	31.2	0.974	135.0	10.5	12.9	8.5	89.2
5	8.0	3.0	1.8	43.2	2°	0.035	1.5	0.999	43.2	8.4	5.1	5.0	42.0
$\Sigma T_{\text{св}}$													$\Sigma T_{y\theta} 357.0$

Таблица 2

№ п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{св}}$	$\cos \varphi$	$N$	$\ell$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
I'	2.0	1.4	1.8	(+5.0) 5.0	53°30'	0.802	8.0	0.597	6.0	3.4	1.8	2.5	8.5
2	2.4	3.4	1.8	14.7	28°00'	0.469	6.9	0.883	13.0	2.8	4.6	4.5	12.6
3	6.6	2.2	1.8	26.1	6°30'	0.113	3.0	0.994	26.0	7.0	3.7	3.9	27.3
$\Sigma T_{\text{св}}$													$\Sigma T_{y\theta} 48.4$

Вычисленный коэффициент запаса устойчивости отвала равен:

$$\eta = \frac{\sum T_{y\theta}}{\sum T_{x\theta\theta}} = \frac{357.0}{259.6} = 1.37$$

8. Производят поверочный расчет устойчивости отвала по наиболее напряженной поверхности, ограничивающей призму, примыкающую к откосу отвала, на которой размещается задний мост автосамосвала, для чего условно увеличивают площадь, на которую передается вес заднего моста (см.рис.46); и вычисляют вес заднего моста автосамосвала, приходящийся на 1 пог.м протяженности откоса отвала,  $\Delta P_1$  (этот вес при расчете прибавляется к весу верхнего элементарного блока):

$$\Delta P_1 = \frac{P_{z.m.}}{a_k + 2 \cdot \frac{1}{3} c_1} = \frac{32.8}{2.2 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 6.4} \approx 5.0 \text{ т}$$

После этого, решая плоскую задачу, вычисляют коэффициент запаса устойчивости отвала по поверхностям  $A'B'$ ,  $A''B'$ ,  $A'''B'x$ ; вычисленные коэффициенты запаса устойчивости соответственно равны:

$$\text{по поверхности } A'B' \text{ (см.табл.2)} - \eta = \frac{48.4}{17.9} = 2.70;$$

$$\text{по поверхности } A''B' \text{ (см.табл.3)} - \eta' = \frac{66.3}{25.7} = 2.58;$$

$$\text{по поверхности } A'''B' \text{ (см.табл.4)} - \eta'' = \frac{137.9}{82.2} = 1.73$$

9. На основе выполненных расчетов делают заключение, что устойчивость отвала при размещении автосамосвала, как показано на рис.45, 46, не вызывает сомнений.

10. Проверяют устойчивость отвала при размещении автосамосвала в непосредственной близости от верхней бровки, обеспечивающем отсыпку отвальной массы непо-

x) Расчет устойчивости по ряду поверхностей определяется с целью установления наименьшего коэффициента запаса устойчивости.

Таблица 3

No п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{раб}}$	$\cos \varphi$	$N$	$\tau$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
I'	2.0	1.4	1.8	5.0 <sup>(+5.0)</sup>	53°30	0.802	8.0	0.597	6.0	3.4	1.8	2.5	8.5
2'	2.4	3.7	1.8	16.0	38°00	0.616	9.9	0.788	12.6	3.2	3.9	4.0	12.8
3'	8.8	3.0	1.8	47.5	9°30	0.165	7.8	0.986	46.8	9.2	5.1	4.9	45.0
		$\Sigma T_{\text{раб}}$		25.7							$\Sigma T_{y\theta}$		66.3

Таблица 4

No п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{раб}}$	$\cos \varphi$	$N$	$\tau$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$	
				$(+5.0)$										
I'	2.0	1.4	1.8	5.0	53°30	0.802	8.0	0.597	6.0	3.4	1.8	2.5	8.5	
2"	2.4	4.2	1.8	18.1	48°30	0.749	13.6	0.668	12.0	3.7	3.2	3.6	13.3	
3"	8.6	5.8	1.8	89.8	33°00	0.545	48.9	0.839	75.3	10.5	7.2	6.0	63.0	
4"	10.0	3.0	1.8	54.0	9°00	0.156	8.4	0.988	53.4	10.5	5.1	4.9	51.4	
		$\Sigma T_{\text{раб}}$		78.9							$\Sigma T_{y\theta}$		136.2	

средственено на откос отвала (см.рис.47, 48, 49), для чего:

а) вычисляют вес автосамосвала, приходящийся на 1 пог.м протяженности отвала вдоль бровки, с учетом размеров призмы, оконтуренной расчетной поверхностью (см. рис.48):

$$\Delta P_2 = \frac{P}{a_{kp} + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot c_2} = \frac{49,5}{2,35 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 9,6} = \frac{49,5}{8,75} = 5,7 \text{ т};$$

б) вычисляют коэффициент запаса устойчивости отвала по поверхности АС (рис.47, табл.5):

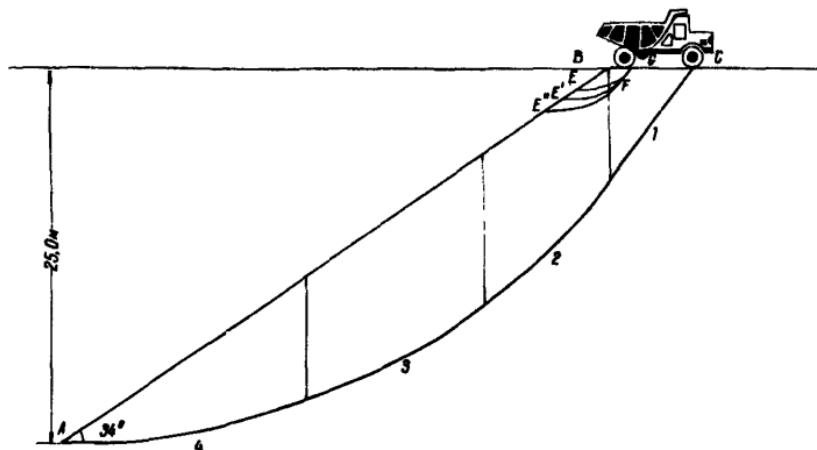


Рис.47. Схема расчета устойчивости нагруженного отвала

$$n_1 = \frac{336,8}{257,3} = 1,31;$$

в) вычисляют вес заднего моста автосамосвала, приходящийся на 1 пог.м протяженности откоса вдоль бровки -  $\Delta P_3$  :

$$\Delta P_3 = \frac{P_{3.m.}}{a_k + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot c_3} = \frac{32,8}{2,2 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 2,1} = \frac{32,8}{3,6} = 9,1 \text{ т};$$

г) вычисляют коэффициент запаса устойчивости отвала с учетом веса заднего моста автосамосвала (для отыскания наиболее напряженной поверхности расчет выполняют по ряду расчетных поверхностей); расчетами получены следующие коэффициенты запаса устойчивости:

по поверхности  
EFG (см. рис. 49, табл. 3)

$$-11 = \frac{10,4}{8,4} - 1,24;$$

по поверхности E'FG (см.табл.7) -

$$-11 = \frac{14,1}{9,7} = 1,45;$$

по поверхности  
EFG (см. табл. 8)

$$= -\frac{16,7}{11,8} = 1,42$$

11. Для уточнения коэффициента запаса устойчивости участка отвала, нагруженноговесом ~~важного~~ моста автосамосвала, производят расчет по ряду поперечных профилей

Рис.48. Форма призмы в плане, ограниченной в массиве наиболее напряженной поверхностью, при опасном расположении автосамосвала на отвале

(решают объемную задачу), для чего:

а) в укрупненном масштабе изображают на чертеже

Таблица 5

№/п	$\alpha$	$h$	$r$	P	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{сф}}$	$\cos \varphi$	N	$\ell$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
(+5.7)													
1	5.6	3.8	I.8	38.3	53 <sup>0</sup> 30	0.802	35.3	0.597	26.3	9.4	2.6	3.0	28.2
2	8.4	9.5	I.8	I43.7	44 <sup>0</sup>	0.695	99.8	0.719	I03.2	I2.5	8.4	6.5	80.0
3	12.0	9.8	I.8	2II.5	27 <sup>0</sup>	0.454	96.0	0.891	I88.5	I3.9	I3.6	8.5	II8.1
4	I6.0	5.0	I.8	I44.0	I0 <sup>0</sup> 30	0.182	26.2	0.983	I4I.5	I7.0	8.3	6.5	II0.5
$\Sigma T_{\text{сф}}$												$\Sigma T_{y\theta} 536.8$	
(+5.7)													

Таблица 6

№/п	$\alpha$	$h$	$r$	P	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{сф}}$	$\cos \varphi$	N	$\ell$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
(+9.1)													
1	0.6	0.35	I.8	0.4	53 <sup>0</sup> 30	0.802	7.6	0.597	5.7	I.0	5.7	5.2	5.2
2	0.9	I.00	I.8	I.6	26 <sup>0</sup> 00	0.438	0.7	0.899	I.45	I.0	I.45	2.0	2.0
3	I.8	0.70	I.8	2.3	2 <sup>0</sup>	0.035	0.1	0.999	2.3	I.9	I.2	I.7	3.2
$\Sigma T_{\text{сф}}$												$\Sigma T_{y\theta} 10.4$	

Таблица 7

№ п/п	$\alpha$	h	$\tau$	P	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{раб}}$	$\cos \varphi$	N	$\ell$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
(+9.1)													
1	0.6	0.35	1.8	0.4	53°30'	0.802	7.6	0.597	5.7	1.0	5.7	5.2	5.2
2'	0.9	1.10	1.8	1.8	35°30'	0.581	1.0	0.814	1.45	1.1	1.3	2.0	2.2
3'	1.0	1.30	1.8	2.3	22°00'	0.375	0.9	0.927	2.2	1.1	2.0	2.8	3.1
4'	1.9	0.70	1.8	2.4	4°30'	0.078	0.2	0.997	2.4	2.0	1.2	1.8	3.6
$\Sigma T_{\text{раб}}$												$\Sigma T_{y\theta} 14.1$	

Таблица 8

№ п/п	$\alpha$	h	$\tau$	P	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{раб}}$	$\cos \varphi$	N	$\ell$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
(+9.1)													
1	0.6	0.35	1.8	0.4	53°30'	0.802	7.6	0.597	5.7	1.0	5.7	5.2	5.2
2"	0.9	1.30	1.8	2.1	44°	0.695	1.5	0.719	1.5	1.3	1.2	1.5	2.0
3"	1.0	1.65	1.8	3.0	31°	0.515	1.5	0.857	2.5	1.2	2.1	2.5	3.0
4"	1.2	1.40	1.8	3.0	19°	0.326	1.0	0.946	2.9	1.35	2.1	2.5	3.4
5"	1.9	0.70	1.8	2.4	4°30'	0.078	0.2	0.997	2.4	2.1	1.1	1.5	3.1
$\Sigma T_{\text{раб}}$												$\Sigma T_{y\theta} 16.7$	

в плане призму возможного обрушения, принимая во внимание, что поверхность скольжения имеет циркообразную форму и пересекает верхнюю бровку откоса под углом  $\delta$  (см.рисунок 49);

б) вычисляют вес заднего моста автосамосвала, приходящийся на 1 пог.м протяженности борта вдоль бровки откоса в пределах задней его колеи:

$$\Delta P = \frac{P_{3, M.}}{a_K} = \frac{32,8}{2,2} = 15,0 \text{ т};$$

в) через определенные интервалы проводят расчетные поперечные профили (в рассматриваемом случае расчетные профили 1-1 - УП-УП проведены через 1 м) и по каждому профилю определяют  $\Sigma T_{y\theta}$  - общее сопротивление сдвигу отвальной массы (удерживающую силу) вдоль участка расчетной поверхности, примыкающей к профилю, и  $\Sigma T_{c\theta\theta}$  - сдвигающую касательную силу, действующую по участку расчетной поверхности, примыкающей также к профилю; для рассматриваемого случая удерживающие и сдвигающие силы соответственно равны:

- по профилям 1-1 и УП-УП (см.табл.9)  $\Sigma T_{y\theta} = 1,19 \text{ т}$ ;

$$\Sigma T_{c\theta\theta} = 0,23 \text{ т};$$

- по профилям П-П и У1-У1 (см.табл.10)  $\Sigma T_{y\theta} = 4,36 \text{ т}$ .

$$\Sigma T_{c\theta\theta} = 0,92 \text{ т};$$

- по профилям Ш-1У-У (см.табл.11)  $\Sigma T_{y\theta} = 11,7 \text{ т}$ .

$$\Sigma T_{c\theta\theta} = 13,2 \text{ т}$$

12. Вычисляют коэффициент запаса устойчивости участка отвала, нагруженного весом заднего моста автосамосвала, с учетом защемления призмы возможного обрушения, который равен отношению суммы всех удерживающих сил к сумме всех сдвигающих сил по всем расчетным профилям:

$$n = \frac{1,19 \cdot 2 + 4,36 \cdot 2 + 11,7 \cdot 2,2}{0,23 \cdot 2 + 0,92 \cdot 2 + 13,2 \cdot 2,2} = \frac{36,80}{31,40} = 1,17;$$

поскольку вычисленный коэффициент запаса ниже принятого к расчету, делают заключение, что размещение автосамо-

Таблица 9

№/п	$\alpha$	$h$	$\tau$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{об}}$	$\cos \varphi$	$N$	$l$	$s$	$\tau$	$T_{y\theta}$
1"	0.30	0.18	1.8	0.10	53°30'	0.802	0.08	0.597	0.06	0.40	0.15	0.4	0.16
2"	0.30	0.43	1.8	0.23	28°00'	0.469	0.11	0.883	0.20	0.35	0.59	1.0	0.35
3"	0.80	0.30	1.8	0.43	5°00'	0.087	0.04	0.996	0.43	0.85	0.51	0.8	0.68
		$\Sigma T_{\text{об}}$		0.23							$\Sigma T_{y\theta}$		1.19

Таблица 10

№/п	$\alpha$	$h$	$\tau$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{об}}$	$\cos \varphi$	$N$	$l$	$s$	$\tau$	$T_{y\theta}$
1"	0.45	0.30	1.8	0.24	53°30'	0.802	0.20	0.597	0.14	0.75	0.19	0.5	0.37
2"	0.75	0.85	1.8	1.15	28°00'	0.469	0.54	0.883	1.01	0.90	1.12	1.6	1.44
3"	1.60	0.60	1.8	1.73	6°00'	0.104	0.18	0.994	1.72	1.70	1.01	1.50	2.55
		$\Sigma T_{\text{об}}$		0.92							$\Sigma T_{y\theta}$		4.86

Таблица II

№ п/п	$\alpha$	$h$	$T$	$P$	$\varphi$	$\sin \varphi$	$T_{\text{св}}$	$\cos \varphi$	$N$	$\tau$	$\sigma$	$\tau$	$T_{y\theta}$
I	0.6	0.35	1.8	0.4 (+15.0)	53°30	0.802	12.4	0.597	9.2	1.0	9.2	6.5	6.5
2	0.9	1.00	1.8	1.6	26°00	0.438	0.7	0.899	1.45	1.0	1.45	2.0	2.0
3	1.8	0.70	1.8	2.3	2°00	0.035	0.1	0.999	2.3	1.9	1.2	1.7	3.2
$\Sigma T_{\text{св}}$												$\Sigma T_{y\theta}$ 11.7	

Таблица I2

№ п/п	$\alpha$	$h$	$T$	$P$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$T$	$\cos \alpha$	$N$	$k = 3.0 \text{ Т/м}^2$
I	8.4	7.0	1.75	103.3 (+12.0)	54°	0.809	93.4	0.586	67.9	
2	7.6	12.6	1.75	167.8	37°30	0.609	102.0	0.795	132.0	$L = 46.0 \text{ м}$
3	10.0	9.7	1.75	170.0	24°	0.407	69.2	0.914	155.5	$kL = 138.0 \text{ т}$
4	10.0	4.0	1.75	70.0	10°	0.174	12.2	0.985	68.9	
$\Sigma T$						$\Sigma N$ 425.1				

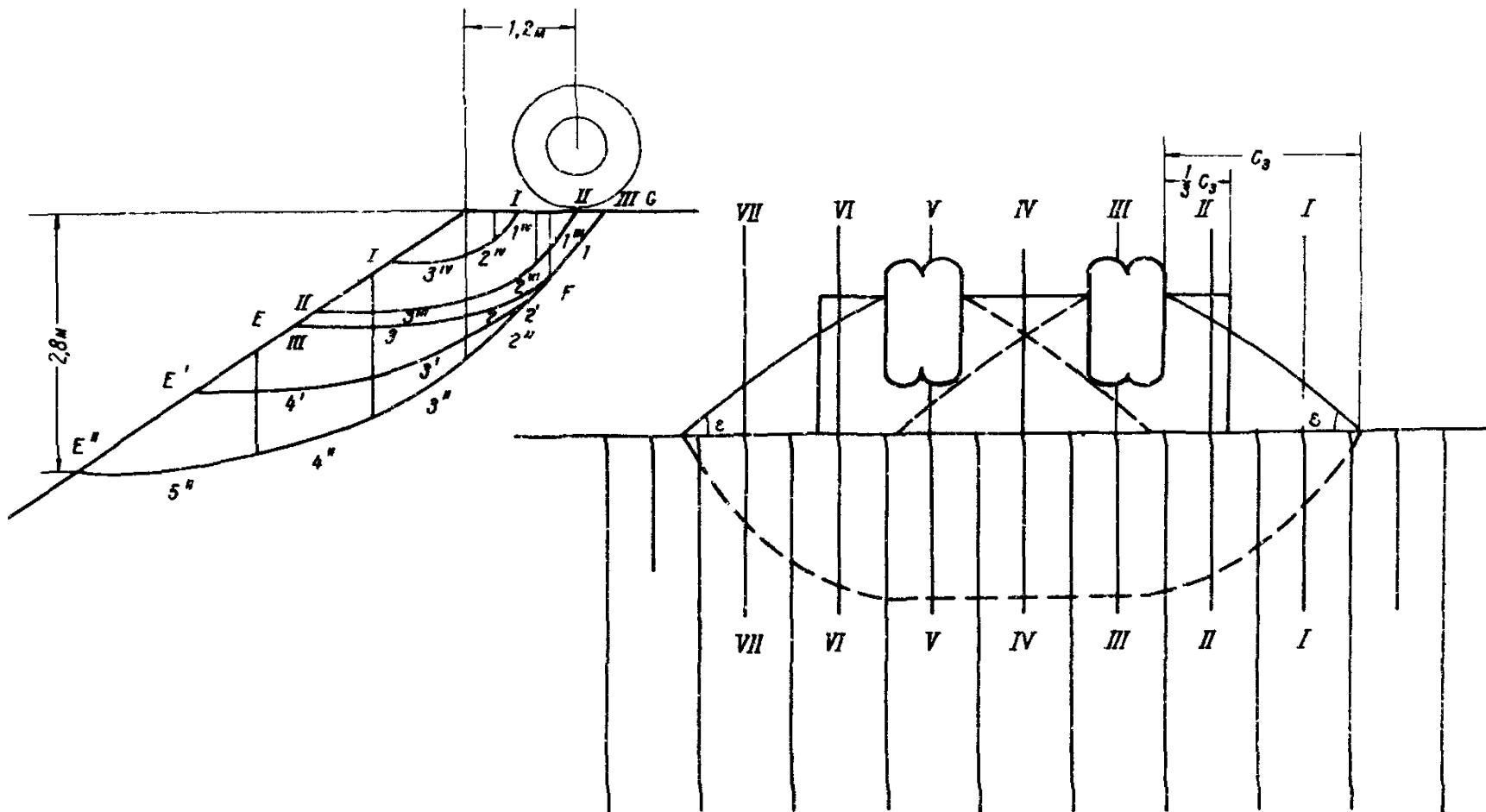


Рис. 49. Схема к расчету устойчивости участка откоса отвала с учетом бокового защемления призмы возможного обрушения, нагруженной весом заднего моста автосамосвала МАЗ-525

свала вблизи верхней бровки отвала (как показано на рисунках 47, 48) по условию устойчивости не допустимо; призма возможного обрушения в рассматриваемом случае ограничивается в плане и на разрезе (см.рис.48-49) поверхностью EFG .

Пример 2. Рассчитать устойчивость рабочего уступа, на верхней площадке которого размещены ЭШ-4/40 и ЭВГ-15, а также определить ширину призмы возможного обрушения.

Исходные данные для расчета.

Высота уступа равна 25 м; уступ сложен суглинками, имеющими следующие характеристики сопротивления сдвигу:

$$\rho = 26^{\circ}, \quad k = 3,0 \text{ т/м}^2, \quad \gamma = 1,75 \text{ т/м}^3.$$

Расчет выполняется в такой последовательности.

1. В соответствии с п.п. 2.10, 2.11 вычисляют расчетные характеристики сопротивления сдвига суглинов:

$$\rho_n = \arctg \frac{k}{1,2} = \arctg \frac{0,488}{1,2} = \arctg 0,407; \quad \rho_n = 22^{\circ};$$

$$k_n = \frac{3,0}{1,2} = 2,5 \text{ т/м}^2.$$

2. По формуле (8) вычисляют  $H_{90}$ :

$$H_{90} = \frac{2k_n}{\gamma} \operatorname{ctg}(45^{\circ} - \rho_n/2) = \frac{2 \cdot 2,5}{1,75} \operatorname{ctg}(45^{\circ} - 11^{\circ}) = \\ = \frac{2 \cdot 2,5}{1,75} \cdot 1,48 = 4,2 \text{ м}$$

3. Вычисляют условную высоту откоса  $H'$ :

$$H' = \frac{H}{H_{90}} = \frac{25,0}{4,2} = 6,0$$

4. По графику зависимости между высотой плоского откоса и его углом для различных значений расчетных характеристик (рис.8) в соответствии с п.3.9 определяют угол

откоса уступа; для рассматриваемых условий он получился равным  $42^\circ$ .

5. В одном из принятых для графической маркшейдерской документации масштабе на чертеже строят профиль уступа с вычисленным углом откоса  $\alpha = 42^\circ$ .

6. Вблизи верхней бровки уступа отмечают на чертеже положение работающего горного оборудования (на рисунке 50, 51 показано положение драглайна ЭШ-4/40; база экска-

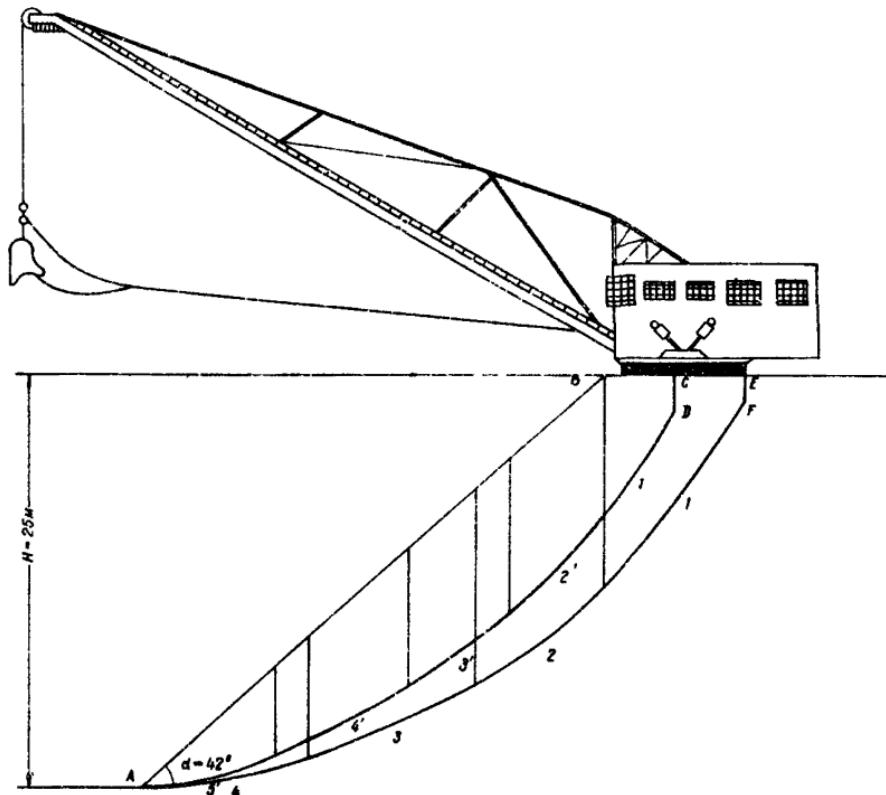


Рис.50. Схема расчета устойчивости уступа, нагруженного весом ЭШ-4/40

ватора удалена от верхней бровки уступа на 1 метр) и выполняют ряд поверочных расчетов устойчивости уступа с учетом веса экскаватора.

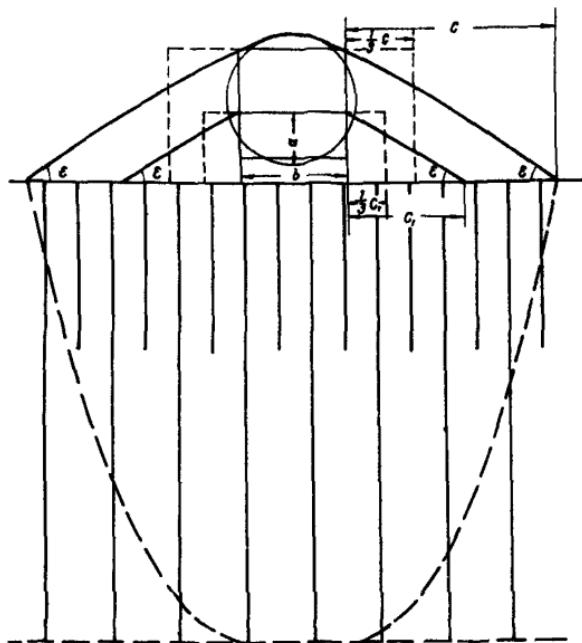


Рис.51. Форма в плане оконтуренной расчетной поверхностью в массиве призмы, в пределах которой размещается база экскаватора

7. Рассчитывают устойчивость уступа с учетом веса экскаватора ЭШ-4/40 в статическом состоянии <sup>х)</sup>, для чего сначала согласно п.4.8 определяют  $H_{90}$  - глубину, с которой начинается наклонная часть поверхности скольжения под базой экскаватора ЭШ-4/40:

$$H_{90}^1 = \frac{G_0 - P}{T} = \frac{7,4 - 4,3}{1,75} = 1,8 \text{ м.}$$

---

<sup>х)</sup> Все необходимые сведения об экскаваторах и другом горном и транспортном оборудовании могут быть взяты из "Справочника по горнорудному делу" /43/.

а затем проводят расчетную поверхность AFE, оконтуривающую призму в примыкающем к откосу массиве, на которой размещается база экскаватора, и в соответствии с п.3.8 определяют коэффициент запаса устойчивости нагруженного уступа по формуле (15):

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n N_i + k_i L}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{0,488 \cdot 425,1 + 138,0}{277,2} = 1,25$$

Все необходимые данные для вычисления коэффициента запаса устойчивости приведены в таблице 12.

Следует иметь в виду, что для вычисления удерживающей  $N_i$  и сдвигающей  $T_i$  составляющих сил к весу блока 1 прибавляется вес экскаватора  $\Delta P$ , приходящийся на 1 пог.м протяженности уступа (вдоль бровки уступа):

$$\Delta P = \frac{P}{b + 2 \cdot \frac{1}{3} c} = \frac{180}{6,5 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 12,8} = \frac{180}{15,0} = 12,0 \text{ г;}$$

здесь  $P$  - общий вес экскаватора,  
 $b$  - ширина базы экскаватора (см.рис.51) вдоль бровки уступа (для рассматриваемого случая  $b$  - сторона квадрата, площадь которого равна площади базы экскаватора),  
 $c$  - расстояние от края базы экскаватора до края призмы (см.рис.51).

8. Аналогично вычисляют коэффициент запаса устойчивости откоса по наиболее напряженной поверхности в массиве уступа ADC. На призму, оконтуренную этой поверхностью, приходится только часть общего веса экскаватора, вычисляемого по формуле:

$$P' = \frac{P \cdot S_c}{S_\delta} = \frac{180 \cdot 17,8}{42,9} = 74,7 \text{ т}$$

здесь  $S_\delta$  - площадь базы экскаватора;  
 $S_c$  - часть базы экскаватора (площадь сегмента) в пределах призмы, оконтуренной поверхностью ADC;

$$S_c = \frac{D^2}{8} \left( \frac{\pi \alpha}{180} - \sin \alpha \right), \text{ где } \alpha = 2 \arcsin \frac{R-a}{R}.$$

№/п	a	h	γ	P	α	sin α	T	cos α	N	
				(+6.7)						
1	4.2	5.7	1.75	41.8	56°	0.829	40.2	0.559	27.1	$k = 3.0 \text{ T/m}^2,$
2	5.6	9.5	1.75	93.1	44°	0.695	65.2	0.719	67.0	$L = 40.8 \text{ m},$
3	6.0	8.8	1.75	92.4	34°	0.559	51.7	0.829	76.7	$kL = 120.0 \text{ T}$
4	8.0	6.8	1.75	95.2	26°	0.438	41.9	0.899	85.7	
5	8.0	3.0	1.75	40.0	16°	0.276	11.2	0.961	38.4	
						$\Sigma T$	210.2	$\Sigma N$	294.2	

Таблица I4

№/п	a	h	γ	P	α	sin α	T	cos α	N	
				(+19.8)						
I'	4.2	5.7	1.75	41.8	56°	0.829	51.2	0.559	34.5	$k = 3.0 \text{ T/m}^2,$
2'	5.6	9.5	1.75	93.1	44°	0.695	65.2	0.719	67.0	$L = 40.0 \text{ m},$
3'	6.0	8.8	1.75	92.4	34°	0.559	51.7	0.829	76.7	$kL = 120.0 \text{ T}$
4'	8.0	6.8	1.75	95.2	26°	0.438	41.9	0.899	85.7	
5'	8.0	3.0	1.75	40.0	16°	0.276	11.2	0.961	38.4	
						$\Sigma T$	221.2	$\Sigma N$	302.3	

$$\tan \rho \Sigma N + kL = 0.488 \cdot 302.3 + 120.0 = 267.5$$

$D_R$  - диаметр и радиус базы экскаватора ЭШ-4/40  
( $D = 7,4$  м)

$\theta$  - ширина части базы экскаватора в пределах призмы, оконтуренной поверхностью ADC ( $\theta = 3,2$  м, см. рис. 51);

Вычисляют вес экскаватора, приходящийся на 1 пог.м протяженности уступа вдоль бровки в пределах призмы, оконтуренной поверхностью ADC:

$$\Delta P' = \frac{P'}{b + 2 \cdot \frac{1}{3} c_1} = \frac{74,7}{6,5 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 7,0} = 6,7 \text{ т}$$

Коэффициент запаса устойчивости нагруженного откоса по поверхности ADC получен равным (см.табл.13):

$$\eta = \frac{0,488 \cdot 294,9 + 120,0}{210,2} = 1,26$$

9. Рассчитывают устойчивость уступа с учетом веса экскаватора ЭШ-4/40 при динамическом воздействии его на уступ.

По данным, приведенным в работе /29/, максимальна величина динамического давления лед краем базы экскаватора при черпании для условий, когда уступы сплошные, несильно-глинистыми породами, более чем в 6 раз превышает статическое давление, а среднее динамическое давление базы экскаватора на грунт почти в 3 раза превышает статическое давление. Это связано с тем, что нагрузка на грунт при черпании передается не через всю площадь базы, а лишь через некоторую ее часть, при этом величина  $d$  - расстояние от края базы до линии нулевых нагрузок (см. рис.52) составляет 80% от радиуса базы экскаватора - для ЭШ-4/40  $d \approx 3,0$  м, площадь части базы, на которую передается вся нагрузка во время черпания,  $S = 16,0 \text{ м}^2$ , а среднее давление на эту часть базы приближенно может быть вычислено по формуле:

$$p_{cp} = \frac{P + \Delta P_{rez}}{S} = \frac{187 + 20,0}{16,0} = 12,5 \text{ т/м}^2$$

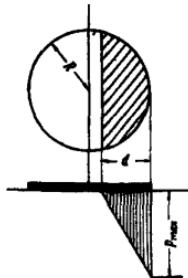


Рис.52. Эпюра распределения динамических нагрузок под базой экскаватора

здесь  $\Delta P_{рез}$  - усилие резания грунта при заполнении ковша.

Вычисляют длину "b" условного прямоугольника, равного по площади сегменту базы, воспринимающему динамическую нагрузку:

$$b = \frac{S}{q} = \frac{16.0}{3,0} = 5,3 \text{ м.}$$

и динамическую нагрузку экскаватора на грунт, приходящуюся на 1 пог.м протяженности уступа:

$$\Delta P'' = \frac{P}{b + 2 \cdot \frac{1}{3} c} = \frac{200,0}{5,3 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 7,2} = 19,8 \text{ т}$$

Рассчитывают устойчивость уступа по наиболее напряженной поверхности в уступе АДС с учетом динамической нагрузки экскаватора на грунт (см.табл.14):

$$\eta = \frac{0,488 \cdot 302,3 + 120,0}{221,2} = \frac{267,5}{221,2} = 1,21$$

На основе выполненного расчета делают заключение, что уступ устойчив против динамического воздействия на него экскаватора.

Для более точного расчета устойчивости уступа по наиболее напряженной поверхности АДС с учетом динамической нагрузки экскаватора на грунт решают объемную задачу, для чего:

а) в одном из принятых для графической маркшейдерской документации масштабе на чертеже строят призму возможного обрушения в плане, воспринимающую динамическую нагрузку при работе экскаватора (см.рис.53-б);

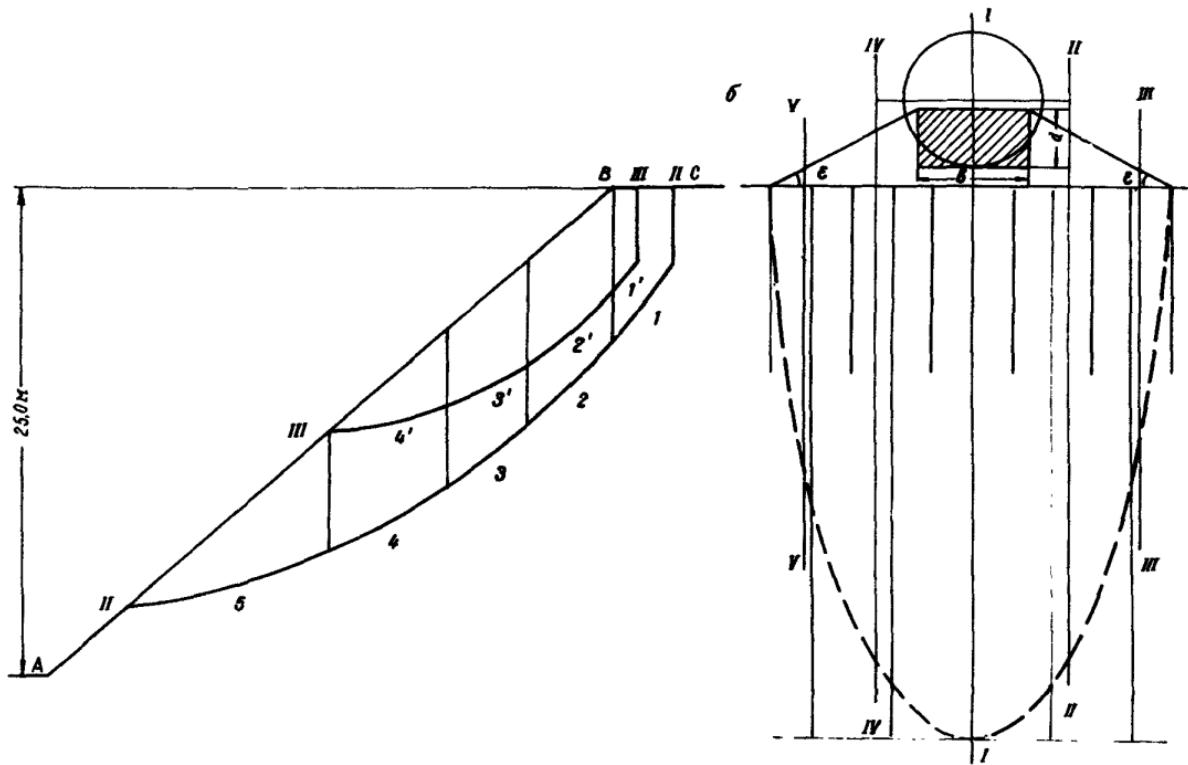


Рис.53. Пирамида возможного обрушения, воспринимающая динамическую нагрузку при работе экскаватора, в плане

б) вычисляют удерживающие и сдвигающие силы по профилям 1-1 с учетом нагрузки от экскаватора (расчетная поверхность ADC, рис.50), II-II, III-III (расчетные поверхности показаны на рис.53-а) и общий коэффициент запаса устойчивости призмы возможного обрушения.

10. Производят проверку устойчивости откоса с учетом давления на грунт лыжи экскаватора для того случая, когда лыжа при движении экскаватора располагается вдоль уступа непосредственно у верхней его бровки (рис.54). При

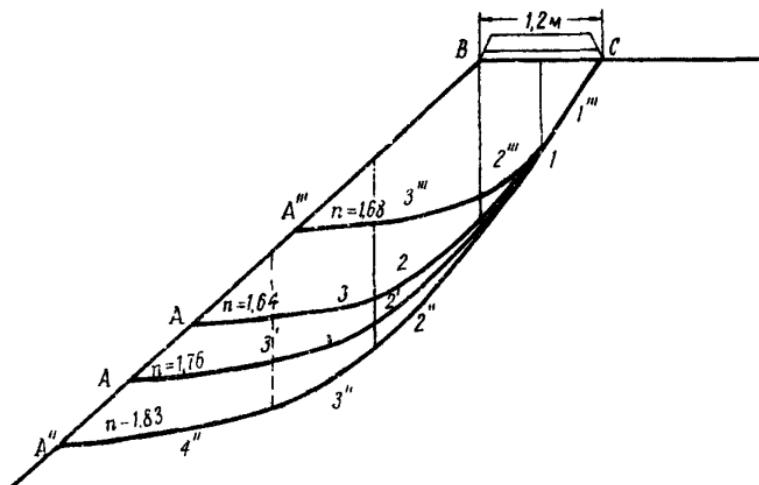


Рис.54. Схема расчета устойчивости призмы откоса, воспринимающей давление лыжи экскаватора

таком условии на 1 пог.м протяженности уступа будет приходиться дополнительная нагрузка, равная

$$\Delta P = p \cdot I = 10 \cdot 1.2 = 12 \text{ т}$$

Здесь  $p$  - удельное давление лыжи экскаватора на грунт во время передвижения его,  $\text{т}/\text{м}^2$ ;

$I$  - ширина лыжи, м.

Для проведения расчетной поверхности в соответствии с п.4.8 вычисляют  $H_{90}$ :

$$H_{90} = \frac{7.4 - 10.0}{1.75} = -1.5 \text{ м}$$

Отрицательный знак  $H_{90}$  указывает на то, что наклонный участок расчетной поверхности в массиве откоса начинается непосредственно под лыжей экскаватора.

Расчетами получены следующие коэффициенты запаса устойчивости призмы, примыкающей к откосу, на которой размещается лыжа экскаватора:

$$\text{по поверхности } AC \text{ (см.табл.15)} - n = \frac{0.488.12.6+15.6}{13.2} = 1.64;$$

$$\text{по поверхности } A'C \text{ (см.табл.16)} - n = \frac{0.488.14.0+18.6}{14.4} = 1.78;$$

$$\text{по поверхности } A''C \text{ (см.табл.17)} - n = \frac{0.488.15.8+21.0}{15.7} = 1.83;$$

$$\text{по поверхности } A'''C \text{ (см.табл.18)} - n = \frac{0.488.11.8+11.4}{10.2} = 1.88$$

Итак, поверенные расчеты устойчивости нагруженного уступа с параметрами  $H = 25$  м и  $\alpha = 42^\circ$  показали, что его устойчивость при размещении экскаватора ЭЦ-4/40 вблизи от верхней бровки уступа (на удалении 1,0 м от бровки) обеспечивается с коэффициентом запаса 1,21.

Произведем оценку устойчивости уступа, на верхней площадке которого работает экскаватор ЭВГ-15. Оценка устойчивости уступа производится аналогично вышеописанному и выполняется в такой последовательности.

1. На разрезе уступа (параметры уступа те же), изображенном на чертеже в одном из принятых в маркшейдерской практике масштабе, отмечают положение экскаватора (на рис.55 ЭВГ-15 расположен на удалении 1,0 м от верхней бровки уступа), далее в соответствии с п.4.8 проводят расчетную поверхность  $AD''C'$ , оконтуривающую в массиве призму, примыкающую к откосу, на которой размещается экскаватор, и вычисляют коэффициент запаса устойчивости откоса по этой поверхности. Исходные данные для расчета следующие.

Бес ЭВГ-15 равен  $P = 1175$  тонн.

Длина гусениц  $Ж = 16,0$  м

Таблица I5

№п/п	$\alpha$	$h$	$T$	P	$\alpha$	$\sin \alpha$	T	$\cos \alpha$	N
I	1.2	0.9	1.75	1.9	$56^0$	0.829	II.5	0.559	7.8
2	1.0	1.7	1.75	3.0	$28^0$	0.469	I.4	0.888	2.6
3	1.8	0.7	1.75	2.2	$7^0$	0.122	0.3	0.998	2.2
			$\Sigma T$		18.2	$\Sigma N$		12.6	

Таблица I6

№п/п	$\alpha$	$h$	$T$	P	$\alpha$	$\sin \alpha$	T	$\cos \alpha$	N
I	1.2	0.9	1.75	1.9	$56^0$	0.829	II.5	0.559	7.8
2	1.0	1.8	1.75	3.2	$39^0$	0.629	2.0	0.777	2.4
3	2.5	0.9	1.75	3.9	$13^0$	0.225	0.9	0.974	8.8
			$\Sigma T$		14.4	$\Sigma N$		14.0	

Таблица I7

№	$\alpha$	$h$	$T$	$P$	$d$	$\sin d$	$T$	$\cos d$	$N$	
I	1.2	0.9	1.75	(+12.0) 1.9	56°	0.829	II.5	0.559	7.8	
2"	1.0	1.9	1.75	8.3	47°	0.781	2.4	0.682	2.3	$L = 7.0 \text{ м},$ $k = 3.0 \text{ т/м}^2,$
3"	1.0	1.8	1.75	8.1	27°	0.454	I.4	0.891	2.8	
4"	2.1	0.8	1.75	2.9	7°	0.122	0.4	0.998	2.9	$kL = 21.0 \text{ т}$
						$\Sigma T$	15.7		$\Sigma N$	15.8

Таблица I8

№	$\alpha$	$h$	$T$	$P$	$d$	$\sin d$	$T$	$\cos d$	$N$	
I"	0.6	0.45	1.75	(+6.0) 0.5	56°	0.829	5.4	0.559	8.6	
2"	0.6	1.15	1.75	(+6.0) 1.2	38°	0.616	4.4	0.788	5.7	$L = 3.8,$ $k = 3.0 \text{ т/м}^2,$
3"	1.8	0.8	1.75	2.5	10°	0.174	0.4	0.985	2.5	$kL = 11.4 \text{ т}$
						$\Sigma T$	10.2		$\Sigma N$	11.8

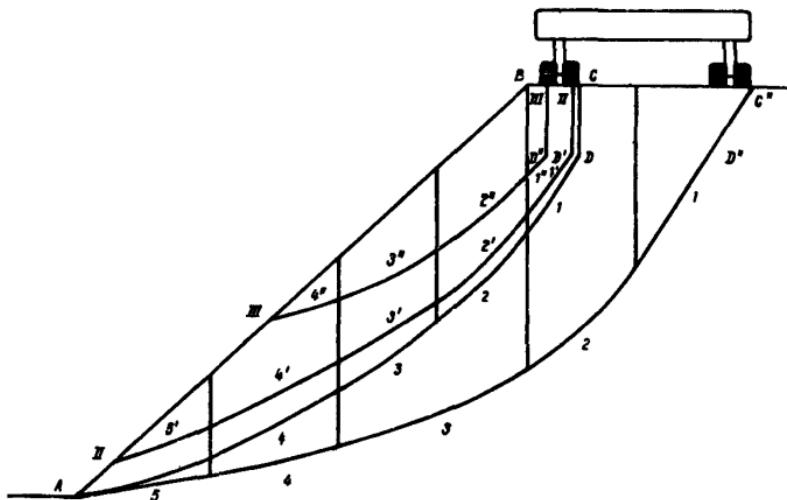


Рис.55. Схема расчета устойчивости уступа, нагруженного весом экскаватора ЭВГ-15

2. Рассчитывают вес экскаватора, приходящийся на 1 пог.м протяженности уступа, с учетом циркообразной формы поверхности, ограничивающей в массиве призму, на которой размещается экскаватор (см.рис.56):

$$\Delta P = \frac{P}{\eta c + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot c} = \frac{1175}{16,0 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 23,0} = \frac{1175}{31,3} = 37,6 \text{ r}$$

3. Вычисляют коэффициент заласа устойчивости откоса по поверхности  $AD''C'$ ; для рассматриваемых условий он равен (см.табл.19):

$$21 = \frac{-0,488,639,9 + 153,0}{349,7} = \frac{465,0}{349,7} = 1,33$$

4. Производят расчет коэффициента запаса устойчивости откоса по наиболее напряженной поверхности в массиве откоса АДС с учетом давления на призму, оконтуренную этой поверхностью, от одной гусеницы ЭВГ-15.

Давление гусеницы на 1 пог.м протяженности борта уступа в пределах призмы, на которой она размещается, равно (см.рис.55):

Таблица 19

п/п	$\alpha$	$h$	$T$	$P$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$T$	$\cos \alpha$	$N$
I	6.6	6.0	I.75	69.3 <sup>(+37.6)</sup>	56°	0.829	88.7	0.559	59.8
2	6.8	14.8	I.75	176.0	42°	0.669	117.7	0.743	130.9
3	II.6	15.0	I.75	804.5	21°	0.358	109.6	0.934	288.2
4	8.0	8.8	I.75	123.2	12°	0.208	25.9	0.978	120.7
5	8.0	3.3	I.75	46.2	10°	0.174	7.8	0.985	45.5
						$\Sigma T$	349.7		$\Sigma N$ 639.9

$$k = 3.0 \text{ Т/м}^2, \quad L = 51.0 \text{ м}, \quad kL = 153.0 \text{ Т}$$

Таблица 20

п/п	$\alpha$	$h$	$T$	$P$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$T$	$\cos \alpha$	$N$
I	8.2	6.6	I.75	36.9 <sup>(30.5)</sup>	56°	0.829	55.9	0.559	87.7
2	5.6	9.5	I.75	93.1	44°	0.695	65.2	0.719	67.0
3	6.0	8.8	I.75	92.4	34°	0.559	51.7	0.829	76.7
4	8.0	6.8	I.75	95.2	26°	0.438	41.9	0.899	95.7
5	8.0	3.0	I.75	40.0	16°	0.276	11.2	0.961	88.4
						$\Sigma T$	225.9		$\Sigma N$ 805.5

$$k \approx 3.0 \text{ Т/м}^2,$$

$$L = 39.0 \text{ м}$$

$$kL = 117.0 \text{ Т}$$

Таблица 2I

№	π/π	a	h	γ	P	α	sin α	T	cos α	N
	I	3.2	6.6	1.75	86.9 <sup>(+37.0)</sup>	56°	0.829	61.3	0.559	41.4
	2	5.6	9.5	1.75	98.1	44°	0.695	65.2	0.719	67.0
	3	6.0	8.8	1.75	92.4	34°	0.559	51.7	0.829	76.7
	4	8.0	6.8	1.75	95.2	26°	0.488	41.9	0.899	85.7
	5	8.0	3.0	1.75	40.0	16°	0.276	11.2	0.961	88.4
							$\Sigma T$ 281.3		$\Sigma N$ 309.2	

$$\lg p \Sigma N + kL = 0.488 \cdot 309.2 + 117.0 = 267.7 \text{ т}$$

Таблица 22

№	π/π	a	h	γ	P	α	sin α	T	cos α	N
	I	2.8	6.2	1.75	90.4	56°	0.829	25.2	0.555	16.8
	2	5.6	8.4	1.75	82.3	42°	0.669	55.0	0.743	61.2
	3	6.0	7.2	1.75	75.6	30°	0.500	37.8	0.866	65.4
	4	8.0	4.6	1.75	64.4	26°	0.438	28.2	0.899	57.9
	5	6.0	1.6	1.75	16.8	22°	0.875	6.8	0.927	15.6
							$\Sigma T$ 152.5		$\Sigma N$ 216.9	

$$\lg p \Sigma N + kL = 0.488 \cdot 216.9 + 105.0 = 210.9$$

Таблица 23

п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	P	$\cdot \alpha$	sin d	T	cos d	N	
1"	1.2	5.0	1.75	12.2	52°	0.788	9.6	0.616	7.5	
2"	5.6	5.2	1.75	51.0	40°	0.643	32.8	0.766	89.2	$k = 3.0 \text{ т/м}^2$ ,
3"	6.0	4.0	1.75	42.0	27°	0.454	19.2	0.891	37.4	$L = 20.4 \text{ м}$ ,
4"	4.0	1.4	1.75	9.8	15°	0.259	2.5	0.966	9.5	$kL = 61.2 \text{ т}$
						$\Sigma T = 64.1$		$\Sigma N = 93.6$		

$$\varphi \rho \Sigma N + kL = 0.488 \cdot 93.6 + 61.2 = 106.8$$

Таблица 24

п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	P	$\alpha$	sin d	T	cos d	N	
1	1.8	1.4	1.75	(+18.5) 4.8	56°	0.829	18.9	0.559	12.7	
2	1.7	3.5	1.75	(+18.5) 10.4	39°	0.629	18.2	0.777	22.4	$L = 11.4 \text{ м}$ ,
3	5.5	2.2	1.75	21.2	12°	0.208	4.4	0.978	20.8	$k = 3.0 \text{ т/м}^2$ ,
						$\Sigma T = 41.5$		$\Sigma N = 55.9$		$kL = 34.2 \text{ т}$

$$\Delta P' = \frac{0,5 \cdot P}{ж + 2 \cdot \frac{1}{3} c_1} = \frac{588,0}{16,0 + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot 5,0} = \frac{588}{19,3} = 30,5 \text{ т}$$

Коэффициент запаса устойчивости откоса по поверхности ADC получен равным (см.табл.20):

$$\eta = \frac{0,488 \cdot 305,5 + 117,0}{225,9} = \frac{265,8}{225,9} = 1,18;$$

5. Для уточнения действительного коэффициента запаса устойчивости призмы, оконтуренной наиболее напряженной поверхностью (см.рис.55, 58), решают объемную задачу, для чего:

а) вычисляют удерживающие и сдвигающие силы (см. табл.21) по профилю I-I (на рисунке 55 этому профилю соответствует поверхность ADC); давление гусениц экскаватора на грунт на 1 пог.м протяженности уступа при этом равно:

$$\Delta P = \frac{0,5 \cdot P}{ж} = \frac{588,0}{16,0} = 37,0 \text{ т};$$

б) вычисляют дополнительные удерживающие и сдвигающие силы (см.табл.22,23) по профилям II-II и III-III (расчетные поверхности показаны на рисунке 55);

в) вычисляют общий коэффициент запаса устойчивости призмы возможного обрушения:

$$\eta = \frac{267,8 \cdot 16,0 + 210,8 \cdot 2,0 \cdot 2 + 106,8 \cdot 2,8 \cdot 2}{231,3 \cdot 16,0 + 152,5 \cdot 2,02 + 64,1 \cdot 2,8 \cdot 2} = \frac{4280 + 844 + 550}{3700 + 610 + 333} = \\ = \frac{5674}{4843} = 1,22.$$

Учитывая динамические нагрузки, размещение экскаватора на уступе вблизи бровки откоса, как показано на рисунке 55, недопустимо; поверхность ADC оконтуривает в массиве откоса призму возможного обрушения.

6. Дополнительно проводят расчет устойчивости откоса по поверхностям AC, A'C, A''C (см.рис.57 и таблицы 24, 25, 26). Вычисленные коэффициенты запаса равны:

Таблица 25

№ п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	P $(+18.5)$	$\alpha$	$\sin d$	T	$\cos d$	N
I	1.8	1.4	1.75	4.3 $(+18.5)$	$56^0$	0.829	18.9	0.559	12.7
2'	1.7	3.8	1.75	II.0	$51^0$	0.777	22.9	0.629	18.5
3'	3.0	4.3	1.75	22.6	$26^0$	0.438	9.9	0.899	20.3
4'	4.2	1.8	1.75	18.2	$6^0$	0.104	1.4	0.994	18.1
$\Sigma T = 53.1$						$\Sigma N = 64.6$			

Таблица 26

№ п/п	$\alpha$	$h$	$\gamma$	P $(+37.0)$	$\alpha$	$\sin d$	T	$\cos d$	N
I''	3.5	2.6	1.75	15.9	$56^0$	0.829	43.8	0.559	29.6
2''	3.0	5.2	1.75	27.3	$41^0$	0.656	17.9	0.755	20.6
3''	7.0	2.9	1.75	37.5	$9^0$	0.156	5.9	0.988	37.0
$\Sigma T = 67.6$						$\Sigma N = 87.2$			

Таблица 27

№ п/п	$\alpha$	$n$	$\gamma$	$P$	$\alpha$	$\sin \alpha$	$T$	$\cos \alpha$	$N$	
I	6.6	6.0	1.75	69.3 <sup>(+18.8)</sup>	56°	0.829	73.0	0.559	49.2	$k = 3.0 \text{ rad/m}^2$ ,
2	6.8	14.8	1.75	176.0	42°	0.669	117.9	0.743	190.2	$L = 51.0 \text{ m}$ ,
3	11.6	15.0	1.75	304.5	21°	0.858	109.6	0.934	283.2	$kL = 153.0 \text{ rad}$
4	8.0	8.8	1.75	123.2	12°	0.208	25.9	0.978	120.7	
5	8.0	3.3	1.75	46.2	10°	0.174	7.8	0.985	45.3	
					$\Sigma T$	384.2		$\Sigma N$	628.6	

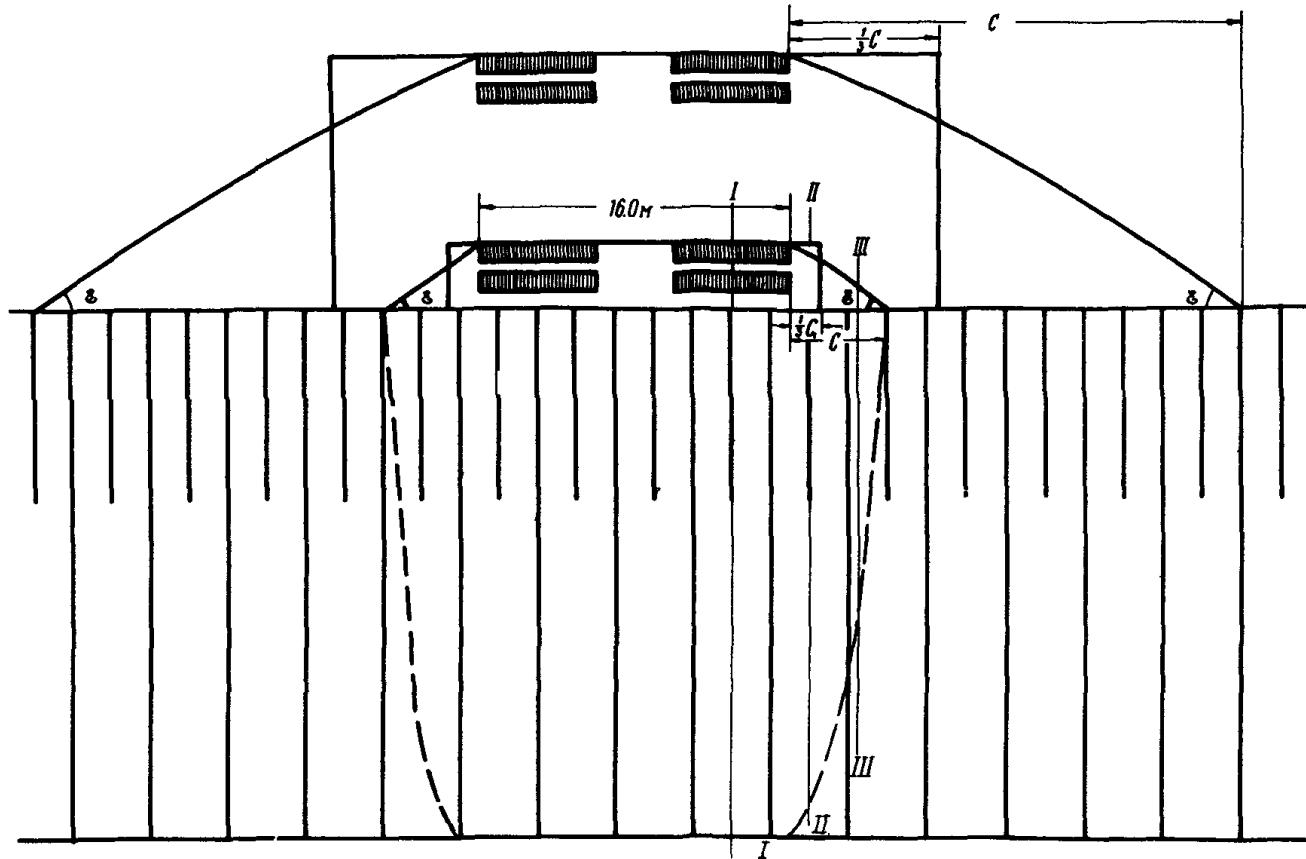


Рис.56. Призма возможного обрушения в плане

$$\text{по поверхности АС} \eta = \frac{0.488.55.8+34.2}{41.5} - \frac{61.5}{41.5} = 1.48;$$

$$\text{по поверхности АС} \eta = \frac{0.488.64.6+41.4}{53.1} - \frac{72.9}{53.1} = 1.38;$$

$$\text{по поверхности А''С} \eta = \frac{0.488.87.2+54.0}{67.8} - \frac{98.5}{67.8} = 1.43.$$

7. В соответствии с требованиями "Единых правил безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом" (пп 37, 51, 70, 80, 349), размещают экскаватор за пределами призмы возможного обрушения (см.рис.58) и производят расчет коэффициента запаса устойчивости нагруженного откоса при расположении экскаватора за пределами призмы возможного обрушения. При этом давление гусеницы экскаватора на 1 ног.м протяженности борта уступа, с учетом циркообразной формы поверхности, ограничивающей в массиве призму, на которой размещается гусеница экскаватора, равно (см.рис.56, 58):

$$\Delta P'' = \frac{0.5 \cdot P}{\frac{1}{3} c + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot c} = \frac{588.0}{31.3} = 18.8 \text{ т.}$$

Для рассматриваемых условий коэффициент запаса устойчивости откоса равен (см.табл.27):

$$\eta = \frac{0.488 \cdot 828.6 + 153.0}{384.2} = \frac{459.5}{384.2} = 1.37.$$

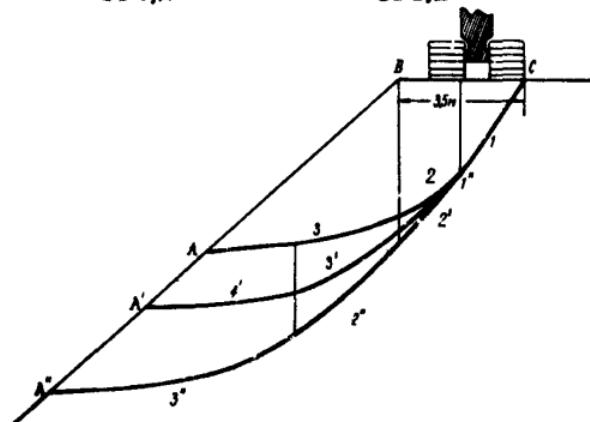


Рис. 57. Схема расчета устойчивости призмы откоса, воспринимающей давление гусениц экскаватора

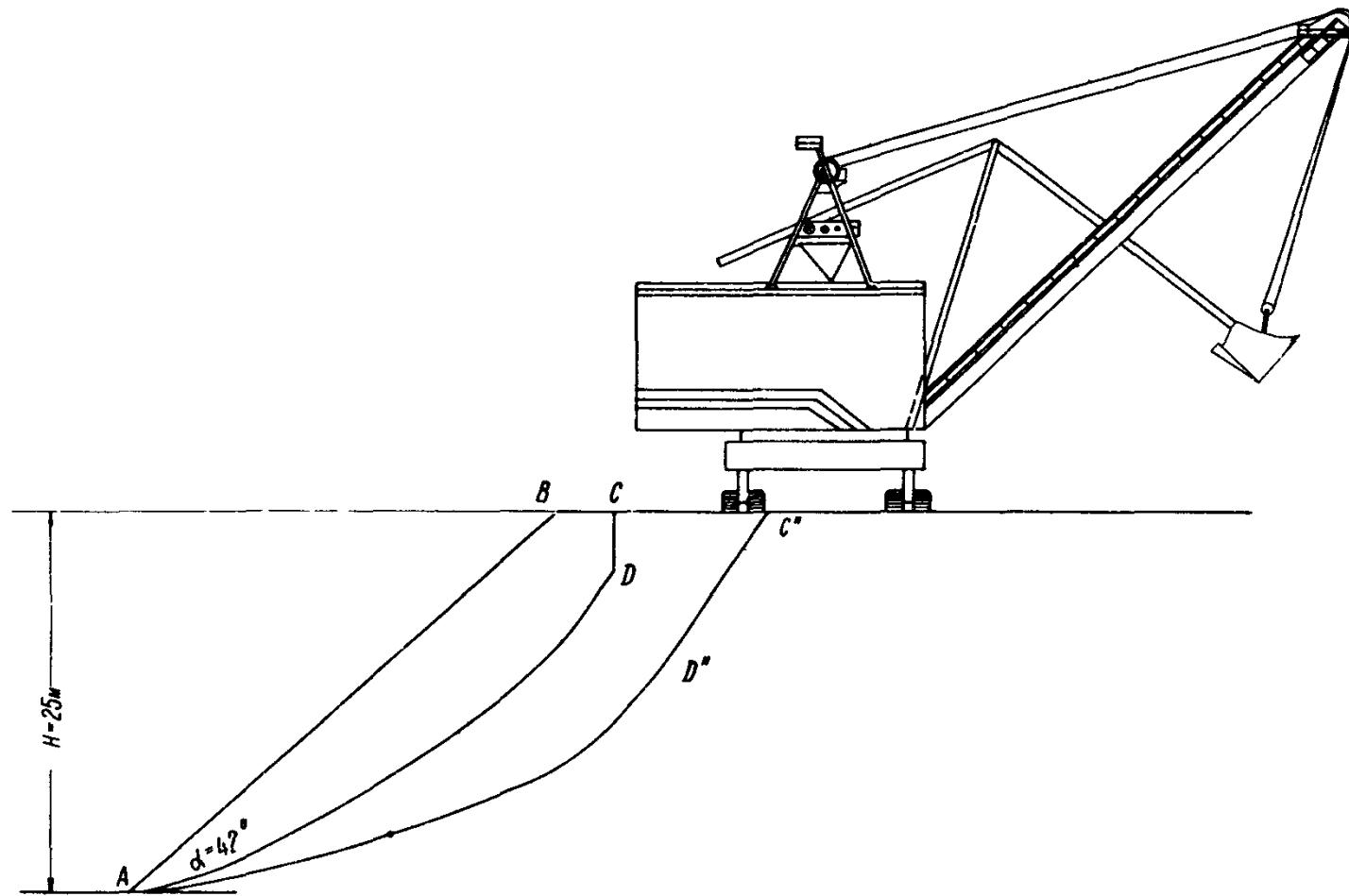


Рис.58. Схема безопасного расположения экскаватора ЭВГ-15 на уступе

## Приложение 9

### Ориентировочные величины углов откосов устойчивых отвалов и их высоты

При размещении отвалов твердых и несвязных пород на устойчивом горизонтальном основании их высота при естественном угле откоса ( $34\text{--}36^\circ$ ) по условиям устойчивости практически может быть неограниченной. Условием устойчивости основания отвалов является средняя величина сопротивления сдвигу, которая, будучи выражена в  $\text{t/m}^2$ , должна составлять не менее 0,4 высоты отвала, выраженной в метрах.

Параметры отвалов на наклонном слоистом основании в каждом конкретном случае должны определяться расчетами (схема УШ).

Отвалы слабых песчано-глинистых пород на устойчивом основании необходимо размещать ярусами с общим углом разгона ярусов  $18\text{--}25^\circ$  в зависимости от общей высоты отвала, состава и влажности отвальных пород.

Высота одного яруса отвала глинистых пород с углом естественного откоса также зависит от их состава и влажности.

Значения предельных высот яруса отвала приведены в таблице 1.

При определении ориентировочной высоты яруса отвала с углом откоса менее угла естественного откоса пользуются зависимостью

$$H_1 = H_d \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_1},$$

где  $\alpha$  и  $H_d$  - угол естественного откоса отвала и его предельная высота;

$\alpha_1$  и  $H_1$  - угол и высота отвала с углом менее угла естественного откоса.

Предельные параметры устойчивых откосов отвалов

Таблица 1

№ п/п	Месторождение	Состав отвальных пород	Влаж- ность, %	Угол откоса, град.	Высота яруса, м
I	2	3	4	5	6
1.	Ермолаевское буро-угольное	Суглинки и бурые глины	23	34-36	23
2.	Устье-Брынкино (огнеупорных глин)	Моренные суглинки и глины	19 21	35 35	23 17
3.	Никопольское марганцевое	Мергельные и гидро-слюдистые глины с включением песка	31 32 34 34	35 31 36 24	27 35 23 38
4.	Лебединское (КМА)	Мел Суглинок	30 26,5 18,0	35-37 35-37 34-35	36 45 32
5.	Назаровское буро-угольное (Канско-Ачинский бассейн)	Песчаники Суглинки	23,2 25,3	25-35	60
6.	Верхнекамское (Соликамский калийный комбинат)	Солевые отвалы	-	30-32	40-45
7.	Березниковское (Березниковский калийный комбинат)	Солевые отвалы	-	20-25	40-45
8.	Старобинское (Солигорский калийный комбинат)	Солевые отвалы	12-15	15-20	20-25

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б е р н а ц к и й Л.Н. Прикладная геотехника. Трансжелдориздат, 1935.
2. В е с е л к о в В.И. Определение коэффициента разупрочнения и сопротивления сдвигу по контактам в глинистых породах. Труды ВНИМИ, сб.ЛХ, 1966.
3. Г ольдштейн М.Н. Ускоренный расчет устойчивости откосов. Бюллетень Севзатранспроекта, 1938.
4. Г е р с е в а н о в Н.М., П ольшиц Д.В. Теоретические основы механики грунтов. Стройиздат, 1948.
5. Г олушкевич С.С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. Гостехиздат, 1948.
6. Г олушкевич С.С. Статика предельных состояний грунтовых масс. Гостехтеоретиздат, 1957.
7. "Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом". Изд."Недра", М., 1969.
8. Е р м а к о в И.И. О влиянии кривизны борта на его устойчивость. Труды ВНИМИ, сб.ЛII, 1964.
9. З в о на р е в Н.К. Методика обоснования величины коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров. Труды ВНИМИ, сб.ЛIи, 1964.
10. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых. Изд. "Недра", М., 1969.
11. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Изд.ВНИМИ, Л., 1971.
12. К а г е р м а з о в а С.В. Некоторые результаты изучения выветривания горных пород на карьерах. Труды ВНИМИ, сб.ЛХ1У, 1968.

13. Козленко П.Д. Расчет устойчивости слоистых откосов. Труды ВНИМИ, сб.ЛУШ, 1966.
14. Козленко (Мячикова) П.Д. Расчет устойчивости слоистых откосов. Труды ВНИМИ, сб.ЛХУШ, 1968.
15. Козлов Ю.С. Моделирование откосов вогнутого и выпуклого профилей в условиях изотропной среды. Труды ВНИМИ, сб.ЛХУП, 1967.
16. Козлов Ю.С. Моделирование предельного состояния откосов. Труды ВНИМИ, сб.ЛУШ, 1966.
17. Кондратьев Н.Е. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах. Гидрометеоиздат, Л., 1960.
18. Крей Г. Теория давления земли и сопротивление грунтов. Гос.научно-техническое изд-во строительной индустрии и судостроения, 1932.
19. Крячко О.Ю. Некоторые вопросы управления отвалами при вскрытии месторождения. "Горный журнал", № 12, 1965.
20. Кувачев Н.Н. Расчет устойчивости бортов карьеров, сложенных твердыми трещиноватыми породами. Труды ВНИМИ, сб.ХХХП, 1958.
21. Ломизе Б.М. Нахождение опасной поверхности скольжения при расчете устойчивости откосов, "Гидroteхническое строительство", № 2, 1954.
22. Малюшицкий Ю.Н. Условия устойчивости бортов карьеров. Изд.АН УССР, 1957.
23. Маслов Н.Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. Гидроэнергоиздат, 1955.
24. Маслов Н.Н. Прикладная механика грунта. Машстройиздат, 1949.
25. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, подлежащих разработке открытым способом. Изд.ВНИМИ, Л., 1965.

26. Мочалов А.М. Исследование напряженного состояния в откосе. Труды ВНИМИ, сб.ЛХУП, 1967.
27. Мочалов А.М. Определение ширины призыва обрушения плоского откоса. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", изд. "Наука" СО АН СССР, № 4, 1968.
28. Паников П.Н. Краткий курс инженерной геологии. Углехимиздат, 1957.
29. Певзнер М.Е., Айдрисова О.Н., Костовецкий В.П. Результаты исследования динамического воздействия экскаватора на грунт. Изв. ВУЗов, "Горный журнал", № 6, 1968.
30. Попов И.И. Предупреждение оползней на угольных карьерах Северного Урала. ЦБИТ Свердловского СНХ, 1958.
31. Попов И.И. Условия устойчивости внутренних отвалов (Богословские карьеры). Изд.высш.учебных заведений, "Горный журнал", № 5, 1960.
32. Попов С.И. Определение устойчивости бортов карьеров. "Горный журнал", № 6, 1948.
33. Попов С.И. Рациональный профиль бортов карьеров. Сб.трудов МГМИ, вып.19, 1959.
34. Пустовойтова Т.К., Пашкевич А.В. К расчету предельной высоты отвалов на неустойчивом основании. Труды ВНИМИ, сб.ЛХУ, 1962.
35. Пустовойтова Т.К. Динамическое воздействие волн на затопленный борт карьера. Труды ВНИМИ, сб.ЛХУП, 1967.
36. Пушкарев В.И., Сапожников В.Т. Предельное равновесие откосов круглых выемок. Труды ВНИМИ, сб.ЛУШ, 1966.
37. Ржевский В.В. Проектирование контуров карьера. Металлургиздат, 1958.
38. Рудаков М.Л., Попов И.И., Ли А.П. Предупреждение оползней на карьерах. Госгортехиздат, 1960.

39. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. Изд.ВНИМИ, Л., 1962.
40. С а п о ж н и к о в В.Т. Графическое решение задач на предельное равновесие пластической среды. Труды ВНИМИ, сб.ХХХУ1, 1959.
41. С а п о ж н и к о в В.Т., Ф и с е н к о Г.Л. Расчет откосов выпуклой формы. Труды ВНИМИ, сб. ХХХП, 1958.
42. С о к о л о в с к и й В.В. Статика сыпучей среды. Изд.АН СССР, 1942.
43. С о к о л о в с к и й В.В. Статика сыпучей среды. Физматгиз, 1960.
44. Справочник по горнорудному делу. Гостехиздат, М., 1960.
45. Строительная механика в СССР 1917-1957 гг. Госстройиздат, 1957.
46. Т е р ц а г и К. Теория механики грунтов. Госстройиздат, 1961.
47. Т у р и н ц е в Ю.И. Устойчивость бортов меднорудных карьеров. Труды ин-та Унипромедь, вып.4, 1958.
48. Ф е д о р о в И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. Госстройиздат, 1962.
49. Ф е л л е и н у с В. Статика грунтов. Госстройиздат, 1933.
50. Ф и с е н к о Г.Л. Устойчивость бортов угольных карьеров. Углетехиздат, 1956.
51. Ф и с е н к о Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. "Недра", М., 1965.
52. Ф и с е н к о Г.Л. О методах расчета устойчивости бортов глубоких карьеров. Статья в сб. "Математические методы в горном деле", ч.П, СО АН СССР, Новосибирск, 1963.

53. Ч у г а е в Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения. "Энергия", 1967.

54. Ч у г а е в Р.Р. Расчет устойчивости земляных откосов и бетонных плотин на несkalьном основании по методу круглоцилиндрических поверхностей обрушения. Госэнергоиздат, 1963.

55. Ш а х у н я и ц Г.М. Основы практического расчета свободных и поддерживающих откосов. Труды МИИТ, вып.71, 1948.

56. Ц ы т ө в и ч Н.А. Механика грунтов. Госстройиздат. 1951.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ . . . . .	3
РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ, ОТКОСОВ УСТУПОВ И ОТВАЛОВ	
1. Общие положения . . . . .	5
2. Требования к исходным данным для расчета углов наклона бортов карьеров . . . . .	6
3. Определение параметров устойчивых бортов карьеров . . . . .	14
4. Определение углов откосов уступов в их пре- дельном положении . . . . .	48
5. Определение углов откосов отвалов . . . . .	56
6. Обеспечение устойчивости бортов карьеров после логашения работ в них . . . . .	61
Приложение 1. Принятые обозначения, основные понятия и термины . . . . .	65
Приложение 2. Примеры графиков сопротивляемос- ти горных пород сдвигу . . . . .	70
Приложение 3. Физико-механические свойства не- которых горных пород . . . . .	72
Приложение 4. Величины углов трения по поверх- ностям ослабления . . . . .	77
Приложение 5. Определение параметров устойчи- вых бортов с учетом их криволиней- ности в плане . . . . .	78
Приложение 6. Пример расчета устойчивости бор- тов углеразрезов 1.2 и 5-6 Эки- бастузского месторождения до глу- бины 500 м . . . . .	90
Приложение 7. Примеры расчета устойчивости бор- тов карьеров и откосов отвалов . . . . .	102
Приложение 8. Примеры расчета устойчивости и щи- рины призмы возможного обруше- ния рабочих уступов и породных отва- лов, нагруженных горным оборудова- нием . . . . .	120
Приложение 9. Ориентировочные величины углов отко- сов устойчивых отвалов и их высоты .	158
Л и т е р а т у р а . . . . .	180