

ЦНИИС **МИНТРАНССТРОЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА (ВЫЕМОК) В
ЛЕГКОВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ
СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ**

Москва, 1974г.

ВЕСОМЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ:

Зам.директора института

/Г.ХАСХАЧИХ/

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА (ВЫЕМОК) В
ЛЕГКОВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ
СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

Москва 1974

УДК 625.114:624.131.25

© ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРА ИСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, 1974г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Методические указания разработаны в развитии "Предложений по совершенствованию норм проектирования скальных выемок" (ЦНИИС, 1968). Они освещают вопросы прогнозирования общей и местной устойчивости откосов выемок в легковыветривающихся породах, получения расчетных параметров, типового и индивидуального проектирования и др. Приводимые количественные показатели расчетных параметров и значений интенсивности выветривания являются ориентировочными и подлежат дальнейшему уточнению по мере накопления опыта проектирования.

Методические указания предназначены для использования при проектировании выемок вновь строящихся дорог и при разработке оздоровительных мероприятий на эксплуатируемых объектах.

Основные вопросы, освещенные в Методических указаниях, предварительно рассматривались в Ленгипротрансе, Мосгипротрансе, Киевгипротрансе, Харгипротрансе и Томгипротрансе, были одобрены и рекомендованы к изданию Главтранспроектom.

Методические указания составлены в лаборатории конструкций земляного полотна кандидатами техн. наук Ф.И.ЦЕЛИКОВЫМ, Е.А.ЯКОВЛЕВОЙ, А.И.ПЕСОВЫМ и инженерами А.М.ВОЛОДИНЫМ, Г.И.КОВАШИНОЙ, Л.М.БИРЮКОВОЙ, Л.И.КУЗНЕЦОВОЙ.

ЗАМ.ДИРЕКТОРА ИНСТИТУТА

/Г.ХАСХАЧИХ/

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛЕНИЯ
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И
ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ

/Б.ЦВЕЛОДУБ/

І. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЕГКОВЫВЕТРИВАЮЩИХСЯ СКАЛЬНЫХ ПО- РОД И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКОСОВ В НИХ

Характеристика легковыветривающихся пород

І.І. Легковыветривающиеся породы (аргиллиты, алевролиты, глинистые мергели и др.) обычно встречаются в различных сочетаниях между собой, а также переслаиваются с более стойкими по отношению к выветриванию породами (песчаниками, известняками, доломитами и др.).

І.2. Рассматриваемые породы, даже если они имеют первоначально относительно высокую прочность, после обнажения в откосах начинают в большинстве случаев быстро разрушаться (в пределах зоны активного воздействия выветривания). При этом в поверхностных частях вскрытого массива образуется преимущественно щебенисто-дресвяный или дресвяно-песчано-пылевато-глинистый материал.

І.3. С увеличением степени выветрелости пород прочность их и объемный вес уменьшаются, а пористость и влажность возрастают.

І.4. Породы одного наименования могут иметь различную степень устойчивости по отношению к выветриванию. Это объясняется комплексным влиянием на степень устойчивости к выветриванию легковыветривающихся пород большого числа, трудно поддающихся количественному учету различных воздействующих факторов: состава и типа цемента, степени метаморфизма, химического и минералогического составов и т.п.

Классификация пород

І.5. Основным показателем состояния пород в откосе следует считать их отношение к переменному высушиванию и увлажнению. Методика определения этого показателя приведена в приложении І.

Поведение породы в условиях переменного высушивания и увлажнения дает возможность прогнозировать состояние откосов во времени, так как оно отражает совокупное влияние трудно поддающихся количественному учету факторов, определяющих выветриваемость пород.

1.6. Разделение легковыветривающихся пород по степени устойчивости их к выветриванию на группы представлено на рис. 1.

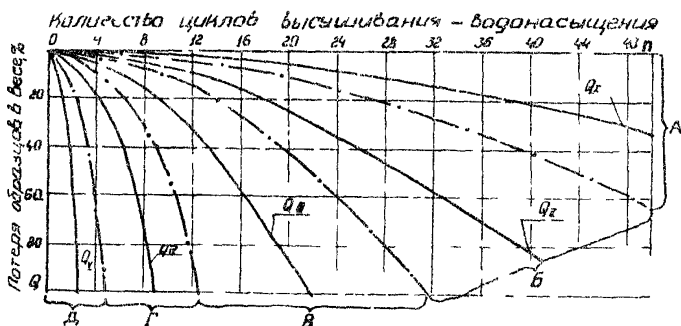


Рис. 1. Зависимости потерь образцов в весе (за счет фракций менее 10 мм) от количества циклов высушивания — водонасыщения для различных по степени устойчивости группы пород: Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, Q_E — средние значения потерь в весе пород соответствующих групп; — — — границы между группами

- А) I группа — породы относительной устойчивости
- Б) II группа — породы средней устойчивости
- В) III группа — породы слабой устойчивости
- Г) IV группа — породы неустойчивые
- Д) V группа — породы весьма неустойчивые

Методика использования графика приведена в приложении I и в разделах 2 и 3.

1. Инициируя общие инженерно-геологические классификации предусматривают регистрацию состояния пород на момент обследования, но не увязаны с состоянием их (интенсивностью выветривания) на ближайшую перспективу [1, 2, 3, 4]. Разделение пород на слабо- и легковыветривающиеся в проектно-изыскательской практике обычно не предусматривает четких количественных критериев для отнесения пород к той или иной группе [5, 6, 7, 8].

1.7. Для каждой выделенной группы пород по устойчивости их к выветриванию прогнозируется вероятная мощность образования в них зоны выветривания во времени (рис.2) и интенсивность осыпания продуктов выветривания с 1 м² поверхности откоса в зависимости от крутизны и литологии пород (рис. 3).

Виды деформаций откосов выемок

1.8. Основными видами деформаций откосов выемок и полувыемок в легковыветривающихся скальных породах являются:

осыпи интенсивно выветривающихся пород;
выпадение из откосов отдельных глыб (обломков) пород более стойких к выветриванию (песчаников, известняков и др.), чем переслаивающие их легковыветривающиеся породы;

обвалы из-за нарушения общей устойчивости откосов;
оползни и сползы сильно выветрившегося поверхностного слоя коренных пород и дилатационного по размыты откосов, сложенных выветрившимися породами.

Особенности проектирования откосов в легковыветривающихся скальных породах

1.9. В процессе проектирования необходимо осуществлять прогнозирование (расчет) общей и местной устойчивости откосов.

На основании полученных результатов оценки общей и местной устойчивости можно установить оптимальную в технико-экономическом отношении конфигурацию откосов по методике приведенной в приложении 2.

1.10. Расчет общей устойчивости необходим для оценки вероятности возникновения обвалов и оползней.

Определение местной устойчивости требуется для прогнозирования интенсивности осыпания продуктов выветривания с откосов в процессе эксплуатации и возможности появления сползов, а также для осуществления технико-

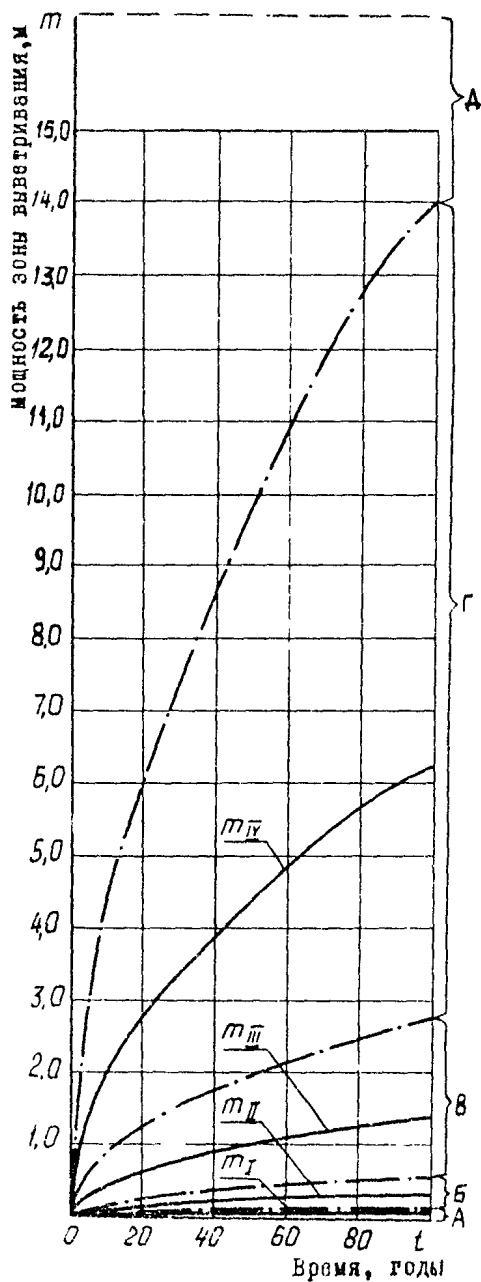


Рис. 2. Зависимости изменения мощности зоны выветривания от времени для различных по степени устойчивости групп пород:

$m_I, m_{II}, m_{III}, m_{IV}$ — средние значения мощности зоны выветривания пород соответствующих групп;

— границы между группами

А) I группа — породы относительно устойчивые

/ $\alpha_{max} = 0,015 \text{ м/год}$ /

Б) II группа — породы средней устойчивости / $\alpha_{max} =$

$= 0,057 \text{ м/год}$ /

В) III группа — породы слабой устойчивости / $\alpha_{max} =$

$= 0,275 \text{ м/год}$ /

Г) IV группа — породы неустойчивые

/ $\alpha_{max} = 1,405 \text{ м/год}$ /

Д) V группа — породы весьма устойчивые

/ $\alpha > 1,405 \text{ м/год}$ /

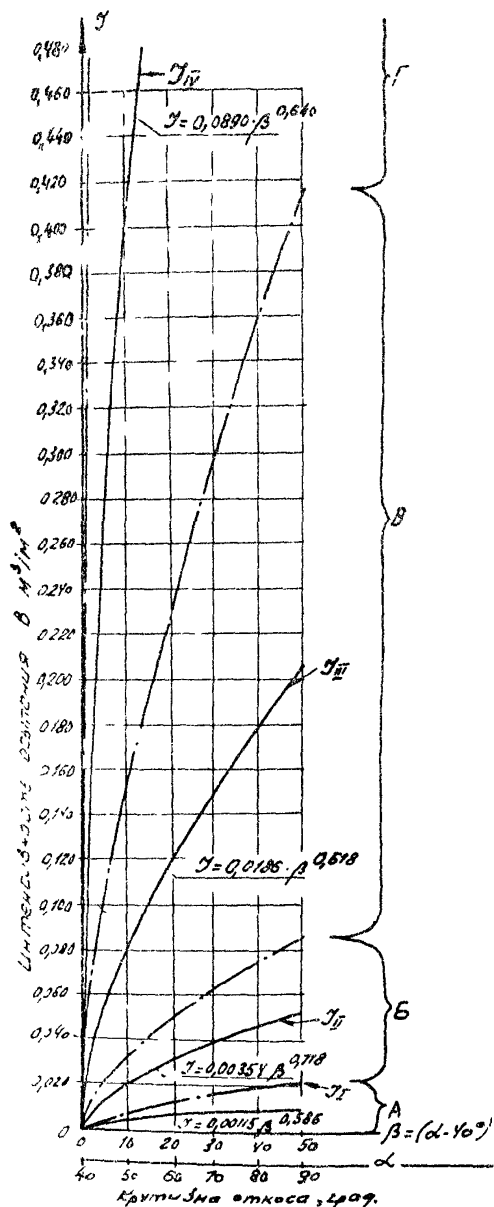


Рис. 3. Зависимости интенсивности осипания от крутизны откосов для различных по степени устойчивости группы пород: $Y_I, Y_{II}, Y_{III}, Y_{IV}$ — средние значения интенсивности осипания пород соответствующих групп; — границы между группами

- А) I-группа — породы относительно устойчивые
 Б) II группа — породы средней устойчивости
 В) III группа — породы слабой устойчивости
 Г) IV группа — породы неустойчивые

экономического сравнения вариантов и выбора оптимального очертания откосов.

1.11. Особенности проектирования откосов в легко-выветривающихся скальных породах связаны с тем, что массивы, в которых они устраиваются, являются структурной анизотропной (неоднородной) средой, поэтому к ним, как правило, не применимы основные расчетные методы, разработанные для оценки устойчивости рыхлых грунтов.

Учет структурной анизотропии исключает (или весьма затрудняет) возможность использования какого-либо универсального способа оценки общей устойчивости откосов, вызывает появление множества расчетных схем, а также необходимость определения большого количества различных параметров и требует тщательной регистрации инженерно-геологических особенностей массива.

2. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ВЫЕМОК

Расчетные схемы

2.1. Общую устойчивость откосов (при индивидуальном проектировании) следует оценивать в зависимости от их очертания, характера и расположения поверхностей ослабления (треугольности, слоистости) по отношению к проектируемому откосу, группы пород по устойчивости к выветриванию (см. рис.1) и прочностных параметров.

2.2. При оценке общей устойчивости следует руководствоваться расчетными схемами¹, представленными в табл. I и на рис. 4, где отражены наиболее характерные условия, встречающиеся в практике. Расчет общей устойчивости сводится к определению предельной высоты устойчивого откоса заданной крутизны при принятом коэффициенте запаса.

¹

В основу предлагаемых схем положены рекомендации Емсенко Г.Л. [2,9,10] и Савкова Л.В. [11,12]; учтены при этом результаты обобщения и анализа других расчетных методов, а также исследований, проведенных в ЦНИИСе.

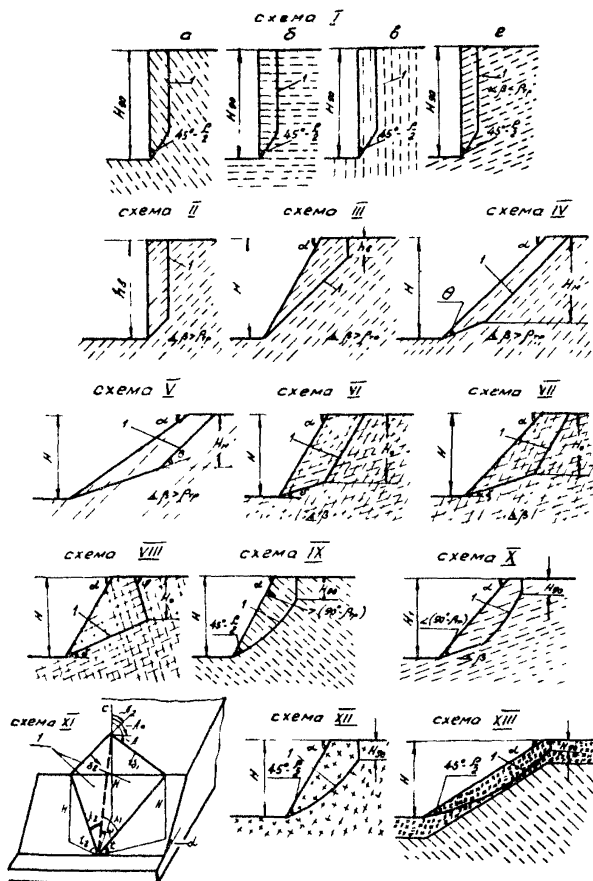


Рис. 4. Расчетные схемы общей устойчивости:
I — контур поверхности ооруднения

Таблица I

№ рас- четных схем	Характеристика рас- четных условий для определения предель- ной высоты устойчи- вого откоса	Последовательность расчетов (расчетные формулы)	Необходи- мые рас- четные па- раметры	Примеча- ния
I	Откос вертикальный, рас- положение поверхностей ослабления благоприят- ное ($\beta < \beta_{пр}$)	$H_{пр} = \frac{c_{пр}}{\gamma_0} \operatorname{ctg}(\alpha - \beta)$	$c, \rho, \gamma_0, c_{пр}$ $\ell = \frac{1}{W}, c_{пр}$	Рис. 1 приложе- ния 3 Рис. 4
II	Откос вертикальный, рас- положение поверхностей ослабления неблагоприят- ное ($\beta > \beta_{пр}$)	$H_s = \frac{c_{пр}}{\gamma_0} \cdot \frac{\cos \beta \cdot \rho}{\cos \beta \cdot \sin(\beta - \beta_{пр})}$	$c_{пр}, \rho_{пр}, \gamma_0$	Рис. 2 приложе- ния 3 Рис. 4
III	Откос развальной крути- зы (α), распо- ложение поверхностей ос- лабления неблагоприят- ное ($\beta > \beta_{пр}; \alpha > \beta$)	$H = \frac{c_{пр}}{\gamma_0} \cdot \frac{\cos \beta \cdot \rho_{пр}}{\cos \beta \cdot \sin(\beta - \beta_{пр}) (1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta)}$	$c_{пр}, \rho_{пр}, \gamma_0$	Рис. 3 приложе- ния 3 Рис. 4
IV	Поверхность откоса сов- падает с направлением поверхностей ослабления. Расположение поверхно- стей ослабления неблаго- приятное ($\alpha < \beta, \beta > \beta_{пр}$)	$H = A_1 + \sqrt{(H_m - A_1)^2 + H_m \cdot B_1}$ $A_1 = \frac{c_{пр} \rho}{\gamma_0 \sin \beta \cdot \cos(\beta - \beta_{пр}) (1 - \operatorname{ctg} \beta_{пр} \cdot \operatorname{ctg} \beta)}$ $B_1 = \frac{2 c_{пр} \cdot \cos \rho_{пр} \cdot \sin(\beta - \theta)}{\gamma_0 \cdot \sin \beta \cdot \sin(\beta - \beta_{пр})}$ $H_m = A_1 - \frac{B_1}{2}$ $\theta = \alpha \operatorname{ctg} \left(\frac{\cos \rho}{\sin \rho + \sqrt{\frac{c_{пр}}{2 c_m}}} \right)$	$c_{пр}, \rho_{пр}, c_m, c, \rho, \gamma_0, \ell = \frac{1}{W}$	Рис. 4 приложе- ния 3 Рис. 4

# рас- четных схем	Характеристика рас- четных условий для определения предель- ной высоты устойчи- вого откоса	П о с л е д о в а т е л ь н о с т ь р а с ч е т о в (расчетные формулы)	Необходи- мые расчет- ные пара- метры	Примеча- ния
У	Откос более пологий, чем поверхности ослаб- ления. Расположение поверхностей ослабле- ния неблагоприятное ($\alpha < \beta$; $\beta > \rho_m$)	$H = a_1 + \sqrt{a_1^2 + H_m(H_m \cdot b_1 + \varphi_1 - 2a_1)}$ $b_1 = \frac{ctg(\beta - \theta) - ctg\beta}{ctg(\beta - \theta) - ctg\alpha}$ $a_1 = \frac{C_m \cdot \cos \rho \cdot \cos \rho_m}{\gamma_0 [ctg(\beta - \theta) - ctg\alpha] \sin(\beta - \rho_m) \cdot \cos(\theta - \rho) \cdot \sin(\beta - \theta)}$ $\varphi_1 = \frac{2 C_m \cdot \cos \rho_m}{\gamma_0 [ctg(\beta - \theta) - ctg\alpha] \sin(\beta - \rho_m) \sin \beta}$ $H_m = \frac{2a_1 - \varphi_1}{2b_1} \quad \theta = \alpha \pm ctg\left(\frac{\cos \rho}{\sin \rho \cdot \sqrt{\frac{2C_m}{2C_m - C_m}}}\right)$	C_m ; ρ_m ; C_m ; ρ ; C ; γ_0 , $l = \frac{1}{W}$	Рис. 5 приложе- ния 3 Рис. 4
УІ	Наличие двух (или бо- лее) систем поверх- ностей ослабления, пада- ющих в сторону откоса под различными углами (δ и β), одна из которых совпадает с направлением поверхнос- ти откоса ($\beta = \alpha$; $\beta > \delta$)	$H = A + \sqrt{(H_0 - A)^2 + H_0 B}$ $B = \frac{2 C_m \cos \rho_m \cdot \sin \delta}{\gamma_0 \sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \rho_m)}$ $A = \frac{C \cos \rho \cdot \cos \rho_m \cdot \sin \beta}{\gamma_0 \sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \rho_m) \cdot \cos[(\beta - \delta) + \rho]}$ $H_0 = A - \frac{B}{2}$	γ_0 , ρ_m , C_m (для двух систем поверхностей ослабления)	Рис. 6 приложе- ния 3 Рис. 4

№ рас- четных схем	Характеристика рас- четных условий для определения предель- ной высоты устойчи- вого откоса	П о с л е д о в а т е л ь н о с т ь р а с ч е т о в (расчетные формулы)	Необхо- димые рас- четные па- раметры	Примеча- ния
УП	Наличие двух (или более) поверхнос- тей ослабления, падающих в сторону откоса под различ- ными углами (δ, β) и несовпадающими с углом откоса ($\beta > \alpha > \delta$)	$H = a + \sqrt{a^2 + H_0(H_0 b + \varphi - 2a)}$ $a = \frac{C_r \cdot \cos \rho_r \cdot \cos \rho_{pr}}{\gamma_0 (\operatorname{ctg} \delta - \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \sin(\beta - \rho_{pr}) \cdot \cos(\beta - \delta) \cdot \sin \beta}$ $b = \frac{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin \beta}$ $\varphi = \frac{2 C_r \cdot \cos \rho_{pr}}{\gamma_0 (\operatorname{ctg} \delta - \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \sin(\beta - \rho_{pr}) \cdot \sin \beta}$ $H_0 = \frac{2a - \varphi}{2b}$	γ_0, ρ_{pr} Стр. (для двух систем поверхнос- тей ослабле- ния)	Рис. 7 приложе- ния 3 Рис. 4
УИ	Наличие двух (или более) систем поверх- ностей ослабления, одна из которых име- ет падение в сторону внешки под углом δ (при этом $\delta < \alpha$), а другая - в сторону массива под углом φ	$H = m + \sqrt{m^2 + H_0(H_0 t + n - 2m)}$ $m = \frac{C_r \cdot \cos \rho_r \cdot \sin \alpha}{\gamma \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\delta - \rho_{pr})}$ $n = \frac{2 \delta_r \cdot \cos \rho_{pr}}{\gamma_0 (\operatorname{ctg} \delta - \operatorname{ctg} \alpha) \cdot \sin(\delta - \rho_{pr}) \cdot \sin \varphi \cdot \sin(\varphi - \delta)}$ $t = \frac{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{ctg} \delta}{\operatorname{ctg} \delta - \operatorname{ctg} \alpha}$ $H_0 = \frac{2m - n}{2t}$	$C_r, \rho_r,$ γ_0, δ_r	Рис. 8 приложе- ния 3 Рис. 4

№ рас- четных схем	Характеристика рас- четных условий для определения предель- ной высоты устойчи- вого откоса	П о с л е д о в а т е л ь н о с т ь р а с ч е т о в (расчетные формулы)	Необходи- мые рас- четные па- раметры	Примеча- ния
IX	Откос различной крутиз- ны (α) при благо- приятном расположении поверхностей ослабле- ния; угол между по- верхностью откоса и на- правлением поверхнос- тей ослабления более ($90 - \beta_{тр}$)	Последовательность расчетов приве- дена в приложении 4. Для ускоренных определений можно использовать график на рис. 5 (по имеющимся значениям H_{30} , ρ и α определяется $H' = \frac{H}{H_{30}}$)	$C, \rho, C_m,$ $\ell = \frac{l}{W}, C_{тр}, \gamma_0$	Рис. 1, 2 приложе- ния 4 Рис. 4
X	Откос различной крутиз- ны (α) при благоприят- ном расположении поверх- ностей ослабления; угол между поверхностью от- коса и направлением по- верхностей ослабления менее ($90 - \beta_{тр}$)	Последовательность расчетов приведе- на в приложении 5. Для ускорен- ных определений можно использовать график на рис. 6 (искомая высота H определяется в зависимости от H_{30} , α , величины и направления угла паде- ния поверхностей ослабления β)	$C, \rho, C_m,$ $\ell = \frac{l}{W}, C_{тр}, \gamma_0$	Рисунок приложе- ния 5 Рис. 4
XI	Откос различной крутизны (α) при наличии систем двух (или более) по- верхностей ослабления, пересекающих поверхность откоса диагонально и имеющих линию взаимного пересечения, падающую в сторону откоса под углом (ψ)	$tg A_{\psi} = \frac{\cos(A_0 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_1 - \cos(A_1 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_2}{\sin(A_1 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_1 - \sin(A_2 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_2}$ $ctg \psi = \frac{ctg \delta_1}{\cos[A_{\psi} - (A_0 + 90^\circ)]}$ $tg A_2 = \frac{\cos(A_0 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_1 - \cos(A_1 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_2}{\sin(A_1 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_1 - \sin(A_0 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_2}$ $ctg t_2 = \frac{ctg \delta_2}{\cos[A_2 - (A_0 + 90^\circ)]}$ $tg A_2 = \frac{\cos(A_0 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_1 - \cos(A_2 - 90^\circ) \cdot ctg \delta_2}{\sin(A_2 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_1 - \sin(A_0 + 90^\circ) \cdot ctg \delta_2}$ $ctg t_2 = \frac{ctg \delta_2}{\cos[A_0 + 90^\circ - A_2]}$	$C_{тр}, \gamma_0, \rho_{тр},$ $A_1, A_2, A_0,$ $\delta_1, \delta_2, \beta$	Рис. 9 приложе- ния 3 β - угол наклона косогора Рис. 4

№ рас- четных схем	Характеристика рас- четных условий для определения предель- ной высоты устойчи- вого откоса	П о с л е д о в а т е л ь н о с т ь р а с ч е т о в (расчетные формулы)	Необхо- димые рас- четные на- метры	Примеча- ния
	меньшим, чем угол на- клона откоса (объемное расположение поверх- ностей ослабления)	$\cos \lambda_1 = \sin i_1 \cdot \sin \psi + \cos i_1 \cdot \cos \psi \cdot \cos (A_\psi - A_{i_1})$ $\cos \lambda_2 = \sin i_2 \cdot \sin \psi + \cos i_2 \cdot \cos \psi \cdot \cos (A_\psi - A_{i_2})$ $H = \frac{3C_{TP} \cos \rho_{TP} \left(\frac{\sin \lambda_1}{\sin \psi \sin i_1} + \frac{\sin \lambda_2}{\sin \psi \sin i_2} + \frac{\sqrt{m} \tan \rho}{\sin \delta} + \frac{\sqrt{n} \cdot \tan \rho}{\sin \delta_2} \right)}{\gamma_0 \Delta \sqrt{m} \sin (A_1 - A_0) \sin (\psi - \rho - \rho)}$ <p>где:</p> $\Delta = \frac{L \tan \psi \sin (A_\psi - A_0) - \frac{L \tan \rho}{\sin \psi}}{L - C_{TP} \tan \rho \sin (A_\psi - A_0)}$ $\Delta = \sqrt{m + K + 2 \cos (A_1 - A_2) \cdot \sqrt{m} \cdot H}$ $m = \frac{1}{\sin^2 i_1} + \frac{1}{\sin^2 \psi} - \frac{2 \cos \lambda_1}{\sin i_1 \sin \psi}$ $K = \frac{1}{\sin^2 i_2} + \frac{1}{\sin^2 \psi} - \frac{2 \cos \lambda_2}{\sin i_2 \sin \psi}$		
XII	Откос различной крути- зны (α) при отсутствии выдержанных систем по- верхностей ослабления	Последовательность расчетов в этом случае такая же, как и в расчетной схеме IX	$C, \rho, C_m, C_{TP},$ $\delta = \frac{L}{\sqrt{m}}, \gamma_0$	Рис. 4

№ рас- четных схем	Характеристика рас- четных условий для определения предель- ной высоты устойчи- вого откоса	П о с л е д о в а т е л ь н о с т ь р а с ч е т о в (расчетные формулы)	Необходимые расчетные па- раметры	Примеча- ния
XII	Откос различной кру- тизны (α) при возможности воз- никновения на поверх- ности его выветре- лого слоя значитель- ной мощности в усло- виях отсутствия денуда- ции	Последовательность расчетов в этом случае аналогична расчетам в схеме IX. Для ускоренных определений предельной высоты устойчивого отко- са можно использовать график на рис. 5	$G_m = G$ ρ, γ	Рис. 4

Примечания.

1. Сдвиговые параметры по контактам более пологих поверхностей ослабления обозначены в номограммах для этих расчетных схем через G_1 и ρ_1 .

2. ρ — угол внутреннего трения в образце, град.;

$\rho_{тр}$ — угол внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления, град.;

c — сцепление образца, T/m^2 ;

c_m — сцепление в массиве, T/m^2 ;

$c_{тр}$ — сцепление по контактам поверхностей ослабления, T/m^2 ;

γ — объемный вес, T/m^3 ;

γ_0 — сопротивление отрыву по системе трещин, наклоненных в сторону массива.

Высота проектируемого откоса не должна превышать ее значения, полученного расчетом.

2.3. Для расчетных схем I – УИ и XI (см.рис.4) в ЦНИИСе по специально разработанным программам на ЭВМ произведены вычисления для различных сочетаний практически встречающихся в природе значений расчетных параметров. Некоторые из полученных результатов, оформленные в виде программ, представлены в приложении 3.

Характеристика расположения поверхностей ослабления

2.4. В расчетных схемах, приведенных в табл. I, под благоприятным понимается следующее расположение поверхностей ослабления:

горизонтальное;

наклонное в сторону массива (запрокинутое);

вертикальное;

наклонное в сторону откоса под углом, меньшим β_{cr} ;

расположение вкрест простирания с поверхностью

откоса, за исключением случаев, когда поверхности ослабления пересекают поверхность откоса под углом, меньшим 30° , и одновременно имеют угол падения в направлении откоса, превышающий β_{cr} .

2.5. Под неблагоприятным залеганием поверхностей ослабления понимается наклонное расположение их в сторону откоса под углом, превышающим β_{cr} , а также расположение вкрест простирания с поверхностью откоса, когда поверхности ослабления пересекают поверхность откоса под углом, меньшим 30° , и одновременно имеют угол падения в направлении откоса, превышающий β_{cr} .

Учет обводнения

2.6. Гидростатическое и гидродинамическое давление при расчетах общей устойчивости откосов в легковыветривающихся скальных породах в большинстве случаев не учитывается, поскольку указанные породы, как правило, разбиты сис-

темами трещин и поэтому имеют пологую депрессионную кривую подпора [2, 9].

2.7. Учет гидростатического и гидродинамического давления рекомендуется осуществлять при наличии возможности повышения пьезометрического уровня воды вследствие частичной и полной закупорки трещин во внешней зоне откосов (на-пример, из-за засорки водоносных трещин льдом и т.п.).

2.8. Учет обводнения при расчете общей устойчивости откосов сводится к тому, что в уравнении равновесия призма возможного обрушения учитывается уменьшение нормальной составляющей N_i веса блоков (которыми эта призма условно разбивается при расчете) на величину ΔN_i , равную

$$\Delta N_i = \ell_i \cdot D_i, \quad (I)$$

где

ℓ_i — длина поверхности обрушения на участке подтопленного блока;

D_i — величина гидростатического давления в середине основания каждого подтопленного блока I .

Последовательность выполнения расчетов общей устойчивости откосов

2.9. Общая последовательность расчетов при оценке устойчивости откосов выемок принимается следующей:

на основании имеющихся инженерно-геологических материалов, полученных в результате обследования массива, в котором проектируется откос, строят розу устойчивости, которая характеризует ориентацию поверхностей ослабления по отношению к проектируемому откосу и дает возможность выявить наиболее опасные их системы. В зависимости от сложности инженерно-геологических условий строят одну или несколько роз устойчивости откоса. Образец ее построения приведен в приложении 10.

¹ По исследованиям Г.Д.Фисенко [2], суммарное влияние фильтрационного потока (гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление) на призму возможного обрушения проявляется как гидростатическое давление, распределенное по поверхности скольжения (в зоне обводнения), нормальное к ней и компенсирующее только нормальную составляющую. На касательную составляющую водное давление существенного влияния не оказывает.

В зависимости от характера расположения поверхностей ослабления по отношению к проектируемому откосу, выявленному после построения роз устойчивости, устанавливает наиболее опасный (с точки зрения устойчивости) участок по длине проектируемого откоса и наиболее опасные системы поверхностей ослабления, располагающиеся неблагоприятно по отношению к откосу, которые должны быть учтены при выборе расчетной схемы;

с учетом расположения поверхностей ослабления выбирают расчетную схему в соответствии с указаниями табл. I и рис. 4;

определяют значения расчетных параметров в соответствии с указаниями, изложенными в разделе 4. Принятые значения прочностных параметров c , φ , $c_{тр}$, $\varphi_{тр}$, c_m уменьшают на величину коэффициента запаса устойчивости K , который рекомендуется брать равным не менее 1,3, т.е.

$$\operatorname{tg} \varphi_{расч} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{K}, \quad c_{расч} = \frac{c}{K},$$

для принятой крутизны откоса, применительно к выбранной расчетной схеме, определяется предельная высота устойчивого откоса (по формулам, приведенным в табл. I или в приложениях 4 и 5, а также по номограммам в приложении 3 и на рис. 5 и 6);

если полученная расчетом высота устойчивого откоса H_p оказывается меньше проектной H_n , то производит перепроектировку (изменение конфигурации) откоса и расчет повторяют до тех пор, пока не будет обеспечиваться условие, при котором $H_n \leq H_p$.

2.10. В случаях, когда инженерно-геологические условия удовлетворяют одновременно нескольким расчетным схемам, определение общей устойчивости осуществляется по каждой из них и за окончательный результат принимается тот, который дает наименее выгоднейшее очертание откоса.

2.11. При наличии в откосе слабых прослоев, расположенных выше его подошвы, необходимо осуществлять дополнительную проверку общей устойчивости, ориентируясь на возможность прохождения линии обрушения через указанные прослойки (применительно к одной из схем, указанных в табл. I).

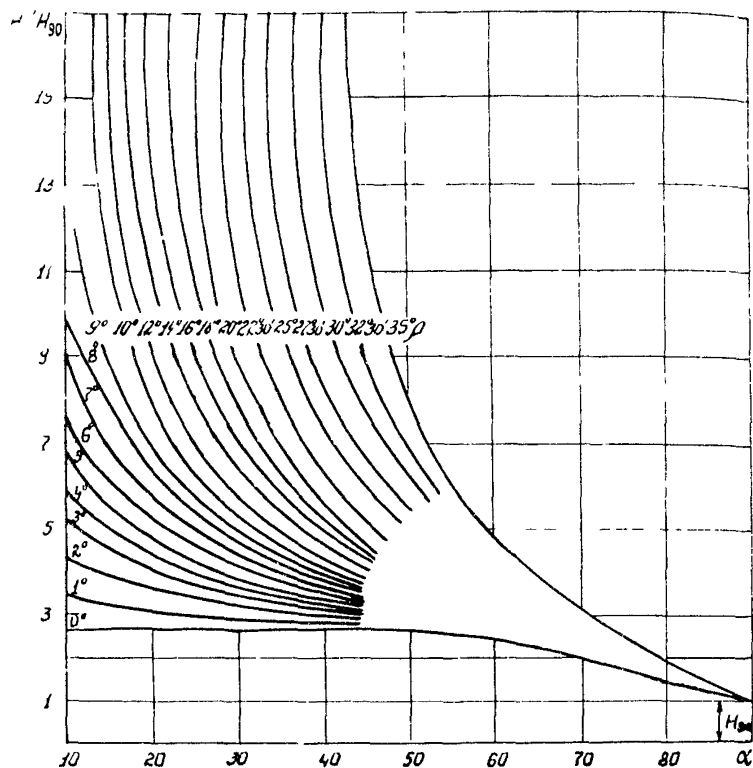


Рис. 5. Зависимость H/H_{90} от угла наклона откоса (α) при разных значениях ρ .

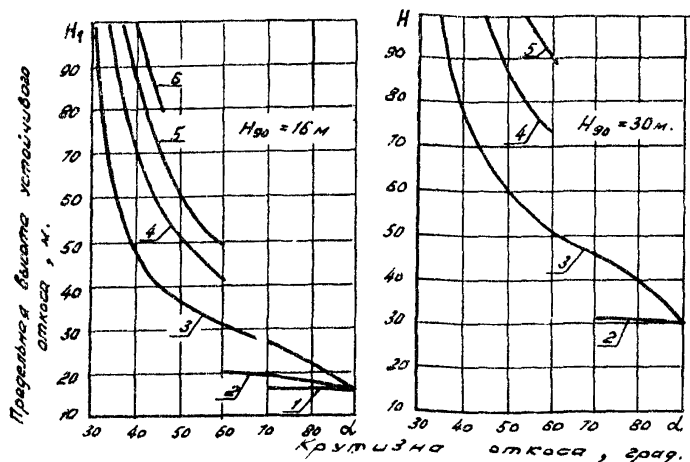


Рис. 6. Предельная высота устойчивого откоса при расчете по схеме X (для некоторых частных случаев):

- 1 - при $\beta = -80^\circ$; 2 - при $\beta = -20^\circ$;
 3 - при $\beta = -10^\circ$; 4 - при $\beta = 0^\circ$;
 5 - при $\beta = +10^\circ$; 6 - при $\beta = +20^\circ$

3. ОЦЕНКА МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Общие положения

3.1. Расчеты местной устойчивости производят для прогнозирования возможности возникновения деформаций (осипей, сдвигов, проломов) и интенсивности их проявления.

3.2. Для осуществления расчетов местной устойчивости легковыветривающихся скальных пород необходимо прежде всего классифицировать их по устойчивости к выветриванию.

По графику на рис. 1 определяется группа пород, слагающих откос, в соответствии с указаниями приложения 1. Для этого на графике фиксируется положение эксперимен-

тельно полученных значений отношения к переменному высушиванию и увлажнению рассматриваемой породы и устанавливается осредненное расположение экспериментальной кривой по отношению к линии средних значений указанного отношения в группе, к которой она отнесена.

С этой целью вычисляется соотношение

$$\frac{N_{\Phi}}{N_i^{cp}} = \frac{n_{i100}^{cp} \pm \frac{\sum_1^K (n_{\Phi k} - n_{i k}^{cp}) \cdot n_{i k}^{cp}}{\sum_1^K n_{i k}^{cp}}}{n_{i100}^{cp}} \quad (2)$$

$n_{\Phi k}$ - количество циклов высушивания и увлажнения, при котором зафиксирован определенный процент потерь в весе исследуемых образцов;

$n_{i k}^{cp}$ - количество циклов высушивания и увлажнения, соответствующее тому же проценту потерь в весе для линии средних значений отношения к переменному высушиванию и увлажнению в группе i ;

n_{i100}^{cp} - количество циклов высушивания и увлажнения, соответствующее 100% потерь в весе для линии средних значений выделенной группы;

K - количество сравниваемых значений процентов потерь в весе.

Пример практического использования формулы (2) для вычисления соотношения $\frac{N_{\Phi}}{N_i^{cp}}$ приведен в приложении 1

3.3. Расчет местной устойчивости для пород I - III и IV-V группы проводится по двум принципиально различным методам, что обусловлено разной степенью раздробления пород этих групп в процессе выветривания. В то время как породы I - III группы выветриваются преимущественно до состояния каменисто-жебенисто-дресвяных фракций, породы IV-V группы - до остояния глинисто-шлеватого-песчано-дресвяных фракций. Помимо этого породы IV - V группы характеризуются повышенной интенсивностью выветривания во времени и отличаются значительной мощностью выветровой зоны, в пределах которой в перспективе их можно считать рыхлыми грунтами. Поэтому на эти породы при расчетах

устойчивости (как общей, так и местной) можно распространить те же рекомендации, которые приняты для рыхлых грунтов.

Расчет местной устойчивости для пород I - III группы

3.4. Расчет местной устойчивости для пород I - III группы сводится к определению интенсивности поступления продуктов выветривания (объема осипи) с единицы поверхности откоса и величины отступления бровки откоса во времени. При этом предполагается или периодическим убирать продукты выветривания, или оставлять их у подножия откоса, что влияет на методику расчета.

3.5. Последовательность расчетов при условии периодической уборки продуктов выветривания следующая:

по графику, приведенному на рис. 3, для полученной по испытаниям на переменное высушивание и увлажнение группы пород, вычисленной по формуле (2) величине соотношения $\frac{N_{\alpha\phi}}{N_{\alpha\phi}^{cp}}$ и исходной (заданной) крутизны откоса определяются величина интенсивности осыпания рассматриваемых пород $J_{\alpha\phi}$ по выражению

$$J_{\alpha\phi} = J_{\alpha\phi}^{cp} \cdot \frac{N_i^{cp}}{N_{\alpha\phi}}, \quad (3)$$

где

$J_{\alpha\phi}^{cp}$ - среднее значение интенсивности осыпания пород выделенной группы при заданной крутизне откоса α , м³/м² год;

по выражению (3) для рассматриваемых пород и на основании рис. 3 строится зависимость интенсивности осыпания от крутизны откоса

$$J_{\alpha\phi} = f(\alpha);$$

по полученному графику $J_{\alpha\phi} = f(\alpha)$ определяют значения интенсивности осыпания по мере улоложения откоса и прежде всего - возможную интенсивность осыпания в первый год после сооружения откоса заданной крутизны $J_{\alpha\phi_1}$

условно принимая крутизну откоса в течение года неизменной, равной запроектированной или фактически полученной после разрастки;

вычисляют полную длину \mathcal{L}_1 образующей откоса в первый год его существования по выражению

$$\mathcal{L}_1 = \frac{H_1}{\sin \alpha_1}, \quad (4)$$

где

H_1 и α_1 — первоначальные (проектные или фактически полученные) значения высоты и крутизны откоса соответственно;

определяют объем осыпи с I пог.м длины откоса (вдоль подошвы) за первый год его существования ΔW_1^o по выражению

$$\Delta W_1^o = J_{\alpha\varphi_1} \cdot \mathcal{L}_1. \quad (5)$$

Объем осыпи, накопившейся в течение первого года с I пог.м откоса, приводится к объему породы в плотном состоянии ΔW_1^m по выражению

$$\Delta W_1^m = \frac{\Delta W_1^o}{K_p}, \quad (6)$$

где

K_p — коэффициент разрыхления, который может быть принят равным 1,5;

вычисляют размер отступления бровки откоса ℓ_{α_1} за первый год по выражению

$$\ell_{\alpha_1} = \frac{2\Delta W_1^m}{H_1}; \quad (7)$$

определяют новый (более пологий) угол наклона откоса после его годичного существования по выражению (рис. 7)

$$(\alpha_1 - \varepsilon_1) = \arccos \operatorname{ctg} \left(\operatorname{ctg} \alpha_1 + \frac{\ell_{\alpha_1}}{H_1} \right), \quad (8)$$

где

ε_1 — величина уподожения откоса за первый год его существования.

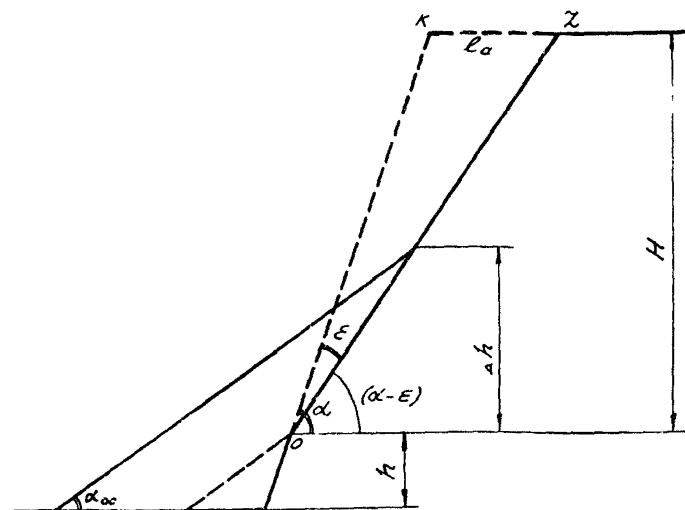


Рис.7. Схема к расчету положения откоса во времени (за счет осыпания продуктов выветривания)

Затем (для второго года эксплуатации) вычисления повторяют в той же последовательности при принятии в качестве исходного угла $\alpha_1 - \varepsilon_1$ и т.д.

8.6. При оставлении осыпи у подножия откоса выемки последовательность расчета поступления продуктов выветривания и величины отступления бровки откоса во времени принципиально остается такой же, какой она указана в п.8.5. Однако расчетная высота откоса, с которой возможно в последующем поступление продуктов выветривания, уменьшается на высоту осыпи, ежегодное возрастание которой Δh определяется по формуле [13]

$$\Delta h = -h + \sqrt{h^2 + \frac{l_a H K_r}{[\operatorname{ctg} \alpha_0 - \operatorname{ctg}(\alpha - \varepsilon)]}}, \quad (9)$$

где

- h — высота осыпи в предшествующем году (см.рис.7);
- α — крутизна откоса в предшествующем году;

δ - величина отступления бровки откоса в рассматриваемом году;
 H - расчетная высота откоса;
 K_p - коэффициент разрыхления;
 α_{oc} - угол наклона откоса осицы (ориентировочно $35-40^\circ$);
 ε - величина уположения откоса в рассматриваемом году.

При наличии в пределах проектируемого откоса толщ переслаивающихся пород, имеющих различную устойчивость по отношению к выветриванию, целесообразно осуществлять построение графика $J_{\alpha\phi}$ по описанному в п. 3.7 методу для каждой литологической разности, а в качестве расчетного для всего откоса принимать выражения $J_{\alpha\phi} = f(\alpha)$, осредненное (взвешенное) по мощности переслаивающихся пород.

Расчет местной устойчивости для пород IV - V группы

3.7. Проверка местной устойчивости откосов в породах IV - V группы заключается в определении вероятности образования на них поверхностных сплывов выветрелого до состояния мелкоземного грунта, что оценивается величиной коэффициента местной устойчивости.

3.8. Последовательность расчетов местной устойчивости в этом случае принимается следующей:

для полученной по испытаниям на переменное высушивание и увлажнение группы пород, по величине соотношения $\frac{N_{\phi}}{N_{\phi}^{cp}}$ и расчетного срока существования откоса t вычисляется мощность прогнозируемой зоны выветривания m_{ϕ} по выражению

$$m_{\phi} = m_{\phi}^{cp} \cdot \frac{N_{\phi}}{N_{\phi}^{cp}}, \quad (10)$$

где

m_{ϕ}^{cp} - среднее значение мощности зоны выветривания выделенной группы δ на расчетный срок существования откоса, м, определяемое по графику на рис. 2;

оценивается местная устойчивость выветрелого слоя путем определения величины $K_{мет}$ в условиях избыточ-

ного увлажнения (возникающего, например, весной при оттаивании грунта, осенью и летом после затяжных или ливневых дождей) по формуле [14]

$$K_{местн} = B \left(\frac{\gamma_v - 1}{\gamma_0} \cdot n \cdot \operatorname{tg} \rho + \frac{AC}{\gamma_0 H} \right), \quad (II)$$

где

$n = \operatorname{ctg} \alpha$ — заложение откоса;

γ_0 — объемный вес выветрелого грунта, T/m^3 ;

α — крутизна откоса, град;

ρ — угол внутреннего трения выветрелого слоя грунта, град;

C — сцепление этого же грунта, T/m^2 ;

H — высота откоса, м;

A и B — безразмерные коэффициенты, определяемые в зависимости от отношения $\frac{h_p}{H}$ по специальным графикам в приложении 6;

h_p — глубина слоя возможного сплывообразования, принимается равной 0,4–0,8 м [14]^x.

4. ПРОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СКАЛЬНЫХ ПОРОД И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Перечень параметров

4.1. Основными параметрами при расчетах общей устойчивости откосов являются: ρ , $\rho_{тр}$, C , C_m , $C_{тр}$ (значения параметров см. в табл. I).

4.2. Основными (дополнительно к указанным выше) параметрами при расчетах местной устойчивости легковыветривающихся скальных откосов являются:

I — интенсивность осыпания $0,3 I \frac{m^2}{m^2 \text{ год}}$ поверхности откоса различной крутизны, $\frac{m^2}{m^2 \text{ год}}$;

K_p — коэффициент разрыхления, принятый в среднем равным 1,50.

x Расчет производится в той же последовательности, как и для откосов в осевых (рыхлых) грунтах в связи с увеличением п. 3.3, а также с тем, что при индивидуальном проектировании откосов в породах IV – V групп не следует делать круче 1:1,5 (см. табл. 5)

4.3. Для получения численных значений сцепления C и угла внутреннего трения ρ легковетривающихся скальных пород необходимо произвести соответствующие испытания образцов пород.

Эти испытания в основном сводятся или к сдвигу со скатом в наклонных матрицах по методике ВНИИ [15], или же к раскалыванию пластин и раздавливанию образцов полуправильной формы, широко используемому в ИГД им.Скобелева [16].

По результатам проведенных испытаний строится так называемый паспорт прочности породы - зависимость напряжения сдвига от напряжения скатия (рис. 8). При использовании методики ВНИИ паспорт прочности получается графоаналитическим путем [9,15]. При раскалывании пластин и раздавливании образцов полуправильной формы применяют расчетный прием построения огибающей к предельным кругам напряжений Мора, разработанный М.М. Протодяконовым [16, 17].

4.4. Значения C и ρ при наличии паспорта прочности обычно определяют графически следующим построением [17]:

из начала координат проводят два луча под углами 30° и 50° к оси τ (см.рис. 8);

через точки пересечения лучей с огибающей проводят секущую;

отрезок, отсекаемый секущей на оси τ , считая от начала координат, дает величину C , а угол, образуемый ею с горизонталью, $-\rho$

Для получения достаточно надежных расчетных значений указанных параметров также определению целесообразно выполнять с необходимой повторностью (не менее чем с трехкратной) и осуждать статистическую ошибку полученных результатов.

4.5. Ориентировочные значения расчетных величин угла внутреннего трения в образцах, отобранных в массиве для некоторых легковетривающихся пород и переслаивающих их литологических равноотей, составляют, град.:

Аргиллиты ... 29 - 32
 Алевриты ... 31 - 33
 Мергели
 глинистые 30
 Мергели
 известковые ... 32
 Песчанники 34-38

4.6. Приблизительное значение расчетных величин сцепления в образце можно определить двумя способами:

1) по выражению

$$c = \frac{\sigma_{сж}}{2} \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\rho}{2} \right), \quad (12)$$

где

$\sigma_{сж}$ — сопротивление образцов на одноосное сжатие (с соотношением высоты к ширине, равным 1,5 ÷ 2:1);

2) по графику на рис. 9, на котором значение C берется в зависимости от относительной механической прочности, определяемой по динамическому пробнику, краткое описание и способ пользования которым приведены в приложении 7.

Определение $\rho_{тр}$ и $C_{тр}$

4.7. Значения $\rho_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления назначаются по таблице приложения 8 в зависимости от характера поверхностей ослабления. При возможности обводнения поверхностей контактов указанные в этой таблице значения $\rho_{тр}$ уменьшаются на 2 - 4°.

4.8. При наличии заполнителя трещин расчетные значения $\rho_{тр}$ принимаются по графику на рис. 10 в зависимости от влажности заполнителя и шероховатости стенок поверхностей ослабления.

4.9. Расчетные значения $C_{тр}$ при отсутствии заполнителя назначаются по таблице приложения 9. При наличии заполнителя расчетные значения $C_{тр}$ определяются по графику на рис. 11 в зависимости от влажности и характера заполнителя.

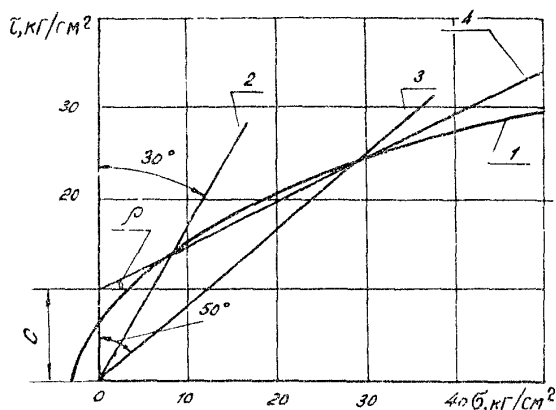


Рис. 8. Пример построения для получения значений σ и ρ в образце:

- 1 - паспорт прочности (огнбоязная к кругам Мора)
- 2 - луч под углом 30° к оси τ ;
- 3 - луч под углом 50° к оси τ ;
- 4 - секущая, проведенная через точки пересечения лучей с огнбоязней

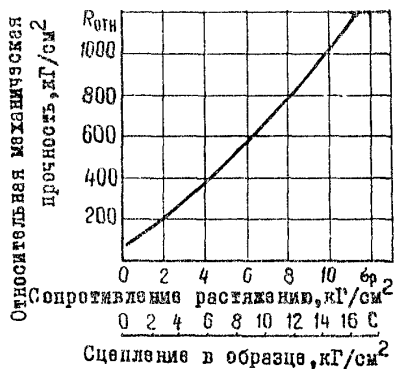


Рис. 9 Корреляционная зависимость $R_{огн}$ от σ (по данным ЦНИИСа)

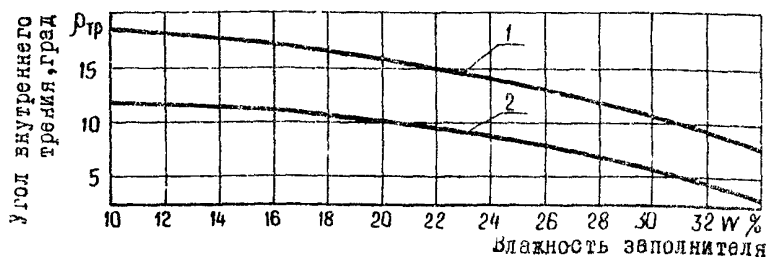


Рис. 10. Зависимость угла внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления $\rho_{тр}$ от влажности заполнителя:

1 - поверхности ослабления шероховатые;

2 - поверхности ослабления гладкие

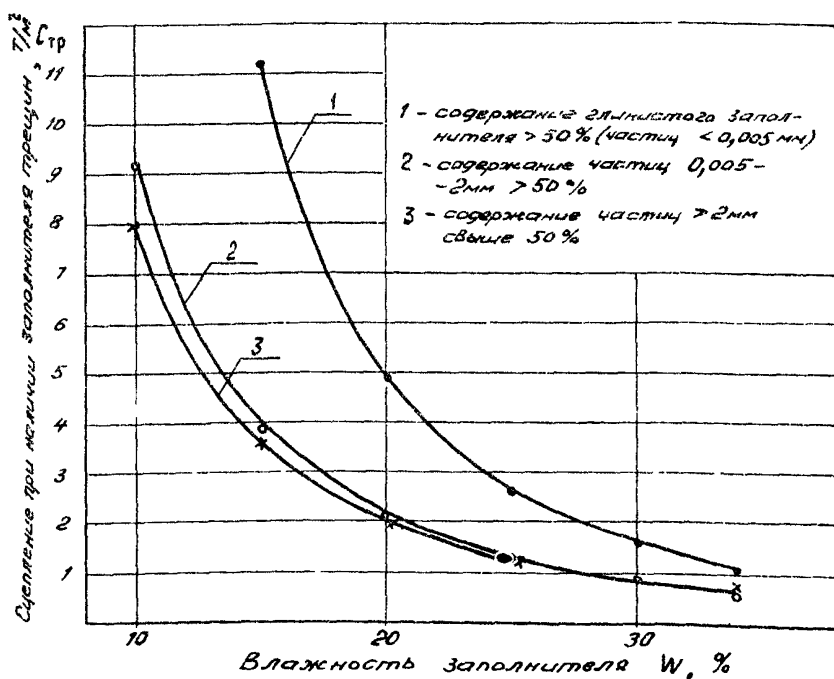


Рис. 11. Зависимость сцепления по контактам поверхностей ослабления $C_{тр}$ при наличии заполнителя трещин от влажности заполнителя

4.10. При отсутствии сведений о заполнителе трещин, его влажности и шероховатости стенок поверхностей ослабления принимается наиболее неблагоприятное из реально возможных сочетаний расчетных параметров ρ_r и C_{tr} (т.е. поверхности считаются гладкими, допускается наличие заполнителя, учитывается возможность его увлажнения).

Угол внутреннего трения и сцепление в массиве

4.11. Значения угла внутреннего трения в массиве (при направлении поверхностей обрушения поперек к поверхностям ослабления) принимаются равными значениям угла внутреннего трения в образце, т.е. $\rho_m = \rho$.

4.12. Сцепление в массиве C_m рекомендуется определять по формуле^I

$$C_m = C_{tr} + \frac{C - C_{tr}}{1 + \alpha \ln\left(\frac{n}{\ell}\right)}, \quad (13)$$

где

- C - сцепление в образце, T/m^2 ;
- n - проектная высота откоса, м;
- α - коэффициент, определяемый по графику на рис.12 в зависимости от C^x ;
- C_{tr} - сцепление по контактам поверхностей ослабления, T/m^2 ;
- ℓ - осредненная блочность пород в массиве, м

$$\ell = \frac{1}{W}, \quad (14)$$

где $W = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{\ell_1} + \frac{1}{\ell_2} + \dots + \frac{1}{\ell_n} \right)$, (15)
 $\ell_1, \ell_2 \dots \ell_n$ - средние расстояния между трещинами первой, второй и n -й систем, м.

^I C_m целесообразно определять посредством опытных сдвигов в натуральных условиях по имеющимся методикам [18,19].

^x График зависимости $\alpha = f(C)$ построен по материалам полевых исследований ЦНИИСа и соответствует последним данным ВНИИ.

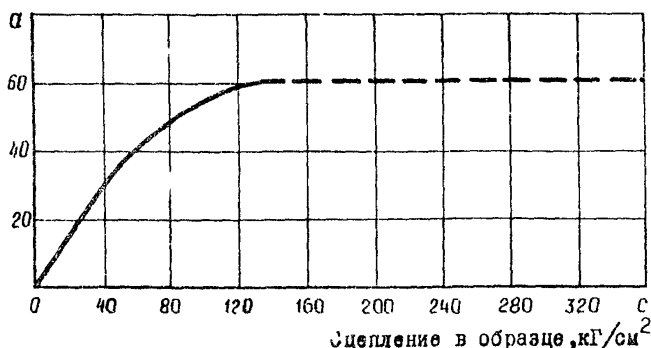


Рис. 12. Зависимость коэффициента μ от величины сдвига в образце (по данным ЦНИИСа)

Размер и форма элементарных структурных блоков определяются обычно тремя наиболее характерными системами трещин.

Некоторые особенности выбора расчетных параметров скальных пород

4.13. Омечено различные литологические разности легко-выветривающихся пород встречаются во всевозможных сочетаниях между собой и с переслаивающимися их более прочными и устойчивыми к выветриванию породами. В связи с этим при расчетах по схемам I, IV, V, IX, X, XII, в которых поверхность обрушения на каком-либо участке пересекает хрест поверхности ослабления, параметры принимаются или по наиболее слабым разновидностям пересекаемых пород (в запас безопасности), или средневзвешенными по мощности пересекаемых литологических разностей (что более правильно, но требует тщательных инженерно-геологических исследований).

4.14. При определении величины сдвиговых параметров для расчетов по схеме XII (используемой для пород IV-V группы) необходимо учитывать возможность избыточного увлажнения грунта выветрелой зоны, мощность которой определяется в

соответствии с указаниями п.8.9. При выборе расчетных значений ρ и C следует использовать результаты однговых испытаний паст, приготовленых из рассматриваемых пород. В этом случае $\rho = \varphi$ - углу внутреннего трения рыхлых грунтов.

4.15. При расчетах по схеме УИ сопротивление на разрыв по трещинам σ_p обычно принимается равным нулю (в запас устойчивости).

4.16. Объемный вес пород γ_0 определяют по справочникам [20] или по данным лабораторных определений согласно выражению

$$\gamma_0 = \frac{P}{W} \quad ,$$

где

P - вес образца, г;

W - объем образца, см³.

При этом объем образцов неправильной формы может быть определен измерением объема вытесненной воды при погружении в нее образца. Перед погружением в воду образцы неводостойких пород следует покрывать тонкой водонепроницаемой пленкой (например, клеем БФ и т.п.).

5. ВОЗМОЖНЫЕ ТИПОВЫЕ И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

Общие принципы проектирования откосов

5.1. При установлении рациональных очертаний откосов выемок можно исходить из двух основных принципов:

- 1) обеспечения общей и местной устойчивости;
- 2) обеспечения общей устойчивости с одновременным, частичным допущением осыпей, вызванных нарушением местной устойчивости (при соответствующем технико-экономическом обосновании целесообразности такого решения, методика осуществления которого приведена в приложении 2).

5.2. Возможны следующие конструктивные решения, применительно к типовому и индивидуальному проектированию: пологие откосы крутизной, равной углу естественного откоса образующихся на них продуктов выветривания (1:1,25-1:1,5) с выветом, заветной полкой или квет-траншеей;

крутые откосы (в пределах 1:0,5 - 1:1) с квет-траншеей для сбора продуктов выветривания, поступающих с откоса, или с улавливающей стеной, выполняющей те же функции;

крутые откосы с кветом или кетком при защите откосов от выветривания какими-либо покрытиями;

крутые откосы (вплоть до вертикальных) с широкими полками, рассчитанными на размещение продуктов выветривания в процессе всего периода существования откоса до его самоуплощения на всю высоту;

комбинированные конструктивные решения:

откосы ломаного очертания (выпуклого или вогнутого - в зависимости от состава пород и их расположения по высоте откоса);

защищенные от выветривания участки по высоте и длине откосов, чередующиеся с неукрепленными, и др

5.3. Выбор конструкции откоса определяется степенью общей и местной устойчивости слагающих его пород, высотой проектируемого откоса и технико-экономическими показателями.

Типовое проектирование

5.4. Сферы типового проектирования для различных групп пород, с указанием конструктивных особенностей типовых решений, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Группа пород по степени устойчивости к выветриванию	Условия применения типового проектирования	Конструктивные особенности типовых решений
У - IУ	Благоприятное расположение поверхностей ослабления. Высота Н не выше 12м	Крутизна откоса 1:1,5. Откосы укрепляются травосеянием по слою растительного грунта. При высоте откоса $H \leq 6$ м у подножия его устраивается кювет и зацветная полка шириной 1 м. При $6 < H \leq 12$ м у подножия откоса устраивается кювет-траншея шириной понижу 3 м, глубиной 0,6 м, с откосами 1:1,5
III - II	Благоприятное расположение поверхностей ослабления. Высота откоса Н не выше 16 м	Крутизна откоса 1:1,25. При высоте откоса $H \leq 6$ м у подножия его устраивается кювет и зацветная полка шириной 1 м. При $6 < H \leq 16$ м у подножия откоса устраивается кювет-траншея шириной понижу 3 м, глубиной 1,1 м, с откосами 1:1,25
I	Также же, как для пород III - II групп	Крутизна откоса 1:0,5-1:1. У подножия откоса устраивается кювет-траншея шириной понижу не менее 3 м, глубиной 1,1 м с откосами: со стороны пути 1:1; с противоположной стороны равными крутизне откоса выемки

Примечание. В эквивалентно-деформационном слое заложение откосов во всех типовых конструкциях принимается не круче 1:1,5.

Индивидуальное проектирование

5.5. Область индивидуального проектирования охватывает все сочетания инженерно-геологических и проектных условий, выходящие за рамки типового проектирования (неблагоприятное расположение поверхностей ослабления, высота откосов более 12-16 м, наличие обводнения и др.).

5.6. При индивидуальном проектировании очертание откосов определяют, исходя из необходимости обеспечения их общей устойчивости, и уточняют на основании оценки местной устойчивости — для возможности выбора оптимальной в технико-экономическом отношении конфигурации их (в соответствии с приложением 2). Для пород V-IV группы очертания откосов не следует назначать круче 1:1,5.

5.7. При индивидуальном проектировании выемки следует учитывать, что по технико-экономическим показателям предложения других конструктивных решений могут быть:

крутые откосы (вплоть до вертикальных) с укреплёнными полками, рассчитанными на размещение пролётов выветривания при самоуплощении откосов, — для выемки высотой 6-8 м и полувыемки на косогорах не круче 1:2;

крутые откосы с трамблением у подножия — для прорезных выемок большой глубины и полувыемок на крутых косогорах;

крутые откосы, укрепленные заматыми покрытиями, — для полувыемок на косогорах при значительной стоимости разработки скальных пород.

6. ХАРАКТЕР И ОБЪЕМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

6.1. Полный комплекс инженерно-геологических обследований, необходимых для оценки общей и местной устойчивости откосов выемок в легковыветривающихся скальных породах, включает в себя определение следующих показателей:

каменнозавалов пород, их размещения и процентного содержания в пределах проектируемого откоса;

ориентации поверхностей ослабления;
 генезиса поверхностей ослабления;
 качественной характеристики трещиноватости (характера заполнения трещин, степени шероховатости стенок, обводнения, изменчивости трещин в зависимости от пересечения различных литологических разностей, протяженности и выдержанности направлений трещин);
 количественной оценки трещиноватости (числа трещины каждой системы, приходящихся на 1 пог.м в направлении, перпендикулярном плоскости трещин, определение блочности по формуле (15);
 объемного веса γ_0 ;
 сопротивления одноосному сжатию $\sigma_{сжм}$;
 сцепления и угла внутреннего трения в монолите (образце) C и ρ ;
 сцепления с учетом структурного ослабления в массиве C_m ;
 сцепления и угла внутреннего трения по контактам поверхностей ослабления $\sigma_{тр}$ и $\rho_{тр}$;
 отношении к переменному высушиванию и увлажнению.

Методы осуществления различных видов инженерно-геологических обследований приведены в соответствующих пособиях и методических указаниях [21, 22, 23].

Сведения о способах определения механических характеристик даны также в разделе 4 настоящей работы.

6.2. Объем инженерно-геологических обследований применительно к конкретным расчетным схемам может быть значительно сокращен по сравнению с полным комплексом, приведенным в п.6.1.

Перечень необходимых определений из указанного комплекса при различных расчетных схемах оценки устойчивости (с учетом необходимости оценки жесткой устойчивости) приведен в табл.3.

6.3. Некоторые инженерно-геологические характеристики можно уточнять в процессе разработки проекта. Если при этом выявится несоответствие первоначально принятым условиям, то необходима дополнительная проверка устойчивости откосов и корректировка проектных решений.

Таблица 3

расчет- ные схемы и предва- рительные условия	Перечень необходимых определений											Отношение к пере- менному высушива- нию и увлажнению
	Наименование пород и их содержание в откосе, %	γ_0	$b_{ж}$	Ориентация тре- нин в пространст- ве, их генезис и качественная оцен- ка	Коле- ст- венная оценка трещин	σ	ρ	ϵ_m	$\epsilon_{тр}$	$\rho_{тр}$		
Схема I $b_{ск} > 400 \text{ кг/см}^2$	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	
$b_{ск} < 400 \text{ кг/см}^2$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	
Схема II	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Схема III	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Схема IV $b_{ск} > 400 \text{ кг/см}^2$	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	
$b_{ск} < 400 \text{ кг/см}^2$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Схема V $b_{ск} > 400 \text{ кг/см}^2$	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	
$b_{ск} < 400 \text{ кг/см}^2$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Схема VI	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Схема VII	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Схема VIII	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Схема IX $b_{ск} > 400 \text{ кг/см}^2$	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	
$b_{ск} < 400 \text{ кг/см}^2$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Схема X $b_{ск} > 400 \text{ кг/см}^2$	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	
$b_{ск} < 400 \text{ кг/см}^2$	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Схема XI	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	
Схема XII	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	
Схема XIII	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	

Примечания. 1. Знак "+" показывает необходимость выполнения определений, а знак "минус" - отсутствие такой необходимости.

2. При $b_{ск} > 400 \text{ кг/см}^2$ (что соответствует примерно $\sigma \approx 100 \text{ кг/см}^2$) при благо-
приятном расположении поверхностей ослабления откос устойчив при $K \leq 60$ и.

Приложение I

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ПОРОД ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К ВЫВЕТРИВАНИЮ

Отбор образцов

Из участков массива, прорезаемого откосом выемки (проектируемой или существующей), отбирают образцы пород произвольной формы весом от 100 до 300 г каждый.

Образцы отбирают из подошвенной, средней и верхней частей откоса в количестве не менее трех по каждому из поперечников (при наличии однородного сложения толщ). Расстояние между поперечниками, в случае выдержанности элементов залегания пород, принимается равным 150-200 м. При изменчивости и невыдержанности элементов залегания расстояние между поперечниками уменьшается до 25-50 м.

В случае переслаивания различных пород по высоте проектируемого откоса образцы отбирают из каждой литологической разности.

Отбор образцов осуществляется из кернов или из обнажения пород.

Испытание образцов

При испытании отобранных образцов на высушивание-увлажнение их ставят в ферфоровых или стеклянных чашках в сушильный шкаф и выдерживают при температуре 105°C примерно 7-8 ч. Затем их вынимают из шкафа, взвешивают и заливают водой, в которой выдерживают не менее 7-8 ч.

После слива воды через фильтр (чтобы задержать мелкие частицы) образцы вновь ставят в сушильный шкаф^I. Далее процесс (цикл) повторяется.

^I При отсутствии сушильного шкафа процесс высушивания при испытании можно осуществлять в лабораторных условиях (при комнатной температуре). При этом целесообразно увлажненную породу расстилать на оуату или металлический лист и т.п.), что ускоряет просушивание. Длительность процесса высушивания в этом случае составляет не менее 15 ч.

После определенного числа циклов (3 - 5) следует про-
изводить просев образцов через сито с ячейками 10 мм (с водой
или в сухом состоянии). Промедлив через сито частицы вы-
сушивают (в случае просеивания с водой) и взвешивают
с точностью до 0,01 г.

Затем вычисляют потерю в весе исследуемого образца,
которая равняется отношению веса частиц, прошедших через
сито с ячейками 10 мм, к первоначальному весу образца
(в процентах). Общее количество циклов испытаний опреде-
ляется степенью устойчивости исследуемой породы к высуши-
ванию-увлажнению. При неустойчивых породах достаточно ог-
раничиться несколькими циклами, чтобы получить потери об-
разцов в весе, достигающие 100%. В устойчивых породах по-
тери в весе, равной 100%, может вообще не наступить, по-
тому в этих случаях испытания можно ограничить 30-40 цик-
лами.

Обработка результатов

По потере образцов в весе, в зависимости от коли-
чества циклов высушивания-увлажнения, строится график в
координатах $Q = f(n)$,

где Q - потеря образцов в весе, %;

n - количество циклов высушивания и увлажнения.

Полученная зависимость составляется (составляется)
с графиком, приведенном на рис.1 настоящих Методических
указаний; определяется группа пород по степени устойчи-
вости к выветриванию. При этом необходимо определить также
положение полученной зависимости по отношению к линии
средних значений потерь в весе рассматриваемой группы по
соотношению

$$\frac{N_{\phi}}{N_i^{cp}} = \frac{n_{i_{100}}^{cp} \pm \frac{\sum_{i=1}^K (n_{\phi i} - n_{iK}^{cp}) n_{iK}^{cp}}{\sum_{i=1}^K n_{iK}^{cp}}}{n_{i_{100}}^{cp}}, \quad (1)$$

где n_{100}^{cp} — количество циклов, соответствующее 100% потерь для линии средних значений группы. Применительно к I и II группам пород по рис. I в разделе I вместо n_{100}^{cp} принимается количество циклов, соответствующее наименьшему значению потерь, показанному на графике;

$n_{фк}$ — количество циклов высушивания и увлажнения, при котором зафиксирован определенный процент потерь в весе исследуемого образца;

n_{ik}^{cp} — количество циклов высушивания и увлажнения, соответствующее тому же проценту потерь в весе для линии средних значений в группе I (см. рис. I в разделе I);

k — количество сравниваемых значений процентов потерь в весе образца (Q_{ik}).

п р и м е р

В результате проведения опытов на высушивание и увлажнение с какой-либо породой получена следующая зависимость: $Q = f(n)$

$n_{фк}$	4	8	12	16	20	24
Q_{ik}	5	10	40	60	70	80

После сопоставления этой зависимости с графиком на рис. I можно заключить, что исследуемая порода относится к III группе. Полученным из опыта значениям процентов потерь в весе соответствует следующее количество циклов n_{III}^{cp} по линии средних значений Q_{III}

n_{III}^{cp}	3	6	13,5	16,3	17,6	19,2
Q_{III}	5	10	40	60	70	80

По указанной выше формуле (I) находим отношение $\frac{N_{ф}}{N_{III}^{cp}}$. В рассматриваемом примере $X = 6$ (шесть сравниваемых величин процентов потерь породы в весе при просеивании через сито 10 мм: 5, 10, 40, 60, 70, 80%; $n_{II}^{cp} = 22$ цикла

$$\frac{N_{ф}}{N_{III}^{cp}} = \frac{22 + \frac{(4-3)/3 + (8-6)/6 + (12-13,5)/3,5 + (16-16,3)/16,3 + (20-17,6)/17,6 + (24-19,2)/19,2}{3+6+13,5+16,3+17,6+19,2}}{22} =$$

$$= \frac{22 + \frac{124,1}{15,6}}{22} = \frac{22 + 1,65}{22} = \frac{23,65}{22} = 1,08.$$

Второй член числителя в формуле для определения $\frac{N_{\Phi}}{N_{\Phi}^{\text{ср}}}$ (в нашем примере он равен +1,65) показывает, на сколько сместится экспериментальная зависимость $Q = f(n)$ от линии средних значений. В рассматриваемом случае она сместится правее линии средних значений $Q_{\text{ср}}$. При этом сдвиг составит в среднем 1,65 цикла (т.е. 1,65n) в каждой сравниваемой точке, что можно использовать при нанесении осредненного очертания полученной опытным путем зависимости $Q = f(n)$. Если бы этот член получился отрицательным, то осредненное очертание экспериментальной зависимости сместилось бы левее линии средних значений $Q_{\text{ср}}$ на соответствующую величину циклов. Таким образом, если $\frac{N_{\Phi}}{N_{\Phi}^{\text{ср}}} > 1$, то экспериментальная зависимость пройдет правее от линии средних значений, если $\frac{N_{\Phi}}{N_{\Phi}^{\text{ср}}} < 1$ — то левее; при $\frac{N_{\Phi}}{N_{\Phi}^{\text{ср}}} = 1$ экспериментальная зависимость совпадает с линией средних значений.

Для определения интенсивности осыпания следует J_{III} (см. рис. 2) разделить на полученное соотношение, т.е. умножить на отношение $\frac{N_{\Phi}^{\text{ср}}}{N_{\Phi}} = \frac{1}{1,08} = 0,925$.

Аналогичным образом это соотношение используется при определении мощности коры выветривания (применительно к m_{III} на рис. 3).

МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ ОТКОСОВ ВЫЕМОЙ

При назначении оптимальных в технико-экономическом отношении очертаний откосов следует исходить из условий обеспечения их общей устойчивости и такого сочетания строительных и эксплуатационных расходов, которые они (с учетом отдаленности затрат) были минимальными.

Чем круче запроектированы откосы (при обязательности сохранения их общей устойчивости), тем меньше строительная стоимость разрезотки выемки, но тем больше затраты, связанные с необходимостью уборки осыпавшихся продуктов выветривания в процессе эксплуатации.

Для возможности сопоставления суммарных строительных и эксплуатационных затрат в рассматриваемых вариантах с учетом отдаленности во времени рекомендуется сравнивать так называемые приведенные расходы, определяемые по формуле [24]

$$\Sigma_{np} = \sum_0^{t_c} \frac{K_t}{(1 + E_{np})^t} + \sum_1^{t_c} \frac{З_t}{(1 + E_{np})^t}, \quad (1)$$

где Σ_{np} — приведенные суммарные строительные и эксплуатационные расходы;

K_t и $З_t$ — соответственно капиталовложения и эксплуатационные расходы в соответствующем году t ;

$\frac{1}{(1 + E_{np})^t}$ — коэффициент приведения (отдаленности), учитывающий уменьшение значимости затрат, овершаемых через t лет;

t_c — год, ограничивающий период суммирования расходов по рассматриваемым вариантам;

E_{np} — норматив для приведения разновременных затрат, установленный в разрезе 0,08 [25]

В общую сумму затрат по указанной формуле включаются и первоначальные капиталовложения (как затраты первого

этапа), условно относимые к календарному году эксплуатации, т.е. принимаемые с коэффициентом приведения, равным 1.

При рассмотрении приведенных расходов применительно к скальным выемкам под капитальными затратами понимается строительная стоимость сооружения 1 пог.м продольной длины выемки, а эксплуатационные расходы складываются из стоимости уборки осыпавшихся продуктов выветривания с 1 пог.м длины откосов (вдоль выемки).

Период суммирования приведенных затрат ограничивается двадцатью годами. При этом интенсивность осыпания продуктов выветривания с откосов заданной крутизны и интенсивность отступления бровки откосов выемки (степень уположения откосов во времени) подсчитывают при сравнении вариантов в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе 3.

По указанной методике производится сравнение различных конструктивных вариантов (в том числе откосов, защищенных от выветривания различными покрытиями, откосов с устроенными полками, рассчитанными на самоуположение их и размещение продуктов выветривания в процессе эксплуатации и др.).

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ОТКОСОВ ВЫЕЗДОВ

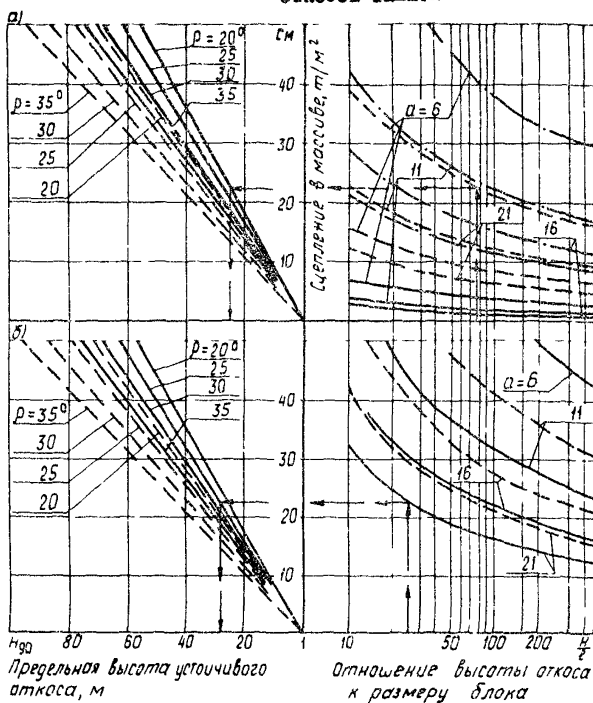


Рис.1. Номограммы для определения
предельной высоты устойчивого вертикального
откоса при благоприятном расположении повер-
хностей ослабления (расчетная схема 1):
а — — — — — $C = 100 \text{ Т/м}^2$; - - - - - $C = 600 \text{ Т/м}^2$;
б — — — — — $C = 1600 \text{ Т/м}^2$; - - - - - $C = 2100 \text{ Т/м}^2$;
в — — — — — $\gamma_{об} = 2,5 \text{ Т/м}^3$; - - - - - $\gamma_{об} = 2,0 \text{ Т/м}^3$

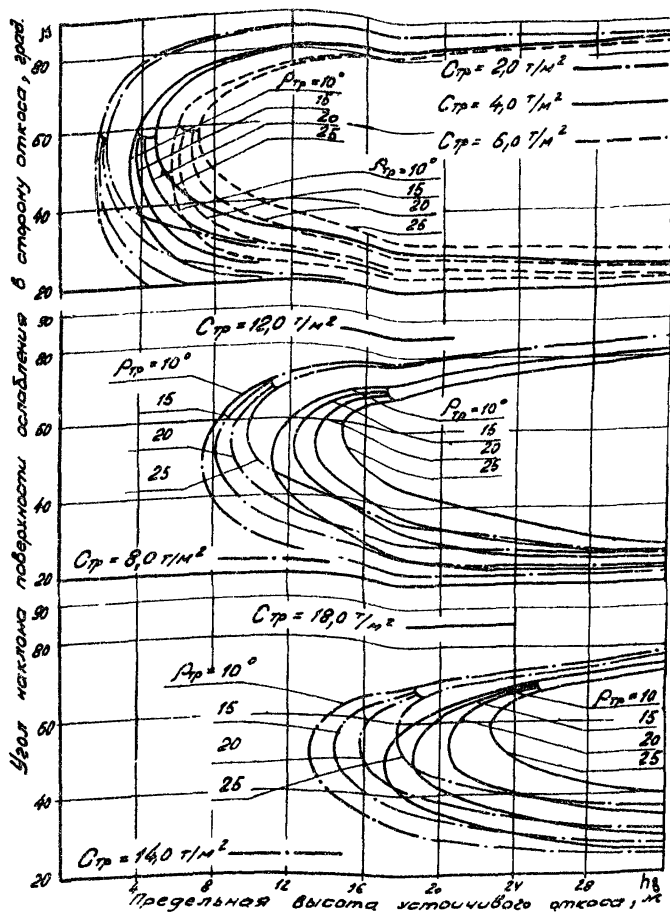


Рис. 2. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого вертикального откоса при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления /расчетная схема П/

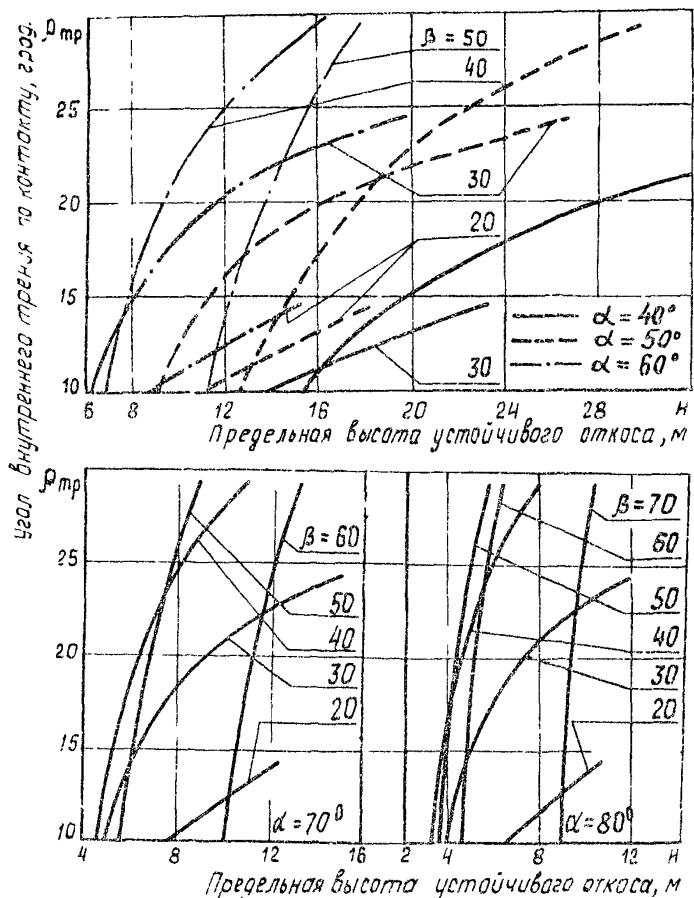


Рис. 3. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса различной крутизны при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления расчетная схема III:

$$\tau_p = 2 \text{ Т/м}^2; \quad \gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^3$$

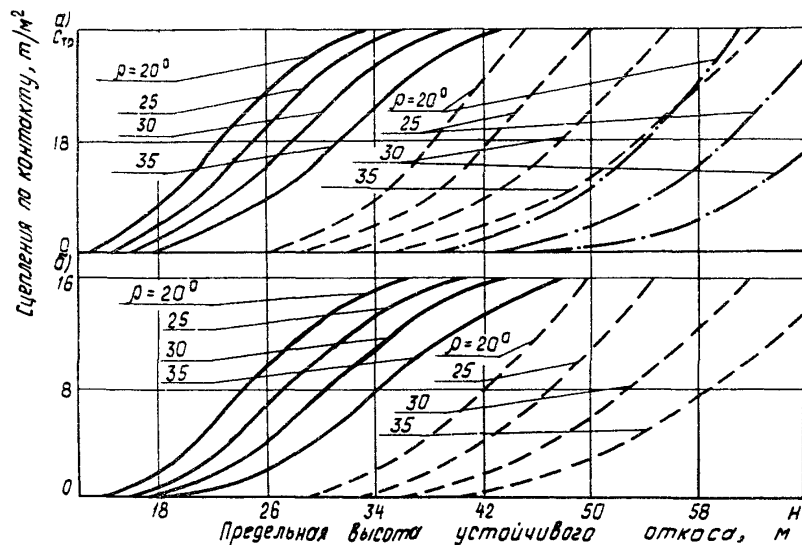


Рис. 4. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления и совпадений их с откосом (для некоторых расчетных сочетаний)

— — — — — $C_m = 10 \text{ т/м}^2$; - - - - - $C_m = 20 \text{ т/м}^2$; $C_m = 30 \text{ т/м}^2$;
 а — $\beta = 50^\circ$; $\beta_{тр} = 10^\circ$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ т/м}^3$;
 б — $\beta = 50^\circ$; $\beta_{тр} = 15^\circ$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ т/м}^3$

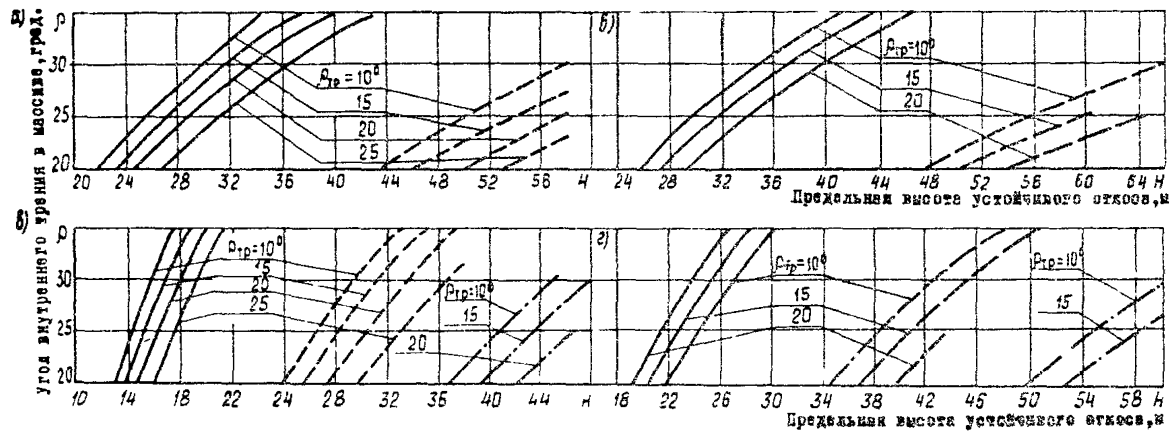


Рис. 5. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при неблагоприятном расположении поверхностей ослабления и при откосе более пологом, чем плоскости ослабления (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема У/:

$C_M = 10 \text{ Т/м}^2$; - - - - $C_M = 20 \text{ Т/м}^2$; - . - - $C_M = 30 \text{ Т/м}^2$;

а - $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\alpha = 50^\circ$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^2$;
б - $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 4 \text{ Т/м}^2$; $\alpha = 50^\circ$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^2$;

в - $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\alpha = 60^\circ$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^2$;
г - $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 4 \text{ Т/м}^2$; $\alpha = 60^\circ$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^2$

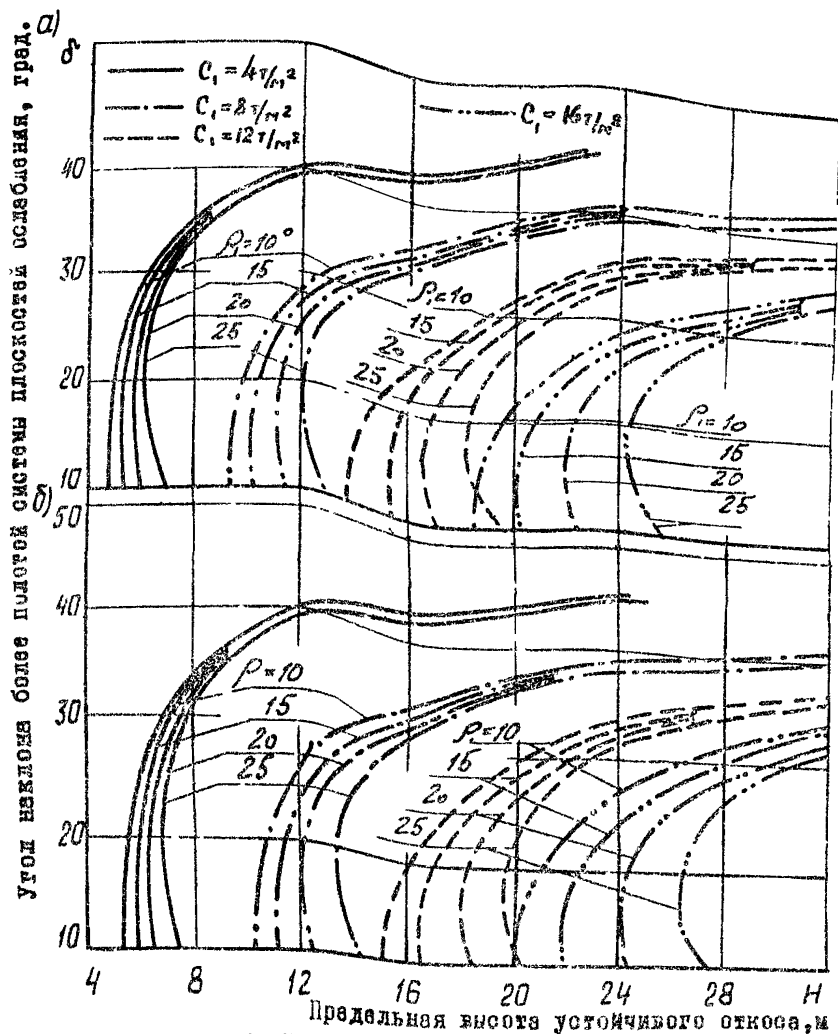


Рис. 6. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под различными углами, одна из которых совпадает с откосом (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема У1/:

а - $\beta = 50^\circ$; $\beta_{тр} = 10^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_s = 2,5 \text{ Т/м}^3$
 б - $\beta = 50^\circ$; $\beta_{тр} = 15^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_s = 2,5 \text{ Т/м}^3$

Угол наклона более пологой системы
плоскостей ослабления, град

б)

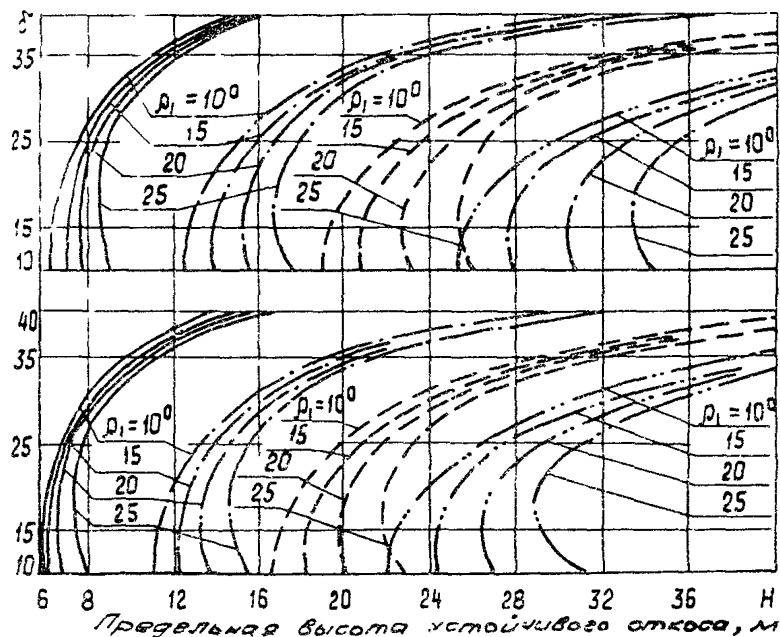


Рис. 7. Номенграммы для определения предельной высоты устойчивого откоса при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под различными углами, одна из которых совпадает с откосом (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема У1/:

а - $\beta = 50^\circ$; $\rho_{гр} = 250$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ т/м}^3$;

б - $\beta = 50^\circ$; $\rho_{гр} = 200$; $C_{тр} = 0$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ т/м}^3$

— $C_1 = 4 \text{ т/м}^2$; — — — $C_1 = 8 \text{ т/м}^2$; — — — — $C_1 = 12 \text{ т/м}^2$; — — — — — $C_1 = 16 \text{ т/м}^2$

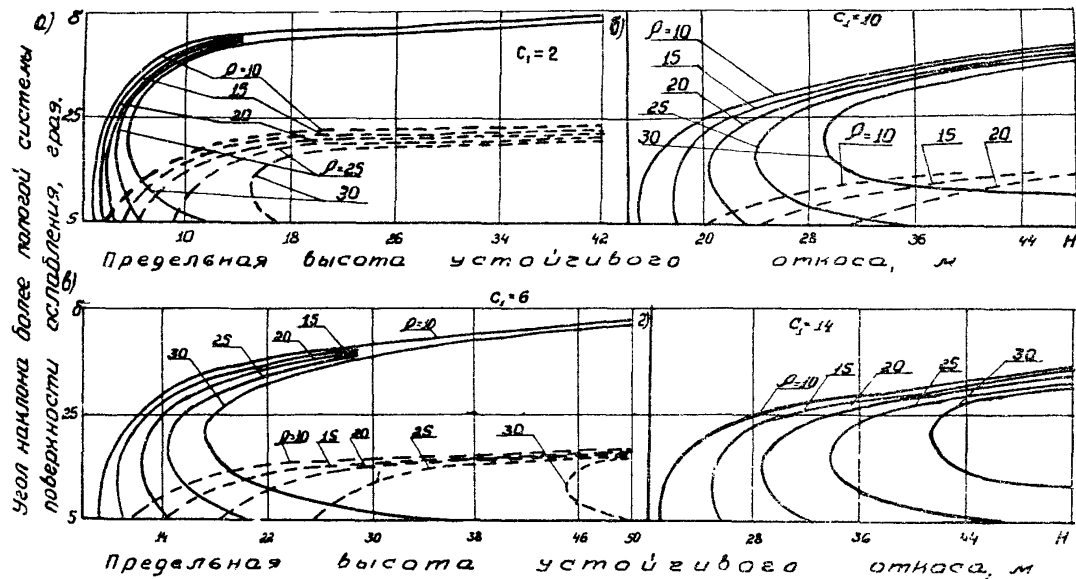


Рис. 8. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса (для некоторых расчетных сочетаний) при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в строку откоса под различными углами β и σ и несовпадающих с углом откоса α ; $\beta > \alpha > \sigma$ /расчетная схема УП/:

БС $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\rho_{тр} = 10^0$; а - $C_1 = 2$; б - $C_1 = 6$; в - $C_1 = 10$; г - $C_1 = 14$ Т/м²;
 — $\alpha = 50^\circ$; - - - $\alpha = 30^\circ$

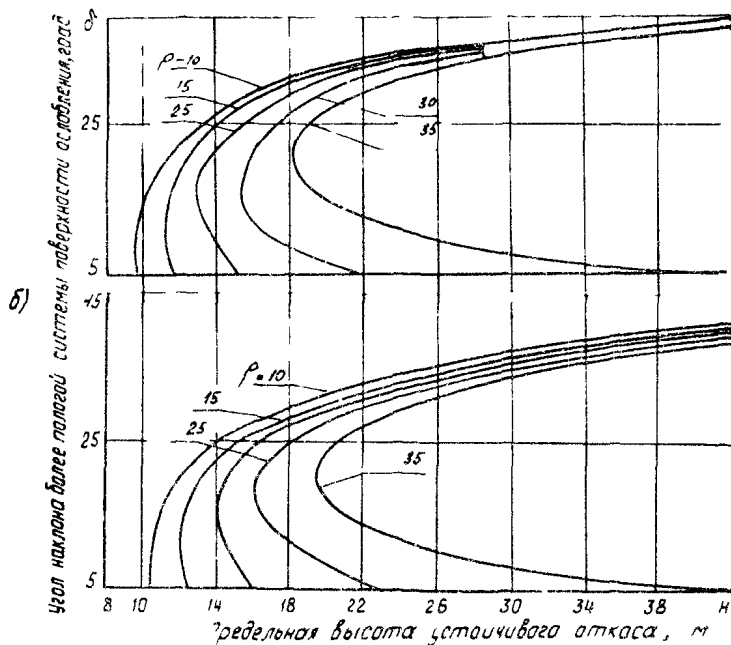


Рис. 9. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса (для некоторых расчетных сочетаний) при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, падающих в сторону откоса под углами различными β и σ и несоответствующих с углом откоса α $\beta > \alpha > \sigma$. /расчетная схема УП/:

- а - $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\rho_{тр} = 15^\circ$;
 б - $\beta = 60^\circ$; $C_{тр} = 0$; $\rho_{тр} = 20^\circ$;
 $C_I = 6 \text{ Т/м}^2$; $\alpha = 50^\circ$

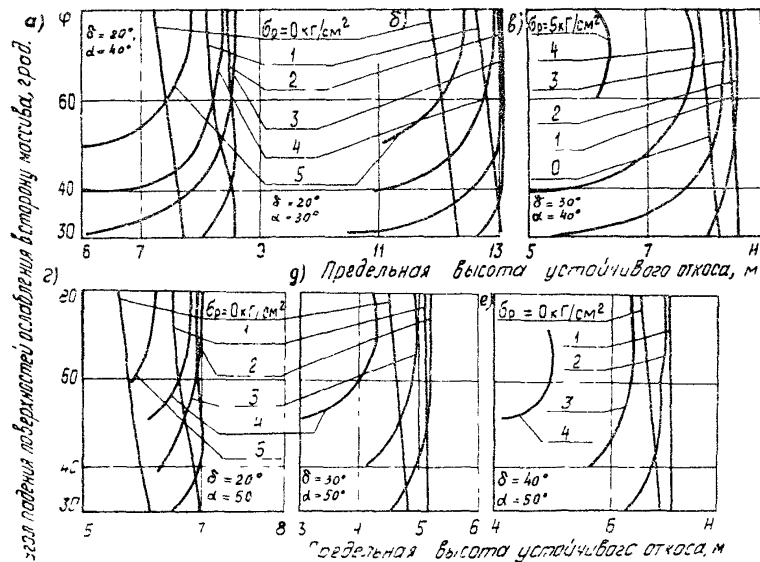


Рис. 10. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса с углом наклона α при наличии двух или более систем поверхностей ослабления, одна из которых имеет падение в сторону выемки под углом δ ($\delta < \alpha$), а другая - в сторону массива под углом φ (для некоторых расчетных сочетаний) /расчетная схема УШ/

$\rho_{\text{гп}} = 100$; $C_{\text{гп}} = 1 \text{ Т/м}^2$; $\gamma = 2,5 \text{ Т/м}^3$

а) $\delta = 20^\circ$

б) $\delta = 20^\circ, \alpha = 30^\circ$; в) $\delta = 30^\circ, \alpha = 40^\circ$; г) $\delta = 20^\circ, \alpha = 50^\circ$; д) $\delta = 30^\circ, \alpha = 50^\circ$

е) $\delta = 40^\circ, \alpha = 50^\circ$

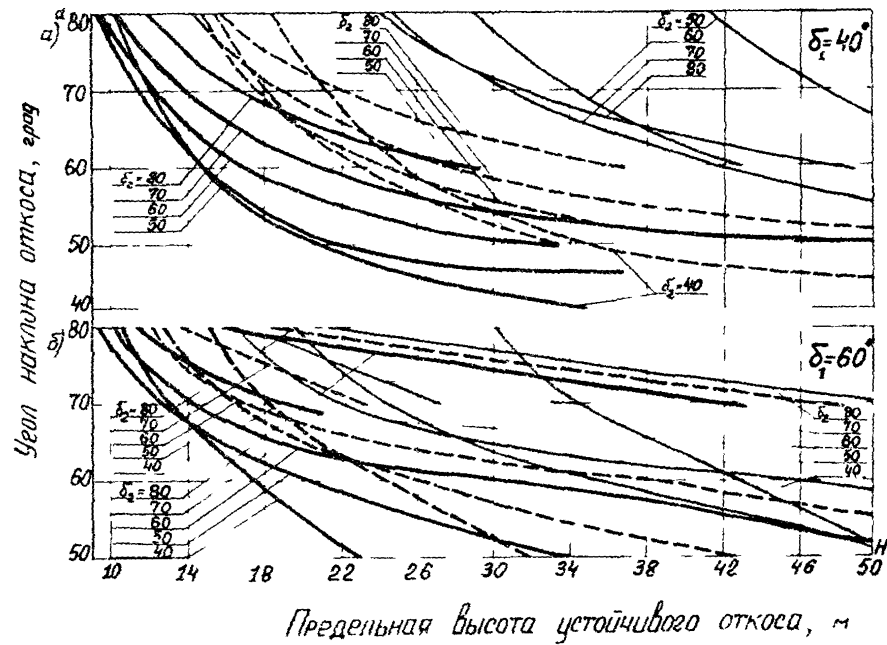


Рис. 11. Номограммы для определения предельной высоты устойчивого откоса, при расчетной схеме, учитывающей объемное расположение поверхностей ослабления (для некоторых расчетных сочетаний) / расчетная схема XII:

а - $C_{тр} = 2 \text{ Т/м}^2$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^3$; — $\beta = 0^\circ$; $A_0 = 90^\circ$; $A_1 = 130^\circ$; $A_2 = 50^\circ$
 б - $C_{тр} = 2 \text{ Т/м}^2$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^3$; --- $\beta = 15^\circ$; $A_0 = 90^\circ$; $A_1 = 130^\circ$; $A_2 = 50^\circ$
 в - $C_{тр} = 2 \text{ Т/м}^2$; $\gamma_0 = 2,5 \text{ Т/м}^3$; — $\beta = 30^\circ$; $A_0 = 90^\circ$; $A_1 = 130^\circ$; $A_2 = 50^\circ$

Приложение 4

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПО СХЕМЕ IX^X

В данной расчетной схеме массив принимается макро-однородным (квазиизотропным), а расчетная поверхность обрушения — круглоцилиндрической с вертикальным верхним участком высотой H_{90} , в пределах которого считается, что порода работает на разрыв. Сопротивление разрыву скальной породы в массиве в запас безопасности принимается равным нулю.

Положение наиболее опасной поверхности обрушения для заданной конфигурации откоса, т.е. для конкретных значений крутизны α и высоты его H , определяют в следующей последовательности (рис. I):

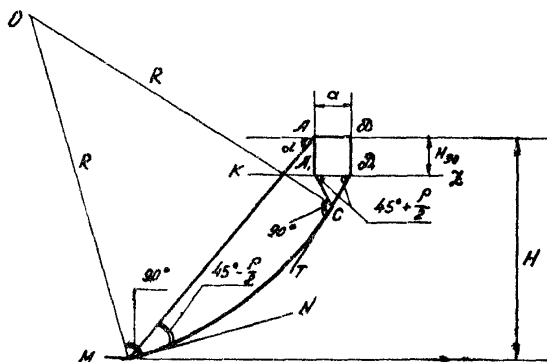


Рис. I. Построение поверхности обрушения в расчетной схеме IX

^X Изложение в настоящем приложении методики основывается на разработках Г.Л.Фисенко [2, 9, 10] и уточнены по результатам исследований некоторых других авторов [10, 26, 27, 28].

определяют высоту вертикального участка поверхности обрушения H_{90} — вертикальной трещины отрыва — по формуле для расчетной схемы I (см. абз. I раздела 2);

проводит на уровне проектируемого откоса горизонтальную линию АД, на которой H_{90} от нее проводят прямую КЗ, параллельную АД;

определяют ширину призмы обрушения a (см. рис. I) по формуле [10,26]

$$a = \frac{2H[1 - \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg}(\frac{\alpha + \rho}{2})] - 2H_{90}}{\operatorname{tg}(45 + \frac{\rho}{2}) + \operatorname{tg}(\frac{\alpha + \rho}{2})},$$

где

H — высота рассматриваемого откоса, м;

ρ — угол внутреннего трения массива вкост по направлению к поверхности ослабления, град;

откладывают ширину призмы обрушения "а" от бровки откоса (участок АД на рис. I);

проводят прямую под углом $(45 - \frac{\rho}{2})$ к линии поверхности проектируемого откоса через подошву откоса (точку М);

опускают из точек Д и А перпендикуляры ДД₁ и АА₁ на линию КЗ. Из точки Д₁ проводят прямую Д₁Т под углом $(45^\circ + \frac{\rho}{2})$ к линии КЗ (в сторону откоса); из точки А₁ проводят прямую под углом $(45^\circ + \frac{\rho}{2})$ к линии КЗ (в сторону, противоположную откосу) до пересечения с Д₁Т в узловой точке С;

восстанавливают перпендикуляры к линиям МН из точки М и Д₁Т — из точки С. Пересечение этих перпендикуляров даст точку О, являющуюся центром окружности, из которой радиусом R проводят криволинейный участок ОС поверхности обрушения.

Дальнейший расчет общей устойчивости участка массива, ограниченного полученной поверхностью обрушения и поверхностью откоса, проводят по общепринятому способу:

разбивают вертикальными поверхностями этот массив на отсеки;

определяют вес каждого отсека B_i , приходящийся на l пог.м длины выемки;

вычисляют коэффициент устойчивости K_y по выражению

$$K_y = \frac{tg \rho \sum N_i + C_m \mathcal{L}}{\sum T_i},$$

где $N_i = B_i \cdot \cos \alpha_i$; $T_i = B_i \cdot \sin \alpha_i$;

α_i — осредненный угол наклона к горизонту поверхности обрушения в пределах каждого выделенного отсека, град;

\mathcal{L} — длина поверхности обрушения в пределах участка;

$$B_i = h_i^{cp} \cdot a_{oi}^{cp} \cdot \gamma_o;$$

h_i^{cp} — средняя высота отсека, м;

a_{oi}^{cp} — средняя ширина отсека, м;

γ_o — объемный вес пород, т/м³;

C_m — сцепление в массиве, т/м²;

ρ — угол внутреннего трения в массиве, град.

При выполнении расчета величины параметров ρ и C_m , в соответствии с указаниями раздела 4, уменьшаются на величину коэффициента запаса, равного 1,3.

Полученное в результате расчета $K_y = 1$ свидетельствует о том, что рассматриваемый откос устойчив при коэффициенте запаса, равном 1,3. Если $K_y > 1$, то предельная высота откоса при той же крутизне (при коэффициенте запаса 1,3) может быть увеличена; при $K_y < 1$ — высота должна быть уменьшена или откос соответственно уположен.

Для определения предельно допустимой высоты откоса при данной его крутизне и коэффициенте запаса 1,3 достаточно выполнить два расчета, изменяя H во втором расчете в большую или меньшую сторону в зависимости от результатов первого.

По результатам двух таких вычислений строят график изменения коэффициента K от высоты откоса. Для этого в

точках, являющихся основанием откоса в двух выполненных расчетах, восстанавливают перпендикуляры к линии откоса в соответствии с рис. 2 и откладывают в одинаковых масштабах отрезки, превышающие I в K_2 или недостающие до I.

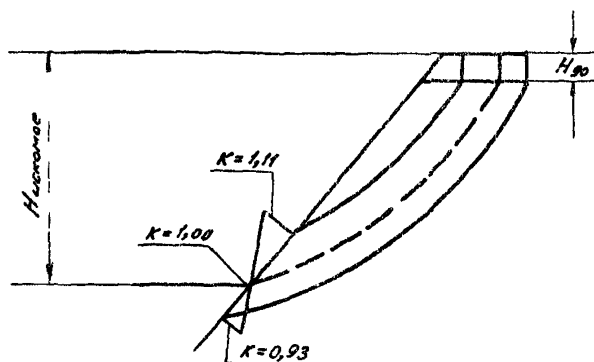


Рис. 2. Определение высоты предельного устойчивого откоса по двум расчетам

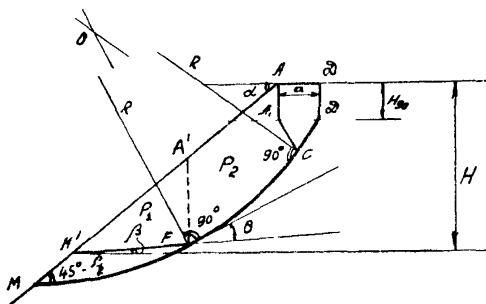
Концы этих перпендикуляров соединяют прямой, точка пересечения которой с линией откоса и укажет подову искомого откоса (см.рис.2).

Для ускоренных определений предельной высоты устойчивого откоса можно использовать график, приведенный на рис. 5 раздела 2 [2, 9, 10]. На этом графике приведены величины предельной высоты H в долях от H_{90} , определенной по схеме I таол. I раздела 2 в зависимости от значений ρ , величина которого снижается на коэффициент запаса (1,3).

Приложение 5

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПО СХЕМЕ X^I

Настоящая расчетная схема, как и схема IX, (см. приложение 4) отражает размещение поверхности обрушения в верхней части массива, как в квазиизотропной среде; в нижней части поверхности обрушения предполагается ее прохождение по контактам плоскостей ослабления (см. рисунок). В этом случае рекомендуется следующая последовательность расчета:



Построение поверхности обрушения в расчетной схеме X

ориентировочно для заданной крутизны откоса и сдвиговых параметров ρ и C_m (уменьшенных на коэффициент запаса устойчивости) по графику, приведенному на рис. 5 раздела 2, определяют предельную высоту устойчивого откоса, как для квазиизотропного массива;

по способу, изложенному для расчетной схемы IX, осуществляется построение поверхности обрушения для найденной (в соответствии с указанием предшествующего абзаца) высоты откоса;

на произвольно выбранном от подножия откоса расстоянии проводят линию, совмещенную с поверхностью ослабления под углом β к горизонту (см. рисунок), что определит очерта-

^I Данная методика разработана во ВНИИ [10, 27, 28, 29].

ние призмы возможного обрушения;

в призме возможного обрушения M^1ADD_1F выделяют призму упора (1) M^1A^1F и призму активного давления (2) A^1ADD_1F ;

призму активного давления разбивают на отдельные отсеки. Вес каждого из них составляет

$$P_{2i} = h_i^{cp} a_i \cdot \gamma_0 \quad ,$$

где

h_i^{cp} — осредненная высота отсека, м;

a_i — ширина отсека, м;

γ_0 — объемный вес массива пород, T/m^3 ;

определяют нормальные и сдвигающие составляющие для каждого отсека. После алгебраического сложения удерживающих и сдвигающих сил, действующих по поверхности обрушения в пределах участка призмы активного давления (FCD_1), их проектируют на направление поверхности ослабления (M^1F).

в результате определяются:

$\sum T_i \cos \theta$ — сдвигающая сила, возникающая на поверхности под действием призмы активного давления;

$(tg \rho \sum N_i + c_m L_a) \cos \theta + (\sum T_i - \sum N_i tg \rho - c_m L_a) \sin \theta tg \rho_{cr}$ — удерживающая сила на поверхности M^1F , возникающая под влиянием призмы активного давления.

В этих выражениях:

$$N_i = P_{2i} \cdot \cos \alpha_i \quad ;$$

$$T_i = P_{2i} \cdot \sin \alpha_i \quad ;$$

α_i — осредненный угол наклона к горизонту поверхности обрушения в пределах каждого выделенного отсека, град;

L_a — длина поверхности обрушения на участке призмы активного давления, м;

θ — угол, град., между направлением поверхности ослабления (M^1F) и перпендикуляром, опущенным из точки F и радиусу поверхности обрушения на участке FC (см.рисунок);

определяет силы, возникающие на поверхности MF под действием приемы упора:

$P_i \cos \beta \operatorname{tg} \rho_{rp} + C_{rp} L_y$ — удерживающая сила;
 $P_i \sin \beta$ — сдвигающая сила, при падении склона в сторону массива эта сила становится удерживающей).

В приведенных выражениях:

P_i — вес призмы упора, T ;

L_y — длина поверхности обрушения на участке призмы упора, m ;

устанавливают величину коэффициента устойчивости рассматриваемого откоса, которую вычисляют в случае падения поверхностей ослабления в сторону откоса по выражению

$$K = \frac{P_i \cos \beta \operatorname{tg} \rho_{rp} + C_{rp} L_y + (\operatorname{tg} \rho \sum N_i + C_m L_a) \cdot \cos \theta + (\sum T_i - \sum N_i \operatorname{tg} \rho - C_m L_a) \sin \theta \operatorname{tg} \rho_{rp}}{\sum T_i \cos \theta + P_i \sin \beta}$$

а при падении поверхностей ослабления в сторону массива —

$$K = \frac{P_i \cos \beta \operatorname{tg} \rho_{rp} + C_{rp} L_y + (\operatorname{tg} \rho \sum N_i + C_m L_a) \cos \theta + (\sum T_i - \sum N_i \operatorname{tg} \rho - C_m L_a) \sin \theta \operatorname{tg} \rho_{rp} + P_i \sin \beta}{\sum T_i \cos \theta}$$

изменяют положение нижнего участка поверхности обрушения, совмещаемого с плоскостью ослабления, и расчет повторяют;

определяют высоту откоса заданной крутизны, при которой $K = 1$. Способ ее отыскания остается таким же, как и для расчетной схемы IX (см. рис. 2 приложения 4).

По большому количеству подобных расчетов во ВНИИ [28] составлены таблицы, с помощью которых можно ускоренно определить искомую предельную высоту устойчивого откоса (по заданным характеристикам сопротивления сдвигу на различных участках поверхности обрушения и углам наклона откоса).

При этом последовательность расчетов принимается следующей:

по графику на рис. 5 раздела 2, по принятым значениям α и ρ (уменьшенным на коэффициент запаса устойчивости) определяют предельную высоту H квазизотропного откоса;

для получения искомой предельной высоты устойчивого откоса по принятой расчетной схеме (см. рис. 4 раздела 2) полученная в соответствии с рекомендациями предшествующего пункта высота откоса H уменьшается на поправочный коэффициент δ , т.е.

$$H_1 = H \cdot \delta.$$

Для определения коэффициента δ необходимо предварительно вычислить коэффициент C по выражению

$$C = \frac{\operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg} \psi} - 1.28,$$

где
$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \rho_{\tau p} + \frac{C_{\tau p}}{\sigma_{cp}};$$

σ_{cp} — средняя интенсивность нормального напряжения по поверхности скольжения, Т/м^2

$$\sigma_{cp} = 0.3 \gamma \cdot H \cdot \cos \beta.$$

После этого вычисляют коэффициент δ по выражению

$$\delta = \delta_0 - C \delta,$$

в котором вспомогательные коэффициенты δ_0 и δ принимают по таблице, приведенной в настоящем приложении.

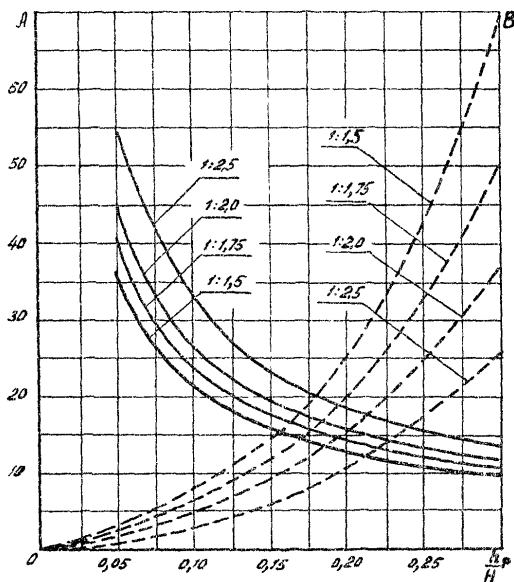
По указанной методике ускоренного определения в ЦНИИСе вычислены искомые значения H для некоторых значений крутизны откоса, величины и направления угла β и величины H_{90} (см. рис. 6, раздел 2).

Угол откоса α , град	Значения коэффициентов b_0 и δ при угле падения β поверхностей ослабле- ния, град.													
	$+30^\circ$		$+20^\circ$		$+10^\circ$		0°		-10°		-20°		-30°	
	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ	b_0	δ
40	1,000	0,045	0,920	0,079	0,850	0,118	0,795	0,160	0,740	0,300	0,532	0,400	0,470	0,440
50			1,000	0,063	0,910	0,110	0,815	0,150	0,785	0,250	0,687	0,340	0,550	0,380
60					1,000	0,100	0,880	0,140	0,800	0,220	0,660	0,295	0,590	0,340
70							1,000	0,135	0,880	0,205	0,720	0,265	0,620	0,305
80									1,000	0,195	0,800	0,245	0,690	0,280

Примечание. Углы падения β в сторону массива обозначены со знаком " + ", а в сторону откоса - со знаком " - ".

Приложение 6

График для определения коэффициентов А и В при расчете местной устойчивости



Приложение 7

Использование динамического пробника для получения расчетных параметров ускоренным методом

Принцип использования динамического пробника конструкции Ю.Д.Белова [30, 31, 32] основан на оценке относительной механической прочности породы по количеству работы, затраченной на погружение в нее металлического штыря (пуансона) сечением $S = 1 \text{ см}^2$, забиваемого молотком весом 1 кг . Общий вид динамического пробника представлен на рисунке.

Относительная механическая прочность вычисляется по выражению

$$R_{\text{отн}} = \frac{A \cdot n}{\ell \cdot S},$$

где $R_{\text{отн}}$ — относительная механическая прочность, кг/см^2 ;

n — число ударов;

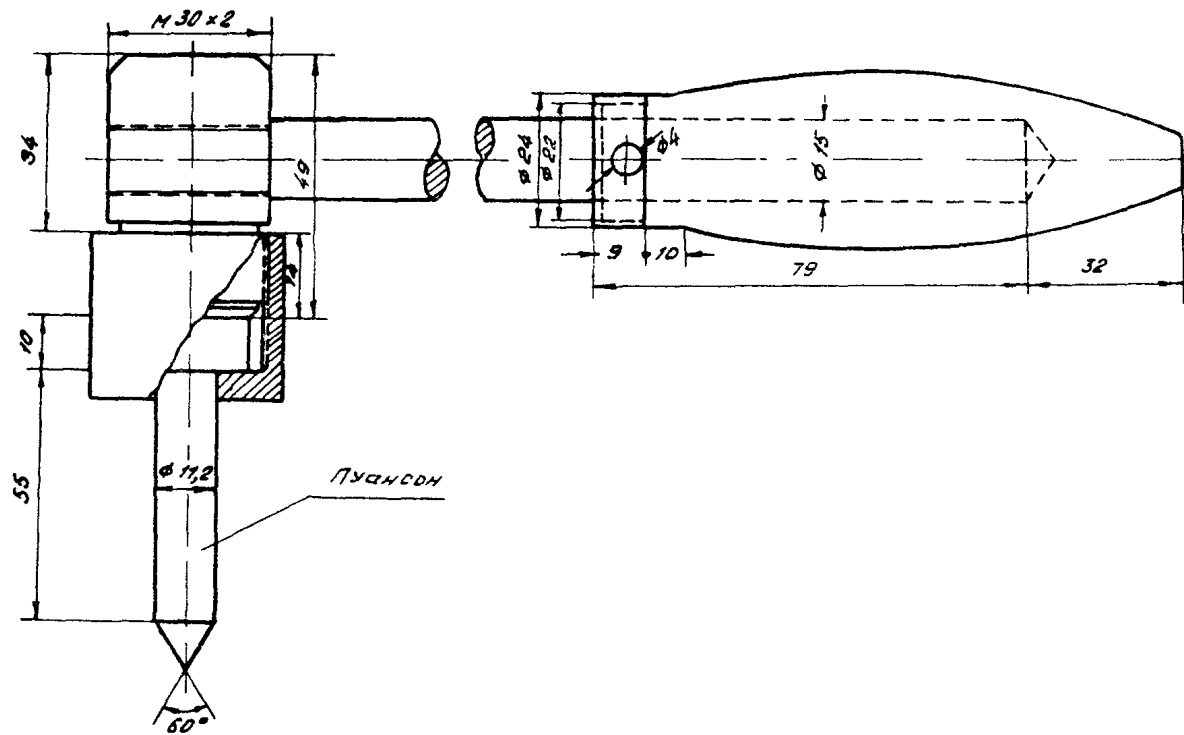
ℓ — глубина погружения (внедрения) пуансона, см ;

A — работа одного плечевого удара молотка весом 1 кг ., принимаемая в среднем равной 160 кгсм [30, 31].

Преимуществом использования динамического пробника является возможность осуществления по очень простой методике массовых определений прочности непосредственно в натуральных условиях, т.е. возможность учета естественного состояния и сложения исследуемых пород в имеющихся обнажениях.

Несмотря на то, что точность отдельных определений невелика, но за счет массовости испытаний надежность получаемых результатов (при их статистической обработке) достаточна для практических целей.

Полученная относительная механическая прочность может быть корреляционно связана с различными прочностными параметрами, определяемыми по более точной методике (например, по типу зависимости, изображенной на рис. 9 раздела 4.



Динамический пробник

Приложение 8

Значения $\rho_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления^I

Характеристика пород	$\rho_{тр}$, град, при поверхностях			
	неровных нерохова- тых	ровных нерохо- ватых	неровных гладких	ровных гладких
Крепкие песчанники	28 - 31	24 - 28	22 - 27	20 - 26
Известняки	24 - 27	28 - 25	20 - 22	16 - 19
Аргиллиты, глинистые сланцы	28 - 26	21 - 28	18 - 20	15 - 18
Контакт песчаника с известняком	-	-	-	38
Мергели	-	-	-	16
Глинистые сланцы	-	-	-	18
Аргиллиты с зеркалами скольжения на поверхностях ослабления	-	-	-	14
Алевриты	-	27 - 28	-	22 - 28
Алевриты с очень гладкими (местами зеркальными) поверхностями	-	-	-	18 - 16
Мелкозернистый песчаник на глинистом цементе	38	-	-	-

Примечание. При возможности обводнения указанные в таблице значения $\rho_{тр}$ следует уменьшать на 2 - 4.

^I Таблица составлена на основании данных Г.А.Фисенко [2, 9] и Н.Н.Кузнецова, наложенных в его диссертационной работе "Влияние трещиноватости на устойчивость бортов скальных разрезов", ВНИИМ, 1958.

Приложение 9

Значение $C_{тр}$ при отсутствии заложителя по контактам поверхностей ослабления [2, 9]

Характеристика поверхностей ослабления	Характеристика толщ	$C_{тр}$, т/м ²
Поверхность скольжения по контактам слоев	Дислоцированная осадочная толща	2 - 5
Контакты слоев	Неуплотненная не- дислоцированная слаборассланцован- ная осадочная толща	50% от сцеп- ления под углом к нао- скам
Контакты слоев	Уплотненная слабо- рассланцованная осадочная толща	10 - 18
Контакты слоев	Метаморфизованная осадочная толща	5 - 10
Сильные неровные трещины и тектониче- ские нарушения	Массивы изверженных и метаморфических пород	5 - 10

Примеры расчета общей устойчивости откосов выемки

Пример 1

И с х о д я щ и е д а н н ы е . Проверить расчетом общую устойчивость откоса, изображенного на рисунке. Высота откоса $H=22$ м, осредненная крутизна $\alpha = 55^\circ$.

И т о г и я : аргиллиты - 76, песчаники - 24%. На рисунке показано расположение слоистости и сочетание слоев, дана роза устойчивости, построенная по методу В.Н. Славянова, и основные данные для ее построения [88]. Выделены три системы трещин: I и II имеют благоприятное по отношению к откосу падение; III система характеризуется неблагоприятным падением, но угол ее наклона круче угла откоса ($72-90^\circ$ против $55-60^\circ$).

Таким образом, из имеющихся расчетных схем можно использовать схему IX, рассматривающую откос в качестве квазизотропного массива. Из таблицы, характеризующей трещиноватость рассматриваемого массива, следует, что средний размер элементарного структурного блока $l_{cp} \approx 18,0$ см. При $H = 22$ м $\frac{H}{l} = \frac{22,0}{0,18} = 164$. При таком соотношении $\frac{H}{l}$ массив считается квазизотропным [84].

Последовательность расчета

1. Определим необходимые расчетные параметры для схемы IX.

Требуется знать $C, \rho, \gamma_0, \rho_{тр}, \epsilon_m, \frac{H}{l}$

2. Согласно указаниям, изложенным в разделе 4, принимаем для аргиллитов $\rho = 82^\circ$, для песчаников $\rho = 34^\circ$. Величин сцепления в куске^I для аргиллитов $C_{арг} = 60 \text{ Т/м}^2$;

^I В рассматриваемом примере приняты фактические значения прочностных параметров, полученные в результате испытаний образцов с рассматриваемого объекта в лабораторных условиях.

для песчанников $C_{\text{песч.}} = 1420 \text{ Т/м}^2$.

3. Определяем значения ρ и C в куске, взвешенные по мощности литологических разностей:

$$C_{\text{взв}} = \frac{76 \times 60 + 24 \times 1420}{100} = 385 \text{ Т/м}^2;$$

$$\rho_{\text{взв}} = \frac{76 \times 32 + 24 \times 82}{100} = 32,5^\circ = 32^\circ 30';$$

$$\gamma_0 = 2,4 \text{ Т/м}^3 \text{ (взвешенное по мощности значение)}.$$

4. Вычисляем окончательные расчетные значения C и ρ с учетом уменьшения их величин на коэффициент запаса $K=1,8$

$$\text{tg } \rho_{\text{расч}} = \frac{\text{tg } \rho_{\text{взв}}}{1,8} = \frac{\text{tg } 32^\circ 30'}{1,8} = 0,420; \quad \rho_{\text{расч}} = 26^\circ;$$

$$C_{\text{расч}} = \frac{C_{\text{взв}}}{1,8} = \frac{385}{1,8} = 296 \text{ Т/м}^2 \approx 30 \text{ кг/см}^2.$$

5. Находим значение C_M по формуле (13) (см. раздел 4)

$$C_M = C_{\text{тр}} + \frac{C - C_{\text{тр}}}{1 + a \ln \frac{H}{H_0}}.$$

Так как обводнения не отмечено, шероховатость стенок поверхностей ослабления (трещин) средняя, а заполнитель отсутствует, то согласно рекомендациям, изложенным в разделе 4, по таблице в приложении 9 находим:

$C_{\text{тр}} = 8,5 \text{ Т/м}^2$ (для аргиллитов и песчанников принимаем среднее минимальное значение);

$$\text{расчетное значение } C_{\text{тр}}^{\text{расч}} = \frac{8,5}{1,8} = 2,7 \text{ Т/м}^2;$$

по п. 12 раздела 4 при $C = 30 \text{ кг/см}^2$, $a = 22$

$$C_M = 2,7 + \frac{296 - 2,7}{1 + 22 \ln 164} = 5,8 \text{ Т/м}^2.$$

$$6. \text{ Согласно табл. I, раздела 2 } H_{90} = \frac{2 C_M}{\gamma} \text{ ctg } (45 - \frac{\rho}{2}) = \frac{2 \times 5,8}{2,4} \text{ ctg } (45 - \frac{26}{2}) = 7 \text{ м.}$$

7. По графику, приведенному в разделе 2 на рис. 5, при $\alpha = 55^\circ$ и $\rho = 26^\circ$ получаем $H = \frac{H}{H_{90}} = 4,0$ м; т.е.

$$H = H' \cdot H_{90} = 4,0 \times 7,0 = 28 \text{ м} > 22 \text{ м}.$$

Таким образом, рассматриваемый откос вполне устойчив, коэффициент запаса превышает 1,3.

Пример 2

И с х о д н ы е д а н н ы е . Оценить общую устойчивость оводненного откоса из выветрелого до состояния мелкозема аргиллита. Мощность выветрелого слоя до 5 м. Крутизна откоса 38° (1:1,5), высота его 16 м. В данном случае применима расчетная схема ЛМ. Полученные при испытаниях на пастах для влажности по 33 % расчетные параметры выветрелого до мелкозема аргиллита оказались равными:

$$C = 3,5 \text{ Т/м}^2;$$

$$\rho = 12^\circ;$$

$$\gamma = 2,0 \text{ Т/м}^2.$$

Последовательность расчета

Мелкозем можно рассматривать как изотропный материал, т.е. $C_m = C$ и $\rho_{тр} = \rho$.

Для получения расчетных значений исходные параметры прочности уменьшаем на коэффициент запаса $K = 1,3$

$$\text{tg } \rho_{расч} = \frac{\text{tg } 12^\circ}{1,3} = 0,168; \quad \rho_{расч} = 9^\circ 15';$$

$$C_{расч} = \frac{3,5}{1,3} = 2,7 \text{ Т/м}^2.$$

По графику на рис. 5 в разделе II для $\alpha = 38^\circ$ (крутизна откоса) и $\rho = 9^\circ 15'$ получаем: $H' = \frac{H}{H_{90}} = 4,8$ м;

$$H_{90} = \frac{2 \cdot 2,7}{2} \text{ctg} (45^\circ - \frac{9^\circ 15'}{2}) = 3,2 \text{ м};$$

$$H = H' \cdot H_{90} = 4,8 \cdot 3,2 = 15 \text{ м} < 16 \text{ м}.$$

Таким образом, откос заданной крутизны (33^0) имеет коэффициент запаса устойчивости менее 1,3.

Для обеспечения надлежащей устойчивости необходимо запроектировать более пологий откос. Принимаем заложение откоса 1:2 ($26^024'$). Тогда по графику на рис.5 получим:

$$H' = \frac{H}{H_{90}} = 5,6 \text{ м}; \quad H = H' \cdot H_{90} = 5,6 \cdot 3,2 = 18 \text{ м} > 16 \text{ м}$$

Следовательно, при заложении откоса 1:2 устойчивость его достаточна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л., "Недра", 1970.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., "Недра", 1965.
3. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Знантчиков Р.С., Осипов В.И., Трофимов В.Г., Грунтоведение, М., Изд-во МГУ, 1971.
4. Строительные нормы и правила. СНиП П-Б I-62. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М., Госстройиздат, 1962.
5. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог (СН-449-72). М., Оргтрансстрой, 1973.
6. Строительные нормы и правила, часть II, раздел 4, глава I, Железные дороги, нормы проектирования (СНиП П-Д I-62). М., Изд-во литературы по строительству, 1964.
7. Технические условия сооружения железнодорожного земляного полотна (СН 61-59). М., Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1960.
8. Альбом типовых поперечных профилей земляного полотна вновь строящихся железных дорог. И., Главтранспроект, 1964.
9. Руководство по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и отвалов. Л., изд. ВНИИМ, 1962.
10. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л., изд. ВНИИМ, 1972.
11. Савков Л.В. Расчет устойчивости откосов в слоистых трещиноватых породах. "Физико-механические проблемы разрабатываемых полезных ископаемых", № 5, новая серия, "Наука", 1965.
12. Савков Л.В. К вопросу учета трещиноватости при расчетах устойчивости откосов в слоистых породах. "Физико-

технические проблемы разработки полевых ископаемых", № 1. Новосибирск, "Наука", 1967.

13. Звонарев Н.И., Качермазова С.В. Предварительный расчет параметров осниения откосов на варьерах в результате выветривания. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, № 12. М., изд. МГРИ, 1969.

14. Методические указания по оценке местной устойчивости откосов и выбору способов их укрепления в различных природных условиях. М., изд. ЦНИИСа, 1970.

15. Матвеев Б.В. Методика лабораторного определения свойств горных пород на сдвиг (срез). Л., изд. ВНИИ, 1961.

16. Протодинянов М.М., Хойфман М.И., Чирков С.Е., Кунтыш М.Ф., Тадер Р.И. Паспорта прочности горных пород и методы их определения. М., "Наука", 1964.

17. Чирков С.Е. Влияние масштабного фактора на прочность углей. М., "Наука", 1969.

18. Методические указания по производству натуральных испытаний сопротивления сдвигу неоднородных слоистых и трещиноватых пород. Л., изд. ВНИИ, 1965.

19. Методическое пособие по натурным методам механических испытаний горных пород. Л., изд. ВНИИ, 1969.

20. Барон Л.И., Логунцов Б.М., Мозин Е.З. Определение свойств горных пород. Госгортехиздат, 1962.

21. Методические указания по исследованию скальных массивов при изысканиях дорог. М., изд. ЦНИИСа, 1967.

22. Предложения по совершенствованию норм проектирования скальных взрывок. М., изд. ЦНИИСа, 1968.

23. Методика инженерно-геологического исследования оползней на железных дорогах. "Вопросы геотехники", № 14. Днепропетровск, 1969.

24. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. М., Оргтрансстрой, 1973.

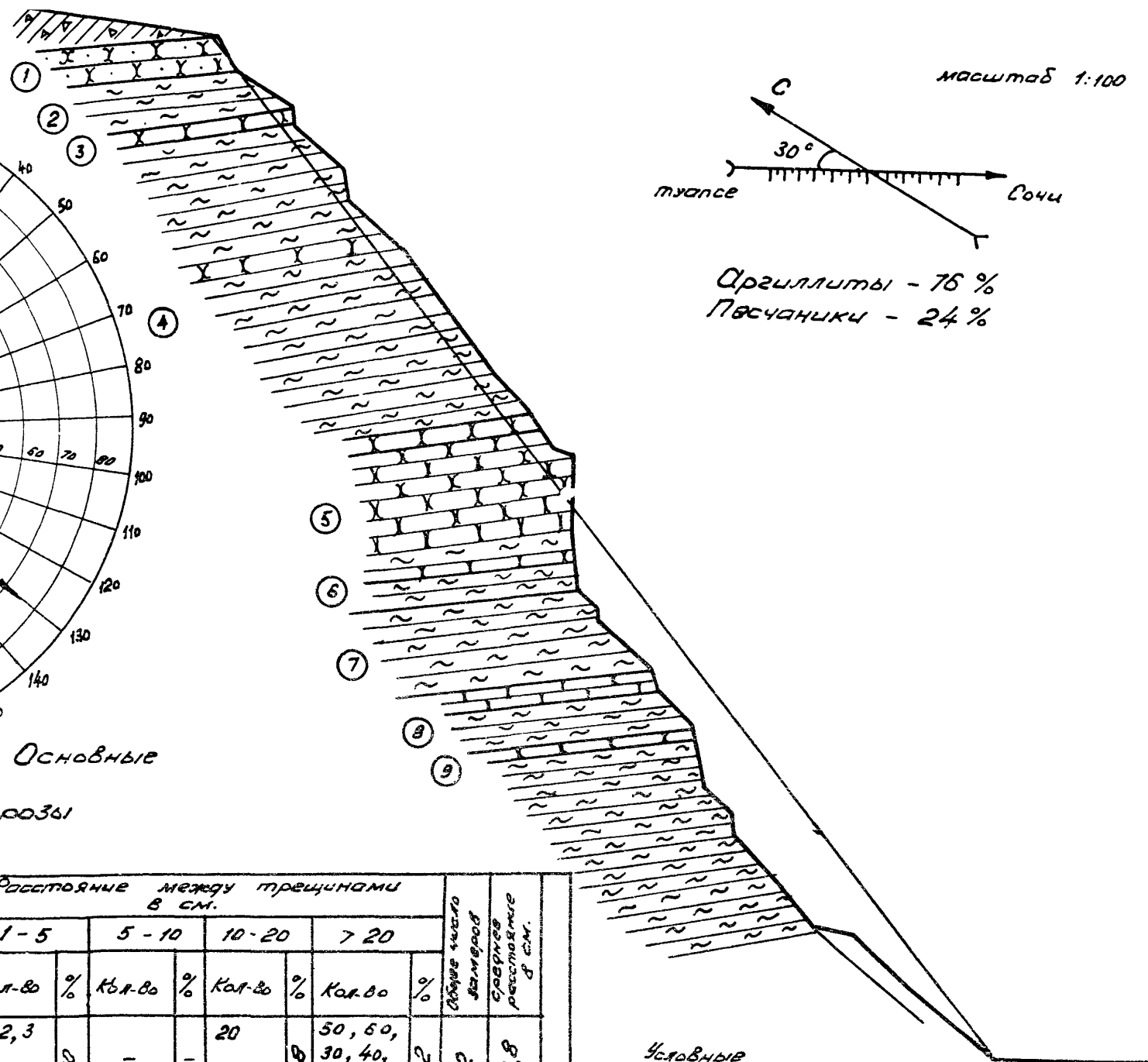
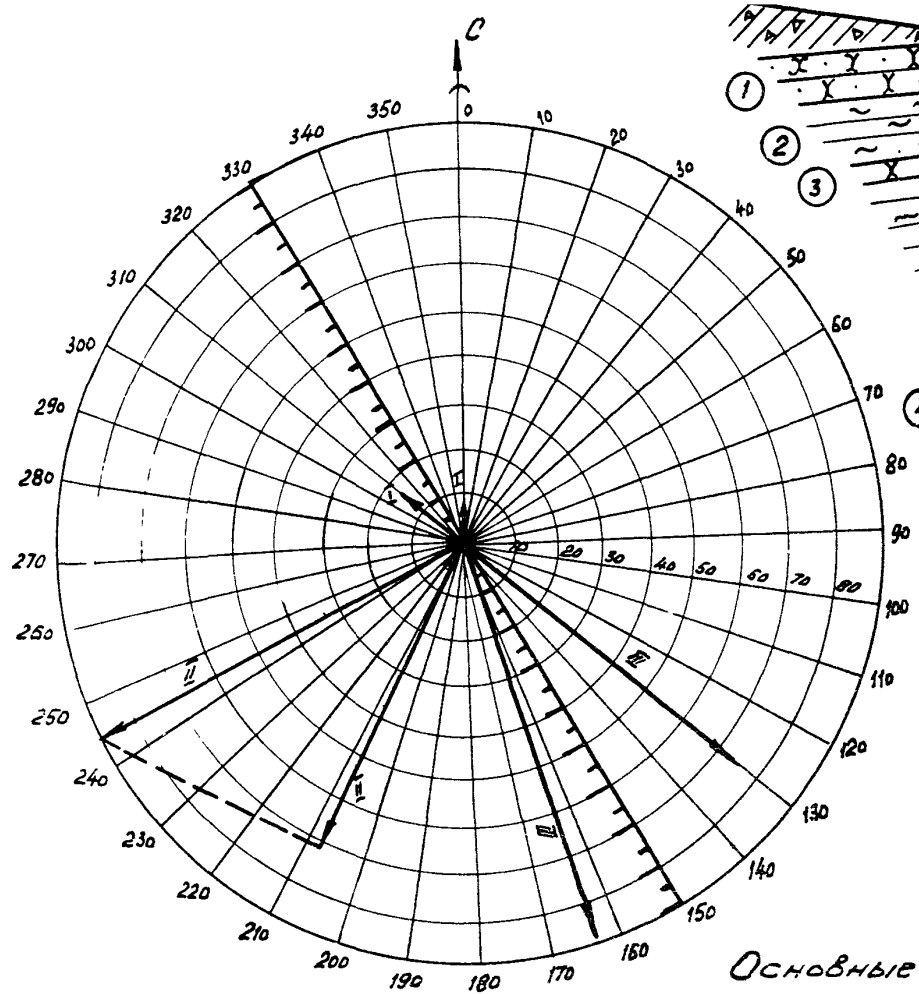
25. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, М., "Экономика", 1969.

26. Мочалов А.М. Определение ширины призмы обрушения плоского откоса. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", № 4. Новосибирск, "Наука", 1968.
27. Мочалов А.М. Расчет устойчивости слоистых откосов. Труды ВНИМИ, сб.83, Л., изд. ВНИМИ, 1971.
28. Козленко П.Д. Расчет устойчивости слоистых откосов. Труды ВНИМИ, сб.58, Л., изд. ВНИМИ, 1966.
29. Козленко П.Д. Расчет углов наклона бортов карьеров в условиях анизотропных пород. Труды ВНИМИ, сб.38, Л., изд. ВНИМИ, 1960.
30. Белов Ю.Д. Определение прочности горных пород динамическими пробниками. Труды ВНИМИ, сб.60, Л., изд. ВНИМИ, 1966.
31. Кагермазова С.В. Некоторые результаты изучения выветривания горных пород на карьерах. Труды ВНИМИ, сб.64, Л., изд. ВНИМИ, 1968.
32. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л., изд. ВНИМИ, 1971.
33. Славянов В.Н. инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов. М., Изд-во литературы по строительству, 1964
34. Кузаев Н.Н. Влияние трещиноватости на устойчивость бортов карьеров. "Научные записки УкрНИИпроекта", вып.10, Киев, 1963.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. Инженерно-геологические свойства легковыветривающихся скальных пород и особенности проектирования откосов в них	4
2. Расчет общей устойчивости откосов выемок..	9
3. Оценка местной устойчивости.....	21
4. Прочностные параметры скальных пород и методы их определения.....	27
5. Возможные типовые и индивидуальные решения	34
6. Характер и объем инженерно-геологических исследований.....	37
П Р И Л О Ж Е Н И Я	
1. Методика классификации пород по степени устойчивости к выветриванию.....	40
2. Методика нахождения оптимального очертания откосов выемок.....	44
3. Номограммы для оценки общей устойчивости откосов.....	46
4. Последовательность выполнения расчетов общей устойчивости откосов по схеме IX.....	57
5. Последовательность выполнения расчетов общей устойчивости откосов по схеме X.....	61
6. График для определения коэффициентов А и Б при расчетах местной устойчивости ..	66
7. Использование динамического пробника для получения расчетных параметров ускоренным методом.....	67
8. Значения $\rho_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления.....	69
9. Значение $\sigma_{тр}$ при отсутствии заполнителя по контактам поверхностей ослабления.....	70
10. Примеры расчета общей устойчивости откосов выемок.....	71

Редактор Г.А.Михина
Корректоры М.Ф.Шувалова, О.Д.Сухова
Подп. к печ. 12.XI.73г. № Л-77149
Заказ 383 . Объем 5п.л.+1 вкладка.
Тираж 800 экз. Ротапринт ЦНИИСа



Система трещиноватости	Полнота выветривания	Степень падения	Характеристика трещин	Расстояние между трещинами в см.								Среднее число трещин на 1 м²	Среднее расстояние между трещинами в см.
				1 - 5		5 - 10		10 - 20		7 20			
				Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%		
I	355 - 310	5 - 14	ширина до 3 мм. шероховат. - среднее обводнение - сухое	1, 2, 3 1, 2, 3	50	-	-	20	0	50, 60, 30, 40, 50	42	12	21, 8
II	207 - 245	72 - 90	ширина - до 2 мм. шероховат. - среднее буристая обводнение - сухое	3, 4, 5, 3 4, 5, 3, 5 3, 4, 5.	73	10, 8, 9, 10	27	-	-	-	-	15	5, 4
III	130 - 163	72 - 90	ширина - волнистые шероховат. - среднее обводнение - сухое	3, 4, 5	16	10, 10, 8, 9, 10, 6, 7, 8, 9, 10, 8, 9, 10	68	-	-	30, 40, 50	16	19	13

Сред. = 13, 4 см.

Условные обозначения:

Линия откоса

К примеру расчета общей устойчивости откоса