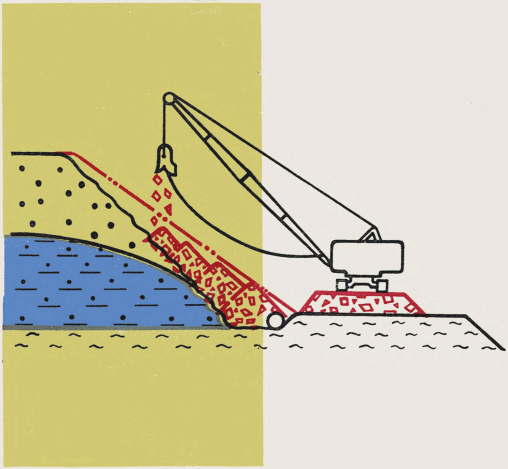

Методические рекомендации по укреплению откосов на карьерах пригрузкой скальными породами

Белгород 1981

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР
Управление горного производства

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу
В И О Г Е М

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
И.Ф.ОКСАНИЧ
II декабря 1981 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УКРЕПЛЕНИЮ ОТКОСОВ НА КАРЬЕРАХ ПРИГРУЗКОЙ СКАЛЬНЫМИ ПОРОДАМИ

Белгород 1981

УДК 622.83(06)

В рекомендациях приведены методы определения устойчивости откосов, укрепляемых пригрузкой скальными породами, и параметров пригрузочных призм, зависимость сопротивления сдвигу насыпи из скальных пород от положения контактов между кусками пород, слоистости и плотности их укладки. Даны рекомендации по формированию наиболее прочной структуры тела насыпи, изложены требования к выполнению пригрузочных призм, приведены рациональные технологические схемы их сооружения.

Работа выполнена кандидатами технических наук В.П.Будковым, П.И.Мануйловым и инженерами В.Ф.Кузнецовым, С.Ф.Татаринцевой. Утверждена секцией НТС ВИОГЕМ 26 сентября 1979 года в качестве методических рекомендаций.

©Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), 1981.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом одним из основных факторов, определяющих эффективность ведения горных работ, является угол наклона борта на предельном контуре. Из практики ведения горных работ следует, что углы наклона устойчивых бортов карьеров, сложенных рыхлыми, зачастую обводненными отложениями, имеют относительно низкие значения (в пределах 17–22°), что объясняется сравнительно малой прочностью горных пород.

Непрерывное увеличение удельного веса разработки полезных ископаемых открытым способом, увеличение глубины карьеров и сроков службы их бортов, освоение месторождений со сложными инженерно- и гидрогеологическими условиями вызывают необходимость разработки мероприятий по обеспечению длительной устойчивости уступов, бортов, по увеличению углов наклона нерабочих бортов.

К настоящему времени разработано большое число способов укрепления горных пород, грунтов, но в горном производстве применяются лишь некоторые из них [II] . Наиболее простым, эффективным, технологичным и дешевым является укрепление откосов нерабочих бортов путем пригрузки их скальными породами. Этот способ укрепления известен давно, однако он не нашел широкого применения ввиду отсутствия технических требований, рациональных технологических схем сооружения пригрузочных призм и бытующего мнения о его ненадежности, которое сложилось вследствие неудачных случаев укрепления при неправильном выполнении пригрузочных призм. Параметры пригрузочных призм определялись путем поверочных расчетов (методом проб) , общеизвестными способами расчета устойчивости откосов.

Отсутствие обоснованных методических рекомендаций по укреплению откосов на карьерах, в частности путем пригрузки скальными породами , приводило к несогласованности при решении вопросов укрепления откосов при проектировании, строительстве и эксплуатации карьеров и в определенной степени тормозило широкое применение и дальнейшее развитие способа укрепления откосов пригрузкой скальными породами.

При составлении настоящего руководства авторы попытались восполнить этот пробел, основываясь на результатах исследований ВИОГЕМ, ВНИМИ, УНИпромедь и опыте укрепления откосов в рыхлых отложениях пригрузкой их скальными породами.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Прочность массива рыхлых пород значительно снижается вблизи поверхности откосов за счет разуплотнения, набухания и выветривания вследствие снятия нагрузки от веса вышележащих пород, повторяющегося промерзания-оттаивания, набухания-высушивания. Существенное влияние на разупрочнение песчано-глинистых отложений оказывают грунтовые воды.

В результате воздействия подземных вод развиваются фильтрационные деформации: вынос песков, оплывание потерявших прочность водонасыщенных рыхлых пород. Сползающие по откосу глинистые породы перекрывают выходы воды из дренирующих слоев и прослойков, что приводит к повышению уровня воды в приоткосной зоне, дополнительному увлажнению пород и увеличению гидростатического и гидродинамического давлений.

Все перечисленное обусловливает снижение степени устойчивости уступов, бортов карьеров и в отдельных случаях приводит к формированию оползней.

I.2. Укрепление откосов пригрузкой скальными породами рекомендуется производить при оформлении уступов, сложенных слабыми, в том числе и обводненными, горными породами (суглинки, глины, песчано-глинистые отложения, пески) для предотвращения поверхностных и глубинных деформаций.

I.3. В зависимости от ожидаемых (прогнозируемых) видов нарушений устойчивости уступов, сроков их стояния выбираются конструкция и параметры пригрузочной призмы. Для предотвращения фильтрационных и поверхностных деформаций уступов нерабочих бортов сооружаются пригрузочные призмы из скальных пород; для предотвращения глубинных деформаций (оползней) отсыпаются контрфорсы-призмы из скальных пород с относительно большой шириной основания, выполняющие функции подпорной стенки; для предотвращения фильтрационных деформаций рабочих уступов сооружаются пригрузочные призмы из щебня, гравия, крупнозернистого песка.

I.4. Основной целью укрепления откосов на карьерах является повышение эффективности горных работ (за счет предотвращения нарушений устойчивости откосов, увеличения результирующего угла наклона нерабочих бортов карьеров) и обеспечение безопасной и бесперебойной работы.

I.5. Технический эффект укрепления откосов, сложенных рыхлыми

отложениями, пригрузкой скальными породами заключается в том, что пригрузочная призма выполняет ряд важных функций:

защищает откос от эрозионного разрушения;

создает давление на откос, что значительно снижает разуплотнение и предотвращает оплывание водонасыщенных пылевато-глинистых пород;

служит контрфорсом для неустойчивого откоса;

при заполнении песком пустот между кусками пород пригрузки является фильтром, препятствующим выносу фильтрующими водами из откоса песчаных и глинистых частиц;

не позволяет развиваться фильтрационным деформациям и предохраняет заиливание дренажных канав;

защищает в зимний период поверхность фильтрующего откоса от промерзания, образования наледей и создает нормальные условия для работы приоткосных дренажных устройств.

I.6. Экономический эффект при укреплении откосов достигается в результате сокращения:

объема вскрышных работ (и затрат средств на них) за счет повышения крутизны нерабочих бортов с закрепленными откосами по сравнению с незакрепленными;

затрат на уборку оползней массы пород и простоев горнотранспортного оборудования.

I.7. Целесообразность укрепления откосов путем пригрузки скальными породами определяется на основании анализа технико-экономических показателей для двух вариантов (при оформлении пологого устойчивого нерабочего борта без пригрузки отдельных уступов и более крутого - с пригрузкой), а также в случае интенсивного развития фильтрационных деформаций на рабочих уступах, затрудняющих ведение горных работ.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ

2.I. Степень устойчивости уступа, борта карьера выражается коэффициентом запаса устойчивости, являющимся отношением суммы удерживающих сил, к сумме сдвигающих, действующих по потенциальной (наиболее вероятной) поверхности разрушения,

$$\eta = \Sigma P_{yg} : \Sigma P_{cg} . \qquad (I)$$

При $\eta < I$ откос неустойчив, $\eta = I$ - находится в предельном состоянии и при $\eta > I$ - устойчив. Если коэффициент запаса устойчивости уступа, борта ниже нормативного, то необходимо разработать и

осуществить мероприятия по обеспечению устойчивости (укрепление, выполаживание и др.).

2.2. Величина нормативного коэффициента запаса устойчивости уступа, борта принимается в зависимости от времени их стояния (таблица [6]).

Общая характеристика откоса (или борта)	Величина коэффициента запаса при службе откоса	
	до 5 лет	более 5 лет
Нерабочий борт, сложенный глинами или трещиноватыми породами	I,20	I,30
Нерабочий борт с преобладанием песчаных и гравелистых пород	I,I5	I,20
Рабочий борт	I,20	-
Откосы рабочих уступов и отвалов	I,20	-
Откосы уступов нерабочего борта, сложенные глинистыми и трещиноватыми породами	I,50	2,00
Откосы уступов нерабочего борта, сложенные песчаными и гравелистыми породами	I,I5	I,20

2.3. В зависимости от геологических и структурных особенностей приоткосного массива потенциальная поверхность разрушения может быть плоской, криволинейной, ломаной и сложной (комбинированной) формы.

В неоднородном (по физико-механическим свойствам) и структурно нарушенном массиве местоположение и форма потенциальной поверхности разрушения определяются по минимальному коэффициенту запаса устойчивости уступа, борта по отношению (I) методом пробных расчетов известными способами [6,I2] .

В однородном, квазиоднородном приоткосном массиве горных пород потенциальная поверхность разрушения имеет криволинейную форму. При оценке степени устойчивости откосов наиболее часто потенциальные поверхности разрушения принимают в виде дуги окружности, способы построения и определения которых общеизвестны [6,I3] .

2.4. Теоретическими [10] и экспериментальными [1,5] исследованиями доказано, что поверхности скольжения в однородном приконтурном массиве пород представляют собой дуги логарифмической спирали [2], полюса O_i которых лежат на продолжении линии откоса (рис.1):

$$r_{ji} = r_{oi}\, e^{\theta_{ji} ctg\mu}$$

или

$$r_{ji} = r_{oi}\, e^{\frac{\pi\theta_{ji}}{180^\circ} ctg\mu}, \qquad (2)$$

где r_{ji} – радиусы-векторы дуги логарифмической спирали, м, (на рис.1 $j = 0,1,\ldots,9$); r_{oi} – начальный радиус-вектор, м.

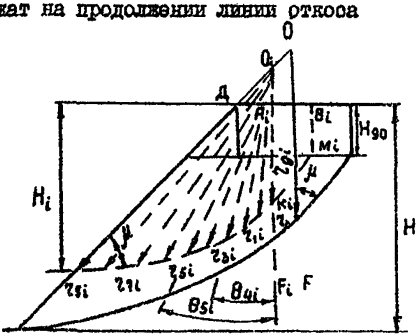

Рис.1. Схема построения поверхности скольжения.

$$r_{oi} = \frac{H_i\,[tg\alpha + tg(45^\circ + \varphi/2)]\cos\alpha - H_{90}\sin\alpha}{A}, \qquad (3)$$

где $$A = \{[tg\alpha + tg(45^\circ + \varphi/2)]\cos\alpha \exp\left(\frac{\pi(90^\circ - \alpha)}{180^\circ} ctg\mu\right) - 1\}\sin\alpha$$

или

$$r_{oi} = \frac{H_i \sin(45^\circ + \alpha + \varphi/2) - H_{90}\sin\alpha\cos(45^\circ + \varphi/2)}{[\sin(45^\circ + \alpha + \varphi/2)\exp\left(\frac{\pi(90^\circ - \alpha)}{180} ctg\mu\right) - \cos(45^\circ + \varphi/2)]\sin\alpha}, \qquad (4)$$

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} ctg\mu; \qquad (5)$$

θ_{ji} – угол поворота ji -го радиуса-вектора (полярный угол), положительное значение при отсчете по часовой стрелке, рад; $\mu = 45^\circ - \varphi/2$ – угол между направлением действия наибольшего главного напряжения и касательной к поверхности скольжения, градус; α – угол наклона откоса уступа, градус; H – глубина залегания точки пересечения поверхности скольжения с линией откоса, м; γ, φ и C – соответственно плотность, (кг/м^3), угол внутреннего трения (градус) и сцепление (МПа) горной породы.

2.5. Для построения поверхностей скольжения в уступе необходимо (см.рис.1):

1) определить ширину призмы обрушения

$$\beta_i = 2A_iB_i = \frac{2(r_{oi} - H_{90})}{tg\alpha + tg(45^\circ + \varphi/2)}; \qquad (6)$$

2) восстановить из середины отрезка $ДB_i$ перпендикуляр A_iO_i до пересечения с продолжением линии откоса в точке O_i (полюс лога-

рифмической спирали):

3) вычислить величину начального радиуса-вектора γ_{oi} по формуле (3) или (4) и отложить в выбранном масштабе на полярной оси (луч $O_i F_i$);

4) вычислить радиусы-векторы ($\gamma_{i1} \div \gamma_{in}$) по формуле (2) в достаточном числе точек, задаваясь значениями θ_{ji} в интервале изменения от 0^0 до α не более чем через 5^0, и отложить на соответствующих лучах;

5) соединить концы радиусов-векторов плавной кривой;

6) через точку пересечения поверхности скольжения с начальным радиусом-вектором γ_{oi} (K_i) проводится прямая $K_i M_i$ под углом μ;

7) через точку M_i проводится вертикальный отрезок $M_i B_i = H_{go}$.

2.6. Поверхности скольжения можно построить с помощью номограммы логарифмических спиралей [4] графическим способом (рис.2):

1) через произвольно выбранную точку E на верхней берме проводится вертикальная линия до пересечения с лучом Д в точке К и с продолжением линии откоса СВ в точке О, которая является полюсом поверхности скольжения, проходящей через точку К (рис.2,а);

2) через точку К под углом $45^0 + \varphi/2$ к горизонтали проводится отрезок КМ;

3) точка О совмещается с общим полюсом номограммы (рис.2,б), чертеж относительно номограммы разворачивается так, чтобы через точку К проходила та спираль, которая соответствует углу внутреннего трения породы, слагающей уступ (этой операцией автоматически учитывается значение γ_{oi});

4) дуга логарифмической спирали, которая поместилась между точкой К и линией откоса СВ (или ее продолжением СР) переносится на чертеж;

5) для построения криволинейных участков поверхностей скольжения под нижней бермой уступа (слева от линии СР) общий полюс логарифмических спиралей номограммы совмещается с точкой С, чертеж относительно номограммы разворачивается так, чтобы через точку Р проходила спираль, соответствующая значению угла внутреннего трения породы.

2.7. Для построения графическим способом поверхности скольжения, проходящей через заданную точку на линии откоса, необходимо предварительно определить местоположение вертикали ОЕК, проходящей через середину призмы обрушения, воспользовавшись формулой (6) или методом "пробных построений".

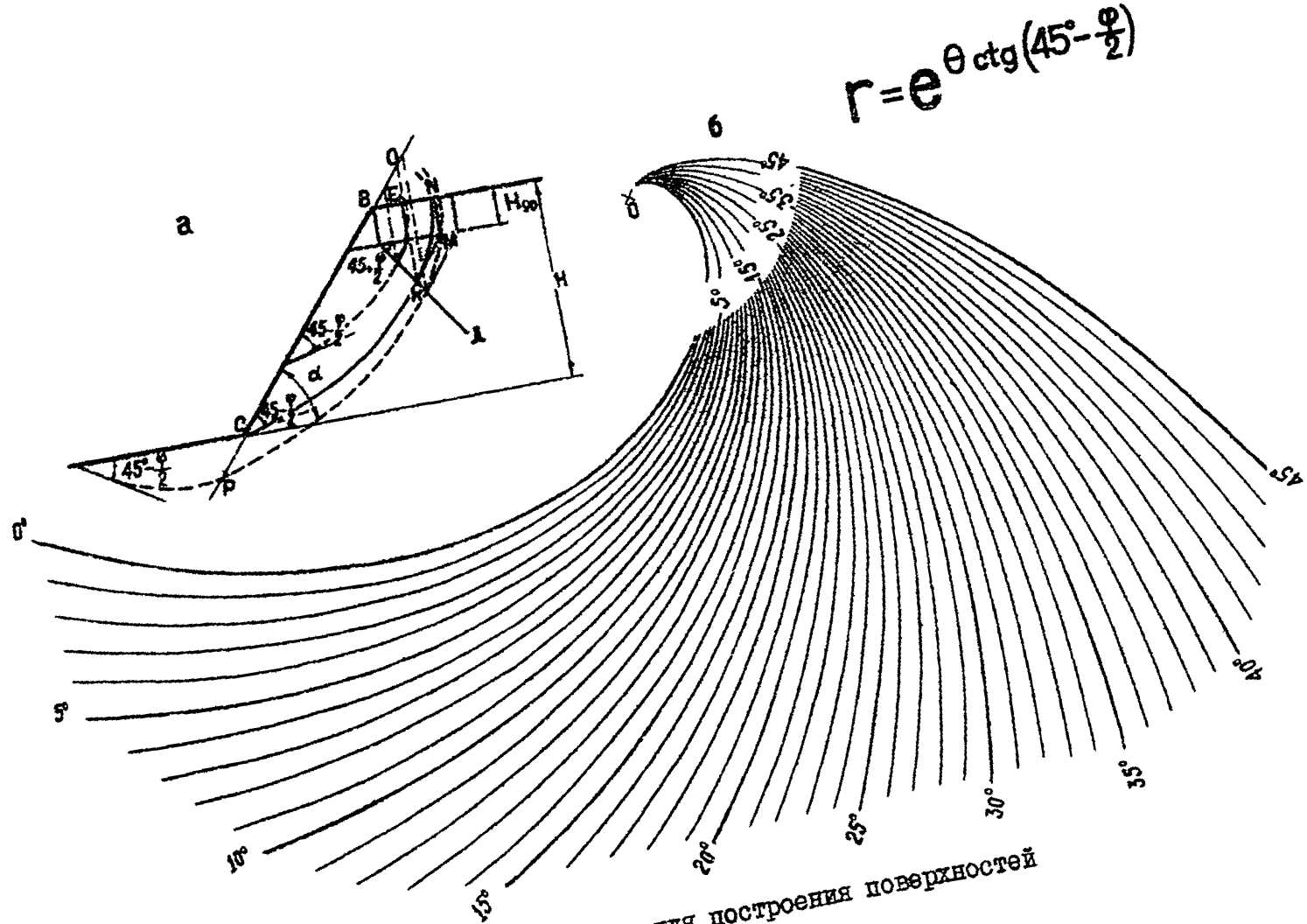

Рис. 2. Номограмма для построения поверхностей скольжения.

В однородных уступах потенциальной поверхностью разрушения является поверхность скольжения, проходящая через его нижнюю бровку [2,I2], поэтому вычисления и построения при нахождении потенциальной поверхности разрушения выполняются при $H_i = H$ (H – высота уступа).

2.8. Для определения сумм сдвигающих (ΣP_{cg}) и удерживающих (ΣP_{yg}) сил оползневая призма в неоднородном массиве пород разбивается на вертикальные блоки (рис.3). При плавной поверхнос-

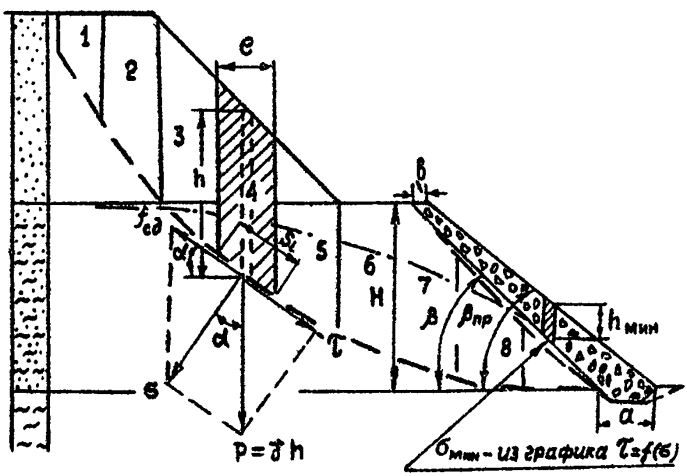

Рис.3. Схема расчета устойчивости пригруженных уступов.

ти скольжения производится алгебраическое суммирование соответствующих сил, действующих на блоки, известным способом [6,I2], при ломаной или сложной поверхности скольжения рекомендуется использовать графический способ ("многоугольника сил") [6,I2] .

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИГРУЗОЧНЫХ ПРИЗМ

3.I. Параметры призм для предотвращения поверхностных деформаций

3.I.I. В условиях, когда ожидаются поверхностные деформации

откоса (оплывины, осыпание и др.), вызванные в основном снижением прочности горных пород в приоткосной зоне вследствие разуплотнения, набухания, выветривания (рис.4), с целью обеспечения его длительной устойчивости рекомендуется производить пригрузку. Параметры пригрузочной призмы определяются с учетом перечисленных факторов

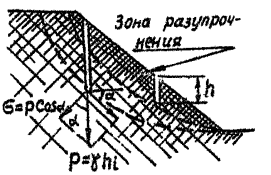

Рис.4. Разупрочнение приоткосного массива горных пород.

через показатели прочности в увязке с проектируемыми параметрами уступов.

3.I.2. В целях оттройки нерабочего борта с наибольшим углом наклона в проектах принимают максимально допустимые параметры уступов. Высоту уступов в песчано-глинистых породах обычно принимают равной I0-I5 м. При такой высоте кратковременная устойчивость неукрепленного откоса обеспечивается при углах его наклона 50-40°.

В данных условиях пригрузочную призму сооружают с минимально допустимой шириной основания и наибольшей крутизной ее откоса, равной углу естественного откоса ($\beta_{пр}$ =35÷ 40°) материала пригрузки. При этом ширина призм (толщина пригрузочного слоя) увеличивается к основанию откоса, что соответствует возрастающему к низу оползневому давлению укрепляемого откоса.

3.I.3. Показатели сопротивления пород сдвигу в нетронутом массиве (изменение при приближении к поверхности откоса) определяются из паспорта прочности (рис.5), построенного по результатам испытаний горных пород, находящихся в различных зонах плотности-влажности (в зависимости от глубины их залегания от поверхности). Из графика на рис.5 видно резкое снижение сопротивления сдвигу τ_2 в приповерхност-

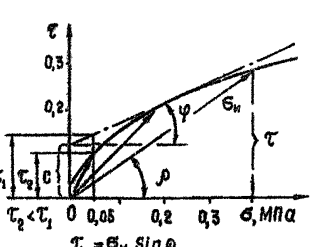

Рис.5. Паспорт прочности горных пород.

ной зоне относительно его значений τ_1, определяемых обычно по постоянным средним величинам сцепления C и угла внутреннего трения φ по формуле Кулона.

3.I.4. В расчетах устойчивости пригрузочной призмы сопротивление сдвигу τ_2 по контакту с породами откоса определяется непосредственно из графика (при нелинейной зависимости $\tau=f(\sigma_n)$) прочности приконтактного слоя глинистых пород для соответствующего нормального напряжения (например 0,05 МПа) на поверхности сдвига.

3.I.5. Минимальная толщина слоя скальной пригрузки h_{min} (см. рис.3) в заданной точке определяется исходя из необходимой величины нормального давления на откос, достаточного для предотвращения разупрочнения пород в приповерхностной зоне (руководствуясь, например, величиной давления набухания и др.) и обеспечения устойчивости по контакту порода – скальная пригрузка. Приближенное значение h_{min} можно определить по формуле

$$h_{min} = \frac{\sigma_{min}}{\gamma_{пр}\cos\beta}, \qquad (7)$$

где $\gamma_{пр}$ – плотность материала пригрузки, кг/м^3; β – угол наклона откоса уступа, градус; σ_{min} – минимальное нормальное напряжение (давление), которое необходимо создать на поверхности откоса (для песчано-глинистых пород, по экспериментальным данным, $\sigma_{min} = 0{,}03 \div 0{,}05$ МПа).

3.I.6. Ширина призмы (a – понизу, b – поверху) определяется по величине отрезков, отсекаемых (на горизонтах нижней и верхней площадок уступа) прямой, проведенной через верхний конец отрезка h_{min} (в заданной точке) под углом $\beta_{пр}$ к горизонту.

3.I.7. Параметры пригрузочной призмы из песчано-гравийного материала, хвостов обогатительных фабрик и т.п., сооружаемых на рабочих уступах, определяются по следующим формулам [8]:

$$a = \frac{h_в}{A}\left(\frac{\bar{a}}{2\gamma_п A} + \frac{K}{K_п}\right); \quad h_п = 1{,}1 \div 1{,}2\, h_в, \qquad (8)$$

где $A = \sin\alpha\,(1 - \frac{K}{K_п}\cos\alpha)$; $h_в = (m+0{,}5)\frac{q}{K}$ – высота высачивания подземных вод в откосе, м; q – удельный расход потока подземных вод в откосе, м^3/с; α и m – соответственно угол наклона и горизонтальное заложение откоса уступа; $\gamma_п$ – плотность материала пригрузки, кг/м^3; K и $K_п$ – коэффициенты фильтрации горной породы и материала пригрузки, м/с; $\bar{a} = \frac{2\gamma_п}{h_в}\sin^2\alpha$ – показатель,

определяемый из графика (рис.6), кг/м^3; t – ширина необводненной части (по основанию) пригрузочной призмы, м; a и $h_п$ – соответственно ширина и высота пригрузочной призмы, м.

Для величин a рекомендуется принимать коэффициент запаса, равный 1,2÷1,4. Если пригружаемый уступ расположен на проницаемом основании, то величина a дополнительно увеличивается на 15%.

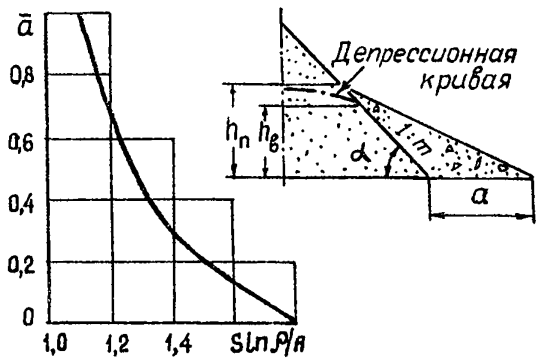

Рис.6. Схема определения параметров пригрузочной призмы из мелкозернистого фильтрующего материала.

3.1.8. После определения параметров пригрузочной призмы выполняется поверочный расчет ее устойчивости на сдвиг по контакту между пригружаемым откосом и слоем материала пригрузки.

Коэффициент запаса устойчивости, если расчеты выполняются с учетом пунктов 3.1.3 и 3.1.4, принимается равным 1,2 – 1,3. Если оценка устойчивости выполняется по расчетным показателям прочности, определенным из прямолинейного паспорта прочности, то коэффициент запаса устойчивости пригруженного уступа и пригрузки должен соответствовать нормативному (см. таблицу).

3.2. Параметры призм для предотвращения глубинных деформаций

3.2.1. Если при заданных параметрах уступа длительная устойчивость его не обеспечивается, то параметры пригрузки (высота $h_п$ и ширина по основанию $a_п$) могут быть определены по приведенным ниже формулам, при выводе которых приняты следующие положения:

а) потенциальная поверхность разрушения в уступе с пригрузкой практически не изменяет форму и местоположение в сравнении с непригруженным уступом (по данным моделирования на оптически чувствительных материалах);

б) в однородных, квазиоднородных уступах потенциальная поверхность разрушения имеет криволинейную форму, проходит через нижнюю бровку и является дугой логарифмической спирали (2) при $H_i = H$;

в) в уступах с явно выраженными поверхностями ослабления, имеющими угол падения в сторону горной выработки, потенциальная поверхность разрушения проходит по одной из поверхностей ослабления;

г) коэффициент запаса устойчивости, определенный по соотношению (I), является усредненной величиной по потенциальной поверхности разрушения;

д) коэффициент запаса устойчивости уступа, который необходимо обеспечить путем его пригрузки, принимается по таблице;

е) в общем случае угол наклона нижней бермы уступа к горизонту $\psi \neq 0$, $\psi > 0$ при отсчете от горизонтальной линии против часовой стрелки.

3.2.2. При плоской (рис.7,а) потенциальной поверхности разру -

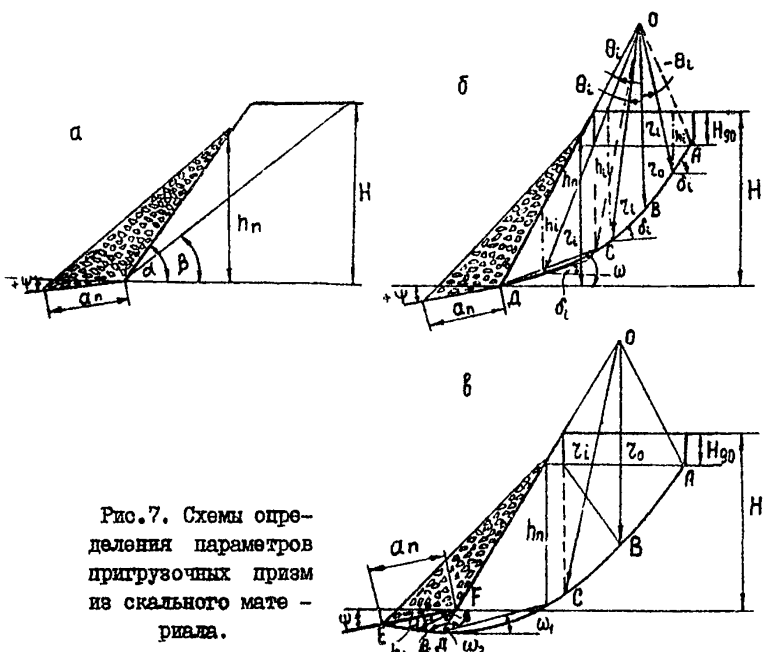

Рис.7. Схемы определения параметров пригрузочных призм из скального материала.

шения (слабый контакт, трещина и т.п.) ширина основания пригрузочной призмы

$$a_п = \sqrt{\frac{M(\eta \sin\beta - \cos\beta tg\varphi_к) - C_к L}{A(\cos\beta tg\varphi_к - \eta \sin\beta) + B(\cos\psi tg\varphi_{кп} \pm \eta \sin\psi)}}, \qquad (9)$$

а высота пригрузки

$$h_п = a_п \frac{Sin(\alpha \mp \psi) Sin\alpha}{Sin(\alpha - \varphi_п)}; \qquad (10)$$

где

$$M = \frac{\gamma_м H^2}{2 Sin\alpha} Sin(\alpha - \beta); \quad L = \frac{H}{Sin\beta}; \qquad (11)$$

$$A = \frac{\gamma_п Sin^2(\varphi_п \mp \psi)\cos\alpha}{2 Sin(\alpha - \varphi_п)\cos\varphi_п}; \quad B = \frac{\gamma_п Sin(\varphi_п \mp \psi)\cos\psi}{2\cos\varphi_п}; \qquad (12)$$

η – заданный нормативный коэффициент запаса устойчивости уступа (в зависимости от срока его службы, см.таблицу); β – угол наклона потенциальной поверхности разрушения к горизонту, градус; $\varphi_м, \varphi_к, \varphi_п$ – соответственно углы внутреннего трения породы, слагающей уступ, по поверхности ослабления (потенциальной поверхности разрушения) и пригрузки, градус; $\varphi_{кп}$ – угол внутреннего трения по контакту основание–пригрузка (если $\varphi_п > \varphi_м$, то $\varphi_{кп} = \varphi_м$, в противном случае $\varphi_{кп} = \varphi_п$), градус; $C_к$ – сцепление по поверхности ослабления, МПа; H, α – соответственно высота уступа, м и угол наклона его откоса, градус; ψ – угол наклона нижней бермы уступа к горизонту (в формулах (9) – (12) знак "+" принимается при $\psi < 0$).

3.2.3. В однородном, квазиоднородном массиве горных пород, которым сложен уступ, потенциальная поверхность разрушения проходит через нижнюю бровку уступа Д (см.рис.7,б) и описывается уравнением (2). В этом случае ширина пригрузочной призмы

$$a_п = \frac{\sqrt{\eta \sum_{i=1}^{n} d_i \sin\delta_i \sum_{i=1}^{n} d_i tg\varphi_м - \sum_{i=1}^{n} C_м \ell_i}}{A(\cos\omega tg\varphi_м - \eta \sin\omega) + B(\cos\psi tg\varphi_{кп} - \eta \sin\psi)}, \qquad (13)$$

а значение $h_п$ определяется по формуле (10), где параметры A и B определяются по формулам (12).

$$d_i = \gamma_м b_i h_i; \quad b_i = \ell_i \cos\delta_i, \qquad (14)$$

где ℓ_i – ширина элементарного вертикального блока; $C_м, \varphi_м, \varphi_{кп}$ – соответственно сцепление, МПа, угол внутреннего трения (градус) горной породы, слагающей уступ, и угол внутреннего трения по контакту порода–пригрузка, градус; в области АОВ (см.рис.7,б)

$$h_i = r_o \frac{\sin\mu\cos\theta_i}{\sin(\mu+\theta_i)} - \frac{r_o H_{go}}{tg\alpha + tg\mu} tg\alpha ; \qquad (15)$$

$$\ell_i = r_o \frac{\sin\theta_i \sin 2\Delta\theta_i}{\sin^2(\mu+\theta_i)} ; \qquad (16)$$

$$\delta_i = 45° + \varphi/2 - \theta_i ; \qquad (17)$$

в области ВОС

$$h_i = r_o \cos\theta_i \exp\left(\frac{\pi\theta_i}{180°} ctg\mu\right) - \frac{(r_o - H_o)tg\alpha}{tg\alpha + tg\mu} ; \qquad (18)$$

$$\ell_i = \frac{r_o\sqrt{1+\ell n^2 r_o}}{\ell n\, r_o}\left[\exp\left(\frac{\pi\theta_{i+1}}{180°} ctg\mu\right) - \exp\left(\frac{\pi\theta_{i-1}}{180°} ctg\mu\right)\right]; \qquad (19)$$

$$\delta_i = 45° + \varphi/2 - \theta_i ; \qquad (20)$$

в области СОД

$$h_i = r_o \frac{\cos(\alpha+\theta_i)}{\cos\alpha} \exp\left(\frac{\pi\theta_i}{180°} ctg\mu\right); \qquad (21)$$

ℓ_i – определяется по формуле (19); r_o – начальный радиус-вектор (определяется по формуле (3) или (4) при $H_i = H$),м; $\mu = 45° - \varphi/2$ – угол между направлением действия наибольшего главного напряжения касательной к потенциальной поверхности разрушения, градус; θ_i – угол поворота радиуса-вектора r_i относительно начального радиуса-вектора r_o (положительные значения при отсчете по часовой стрелке), градус; $\Delta\theta_i$ – выбранный шаг поворота радиуса-вектора (в однородном откосе удобно $\Delta\theta_i$ принять постоянным в пределах 2–5°), градус; ω – угол наклона хорды ДС к горизонту, градус,

3.2.4. Если поверхность разрушения выходит на нижнюю берму , имеет место выпор основания откоса, который необходимо укрепить

путем пригрузки скальным материалом (см.рис.7,в), в этом случае ширина пригрузочной призмы $a_п$ регламентируется шириной призмы выпора: $a_п = (1{,}2 \div 1{,}3)\, a_в$. В связи с этим определяется при заданных значениях ширины пригрузочной призмы и коэффициента запаса устойчивости высота пригрузочной призмы

$$h_п = \frac{\eta \sum_{i=1}^{m} d_i \sin\delta_i - \sum_{i=m+1}^{n} d_i \sin\delta_i - \sum_{i=1}^{n} d_i \cos\delta_i \operatorname{tg}\varphi_м}{A(\cos\omega_1 \operatorname{tg}\varphi_м - \eta \sin\omega_1)} - \frac{B(\cos\omega_2 \operatorname{tg}\varphi_м + \sin\omega_2) - \sum_{i=1}^{n} C_м \ell_i}{A(\cos\omega_1 \operatorname{tg}\varphi_м - \eta \sin\omega_1)}, \quad (22)$$

где $A = \gamma_п a_п \frac{\sin(\varphi_п \mp \psi)}{\cos\varphi_п}$; $B = \gamma_п a_п \frac{\sin(\varphi_п + \psi)\cos\psi}{\cos\varphi_п}$. (23)

Остальные условные обозначения прежние и показаны на рис.7,в.

В областях АОВ, ВОС и СОД значения $d_i, \ell_i, \theta_i, h_i, \delta_i$ определяются соответственно по формулам (I4) – (2I).

В области ДFЕ значения θ_i и d_i определяются по формулам (I4):

$$h_i = 2a_п \exp\left[-\frac{\pi(90° - \alpha)}{180°} \operatorname{ctg}\mu\right]; \quad (24)$$

$$\ell_i = a_п \frac{\sqrt{1+\ell_п^2}\, a_п}{\ell_п a_п}\left[\exp\left(-\frac{\pi\theta_{i+1}}{180°}\operatorname{ctg}\mu\right) - \exp\left(-\frac{\pi\theta_{i-1}}{180°}\operatorname{ctg}\mu\right)\right]; \quad (25)$$

$$\delta_i = \alpha - \psi - \theta_i; \quad (26)$$

$$\omega_2 = \alpha \pm \psi + \arcsin \frac{\sin(\alpha \mp \psi)}{\sqrt{1 - 2\cos(\alpha \mp \psi)\exp\left(-\frac{\pi\alpha}{180°}\operatorname{ctg}\mu\right) + \exp\left(-\frac{2\pi\alpha}{180°}\operatorname{ctg}\mu\right)}}; \quad (27)$$

$$\omega_1 = \alpha - 45° + \varphi/2. \quad (28)$$

Если в результате расчета получилось, что $h_п > H$, то расчет необходимо повторить, приняв большее значение ширины пригрузочной призмы.

3.2.5. Приведенные формулы позволяют определить параметры пригрузочных призм при заданных коэффициенте запаса устойчивости укрепляемого уступа и его параметрах практически для всех случаев, которые могут иметь место в практике горного производства. Реализация расчетных формул на ЭЦВМ дает возможность быстро и однозначно определять искомые параметры.

4. ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ И УГЛА НАКЛОНА ОТКОСА ПРИГРУЗОЧНОЙ ПРИЗМЫ ОТ ВИДА УКЛАДКИ КУСКОВ ПОРОД

4.I. Куски скальных пород, образовавшиеся в результате разрушения массива трещиноватой и слоистой структуры имеют большей частью угловатую (с плоскими гранями) и плитчатую форму. При отсыпке ложатся на откос преимущественно плоскими сторонами, параллельно его поверхности. В результате определенной ориентировки граней кусков породы формируется слоистая структура тела насыпи. Угол падения слоев равен углу наклона естественного откоса насыпи, что отрицательно сказывается на устойчивости пригрузочной призмы.

4.2. Сопротивление сдвигу в теле насыпи обломочных несвязных пород зависит от характера зацепления угловатых кусков пород, который обусловливается порядком их укладки. На рис.8 показано влияние наклона контактных поверхностей кусков в слоистой структуре насыпи (кладки) на показатель зацепления кусков и устойчивость откосов.

Важнейшим параметром в сопротивлении сдвиговому смещению является угол зацепления ρ, т.е. угол наклона площадок контакта выступов к направлению сдвигающего усилия (рис.8). Углы наклона устойчивых откосов насыпи (кладки) соответствуют углам зацепления кусков пород. Противоположные откосы одной и той же насыпи кусковатых пород наклонными слоями могут иметь разные максимальные углы наклона β_1, β_2 (см.рис.8,а) вследствие различных углов зацепления. Угол откоса искусственной кладки из кусков плитчатой формы можно довести до 90° (см.рис.8,б).

От угла зацепления зависит истинная величина нормального напряжения $\sigma_и$ по элементарным площадкам смещения (сдвига), которое формируется за счет нормального (к номинальной поверхности 0-0') давления (напряжение σ) и сдвигающего усилия (напряжение сдвига τ). Величина $\sigma_и$ является векторной, равной сумме векторов σ и τ. В зависимости от угла зацепления кусков породы сопротивление сдвигу в теле насыпи можно определить из следующего выражения:

$$\tau = \sigma_и \sin \rho . \qquad (29)$$

Общее сопротивление сдвигу насыпи обломочных несвязных пород по некоторой поверхности представляет собой суммарную величину

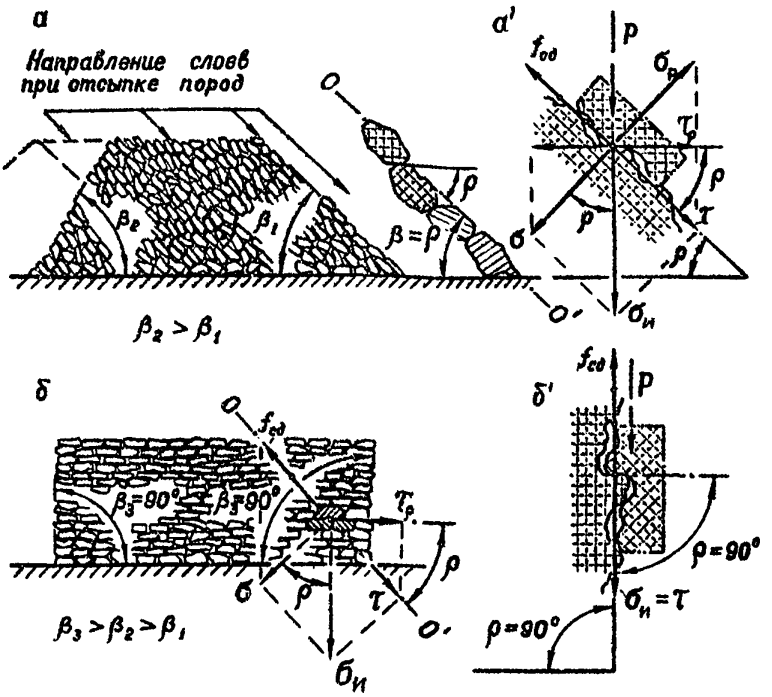

Рис.8. Влияние отруктуры насыпи (кладки) на показатель зацепления кусков пород и угол наклона откоса.

элементарных сил сопротивления сдвигу, действующих по элементарным площадкам поверхности смещения. Оно возрастает при уплотнении кусков породы, так как при этом увеличивается количество и объем выступов, входящих в зацепление и противодействующих сдвигу.

4.3. Устойчивость пригрузочной призмы и угол наклона ее откоса можно увеличить путем:

отсыпки (укладки) призмы в порядке, создающем условия для повышения угла зацепления кусков пород и исключающем неблагоприятно ориентированную слоистость относительно направления сдвигающих сил;

повышения плотности укладки кусков и последующего заполнения

пустот между ними песком, препятствующего повороту и сдвигу кусков в теле насыпи.

5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПРИГРУЗОЧНЫХ ПРИЗМ

5.I. В качестве материала для сооружения пригрузочных призм на нерабочих бортах рекомендуется применять крепкие, устойчивые к выветриванию взорванные скальные породы с относительно большим удельным весом.

5.2. Экономически целесообразно в качестве материала для пригрузки использовать разрабатываемые в карьерах наряду с рудным сырьем породы скальной вскрыши: боковые породы (при разносе бортов), пустые породы, вклинивающиеся в рудное тело. Например, на карьерах КМА к таким породам относятся безрудные кварциты, невыветрелые сланцы, песчаники, гранито-гнейсы и другие крепкие породы.

5.3. Допускаются к применению неклассифицированные кусковатые горные скальные породы с крупностью кусков в пределах I0 – 50 см с примесью меньшей их фракции до 20%. В качестве заполнителя пустот между кусками пород, служащего также фильтром и материалом для предохранения откоса от промерзания, рекомендуется использовать разнозернистые пески и отходы фабрик обогащения (хвосты).

5.4. Для сооружения нижней части призмы рекомендуется использовать относительно крупные куски пород с последующим заполнением пустот между ними мелким материалом (щебнем, гравием, песком) с целью повышения сопротивления сдвигу. На участках с интенсивным высачиванием подземных вод используются песок, гравий и щебень для устройства обратного фильтра.

5.5. Рабочие уступы на участках развития фильтрационных деформаций рекомендуется пригружать крупнозернистыми песками, гравием, щебнем, хвостами и т.п.

6. ТРЕБОВАНИЯ К СООРУЖЕНИЮ ПРИГРУЗОЧНЫХ ПРИЗМ

6.I. Параметры пригрузочных призм определяются для конкретных инженерно-геологических и горнотехнических условий методами, изложенными в разделе 3, или пробных расчетов (подбора).

6.2. При сооружении пригрузочной призмы на нерабочих бортах

материал пригрузки должен укладываться в период отсутствия атмосферных осадков на свежеобнаженные поверхности откоса и основание под призму вслед за выполнением заоткоски или на откосы, очищенные от разуплотненных пород вследствие длительного (более 2 - 3 недель) их стояния при относительно больших углах наклона откосов уступов в малопрочной породе. При повышенной влажности пород, в период выпадания атмосферных осадков, максимальный срок стояния откоса непригруженным после заоткоски сокращается до 3 - 7 дней.

При сильно обводненных породах и на рабочих уступах для предотвращения фильтрационных деформаций пригрузочная призма формируется незамедлительно - по мере продвигания забоя экскаватора.

6.3. В случае задержки в подготовке к выполнению пригрузки откосов на предельном контуре карьера рекомендуется не производить выемку пород в узкой приконтурной полосе, а начать (или продолжать) ее одновременно с выполнением работ по заоткоске и незамедлительной пригрузке свежеобнаженной поверхности откоса.

6.4. Учитывая кратковременное стояние откоса в непригруженном состоянии (до сооружения контрфорса) при определении его угла наклона можно принять коэффициент запаса устойчивости равным 1,05-1,10.

6.5. Основание пригрузочной призмы необходимо заглублять в массив слабых пород не менее чем на 0,5 м на участках минимальной глубины канавы с целью предотвращения смещения (одвига) призмы по нижней берме уступа. В этом случае пригрузочная призма будет упираться в борт приоткосной канавы, а основанием ее - служить дно канавы. При сооружении контрфорса на слабом основании устраивается свайный фундамент [11] .

6.6. Выемка в виде канавы с соответствующим продольным уклоном, заполненная кусками пород и фильтрующим материалом между ними, (приоткосная канава) может служить одновременно и закрытой дренажной канавой, защищенной от заиливания и промерзания. При этом не требуется расширение площадки уступа, обусловливающее выполаживание борта, но необходимо предусматривать отвод (спуск) воды из канавы

6.7. В случае необходимости выполнения прибортовых дренажей для приема и отвода воды, высачивающейся на откосы, следует руководствоваться указаниями, приведенными в работах [7,8] .

6.8. При определении угла наклона неукрепленного откоса необходимо принимать высоту уступа с учетом глубины приоткосной ка-

нами.

6.9. Не допускается отсыпка всей призмы с верхней площадки уступа в виду того, что скатывающимися и сползающими кусками пород разрушается и сдвигается поверхностный слой слабых пород откоса. Смешивание крепкого материала пригрузки с рыхлой (иногда водонасыщенной до текучего состояния) массой пород снижает фильтрующую способность пригрузки, разобщает куски пород, что уменьшает сопротивляемость их сдвигу и устойчивость пригрузочной призмы.

6.10. Пригрузочная призма должна возводиться (формироваться) снизу вверх, при этом соблюдается порядок укладки (отсыпки) кусков скальных пород, обеспечивающий наилучшее их зацепление и исключающий формирование слоистости в теле призмы, параллельной плоскости откоса (см.разделы 4 и 7).

6.11. Допускается отсыпка пород с верхней площадки уступа только после возведения нижней, составляющей не менее одной третьей всей высоты пригрузочной призмы. Отсыпка должна производиться в виде заходки путем наращивания торца призмы, при этом слоистость располается вкрест простирания укрепляемого откоса.

6.12. Рекомендуется пригрузочную призму формировать из кусков пород, крупностью до 50 см, пустоты в основании призмы заполнять щебнем и песком с незначительным допустимым содержанием глинистых частиц. Объем песка составляет 15-20% от объема скальных пород.

6.13. На откос пригрузочной призмы необходимо отсыпать слой разнозернистого песка с целью заполнения пустот между кусками пород и защиты от замерзания воды в приоткосной зоне (при этом общая толщина скального и утепляющего слоев на участках фильтрации воды должна быть не менее глубины промерзания пород в данных климатических условиях).

7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЯ ПРИГРУЗОЧНЫХ ПРИЗМ

7.1. Технологические схемы сооружения пригрузочных призм (контрфорсов) выбираются и разрабатываются в зависимости от горнотехнических условий и имеющегося на предприятии горнотранспортного оборудования.

7.2. При укреплении уступа с относительно высоким углом наклона (40-50°) пригрузкой скальными породами сооружение пригрузочной призмы можно осуществить автосамосвалами и бульдозерами (рис.9,а). Взорванные скальные породы из забоя доставляются к месту произво-

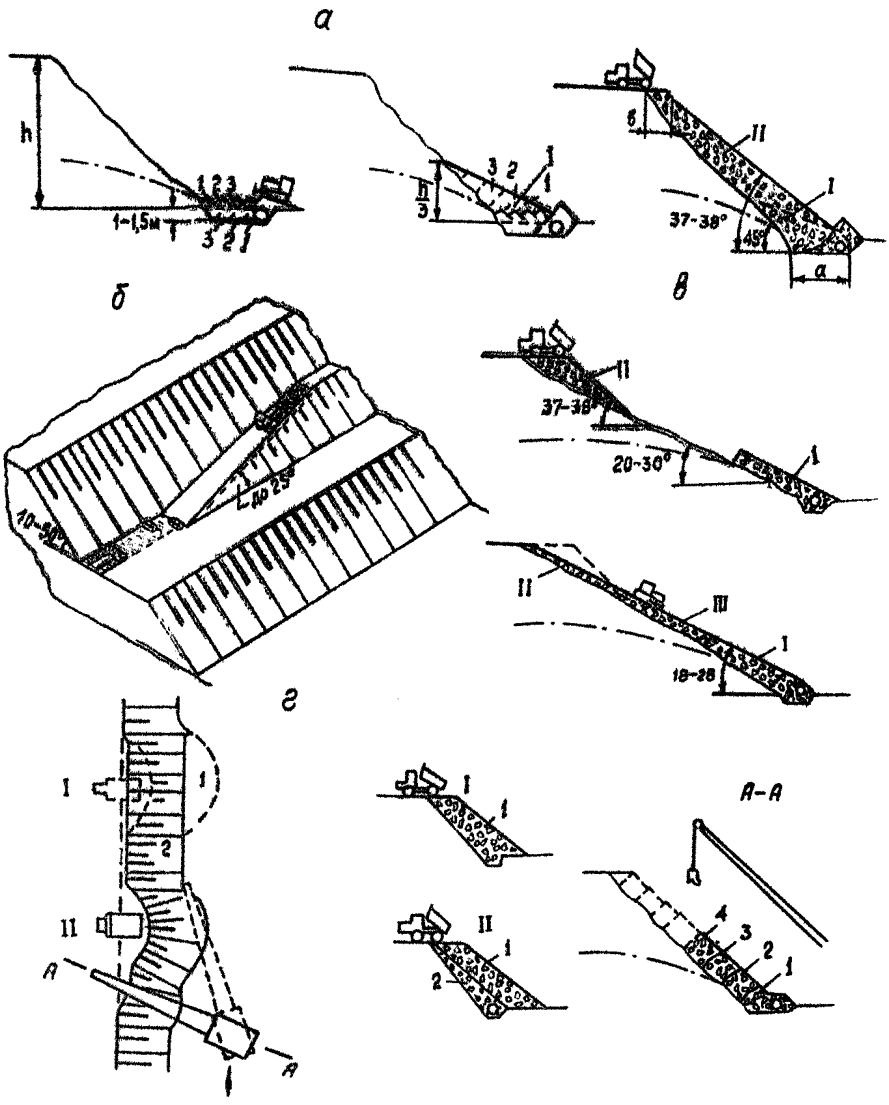

Рис.9. Схемы сооружения пригрузочных призм из скальных пород: а – основание и нижняя часть (I) выполняются бульдозером поперечным ходами, верхняя часть (II)– самотеком по крутому откосу; б – основание и нижняя часть (I)– бульдозером или автосамосвала – ми продольными ходами и наклонными слоями; в– бульдозером по пологому откосу;г –экскаватором, наращиванием призмы в последовательности I,2,3,4 и т.д. из пород, временно размещаемых на пригруженном откосе.

дства пригрузочных работ автосамосвалами. Материал пригрузки складируется в нужном объеме во временные насыпи на нижней площадке уступа, из которых формируется нижняя часть I пригрузочной призмы. Заполнение приоткосной канавы до уровня отметки площадки производится бульдозером. Затем отсыпается слой в виде конусов (позиции I, 2,3) непосредственной разгрузкой самосвалов. Наращивание нижней части пригрузки (не менее 0,3 высоты уступа) производится бульдозером с соблюдением правил по безопасному ведению горных работ [3] . Верхняя часть II (0,7 высоты уступа) пригрузочной призмы формируется непосредственно разгрузкой самосвалов на откос или сталкиванием материала пригрузки бульдозером, при этом соблюдается требование, изложенное в п.6.II.

7.3. Описанная технологическая схема возможна и в комбинации: железнодорожный транспорт (доставка материала пригрузки на верхнюю и нижнюю площадки уступа) - бульдозер. В этом случае нижняя (I) и верхняя (II) части пригрузочной части формируются бульдозером.

7.4. Нижнюю часть пригрузочной призмы можно формировать наклонными слоями путем продольного перемещения материала пригрузки (см. рис.9,б) ходами бульдозера на подъем. В этом случае насыпь уплотняется бульдозером, что повышает прочность призмы. Преимущество этой технологической схемы также в том, что не требуется широкой нижней площадки. Недостатком ее по сравнению с предыдущими (п.п.7.2 и 7.3) является то, что необходимо иметь участки заоткошенных уступов большей протяженности.

7.5. В практике ведения горных работ возникает необходимость пригрузки откосов уступов с пологими углами наклона (20-30°). В этом случае материал пригрузки не будет перемещаться по откосу уступа под собственной массой, т.е. его необходимо укладывать по всей поверхности откоса. На участок сооружения пригрузки скальный материал доставляется автомобильным и железнодорожным транспортом, а его укладка на откос производится бульдозером в последовательности I,II,III (см.рис.9,в). Нижняя часть пригрузочной призмы (I) формируется путем перемещения материала снизу вверх, верхняя (II) и средняя (III) части - путем перемещения сверху вниз.

При этом следует иметь ввиду, что по правилам безопасности [3] максимальные углы наклона откоса при работе на нем бульдозера на подъем не должны превышать 25°, под уклон (спуск с грузом) - 30° .

7.6. Сооружение пригрузочных призм на откосах уступов возможно

выполнить экскаватором типа драглайн. Экскаватор может быть установлен на верхней или нижней площадке, а материал доставляется автосамосвалом.

При установке экскаватора на нижней площадке (см.рис.9,г) запас материала пригрузки отсыпается с верхней площадки уступа первоначально на свежеобнаженную поверхность откоса в виде отвала I (положение I). Из временных отвалов скальные породы укладываются экскаватором в пригрузочную призму 2 в порядке, показанном на разрезе А-А. По мере продвижения экскаватора вслед за ним в пределах его радиуса черпания отсыпается в необходимом объеме запас скальных пород на пригрузочную призму 2 (положение II) с целью исключения нарушения поверхности заоткошенного уступа и попадания глинистых пород в пригрузочную призму.

Этот вариант предпочтительней ранее изложенных в связи с тем, что экскаватор в пределах радиуса черпания производит заоткоску уступа под необходимым углом и складирует скальный материал в пригрузочную призму, т.е. время стояния уступа без пригрузки может быть минимальным.

При установке экскаватора на верхней площадке пригрузочный материал доставляется автомобильным или железодорожным транспортом и складируется в пределах радиуса черпания экскаватора. Данный вариант (на схеме не показан) может быть применен при наличии широкой верхней площадки, например, для пригрузки откоса верхнего уступа на борту карьера.

7.7. Для сооружения пригрузочных призм можно использовать экскаваторы типа "обратная лопата" (рис.10,а). С помощью его могут выполняться также и работы по сооружению дренажной канавы (I-I), которая заполняется скальным материалом путем непосредственной разгрузки автомобилей (2-2, 3-3). Нижняя часть пригрузочной призмы (см.разрез 4-4 и позиции I,II на разрезе 5-5) формируется экскаватором (до уровня максимальной высоты разгрузки), а верхняя (позиция III) отсыпается автосамосвалом с верхней площадки.

7.8. Возвести пригрузочную призму (или нижнюю часть ее) можно экскаваторами типа "прямая лопата" или драйглайн, устанавливаемыми на нижней площадке уступа (см.рис. 10, б). Первый устанавливают непосредственно на поверхности площадки (разрез А-А), второй - на насыпи пригрузочного материала (разрез Б-Б). При недостаточной длине стрелы экскаватора, верхняя часть призмы отсыпается автосамосвалами с верхней площадки.

7.9. Работы по сооружению пригрузочных призм и внемке пород

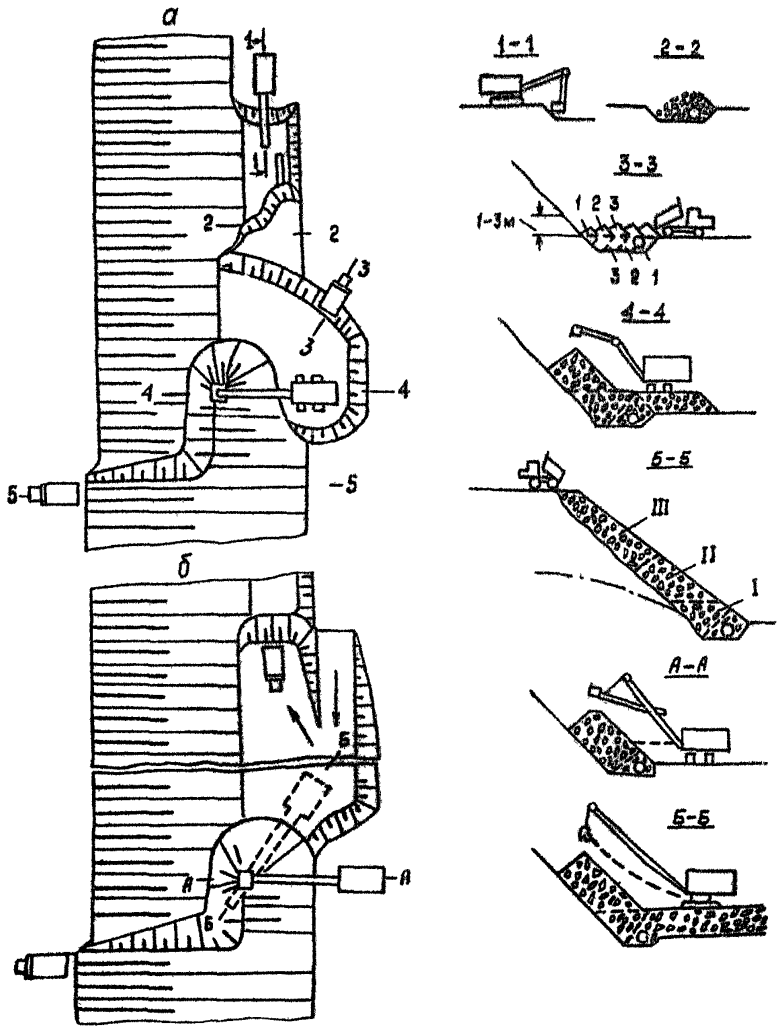

Рис.IO. Схемы сооружения пригрузочных призм:

а - экскаватором " обратная лопата" с автосамосвалами;б- экскаватором "прямая лопата" или -драглайн с автосамосвалами.

целесообразно осуществлять как единый технологический процесс. Примером отработки обводненных рыхлых отложений по единой технологической схеме с их пригрузкой является опыт Сарбайского карьера[9], на котором экскавация, погрузка вскрышных пород и сооружение пригрузочной призмы производятся одним экскаватором-драйглайном (рис.II). Материалом пригрузки служат хвосты сухой магнитной сепарации (СМС) класса 20-0, которые доставляются к месту ведения гор-

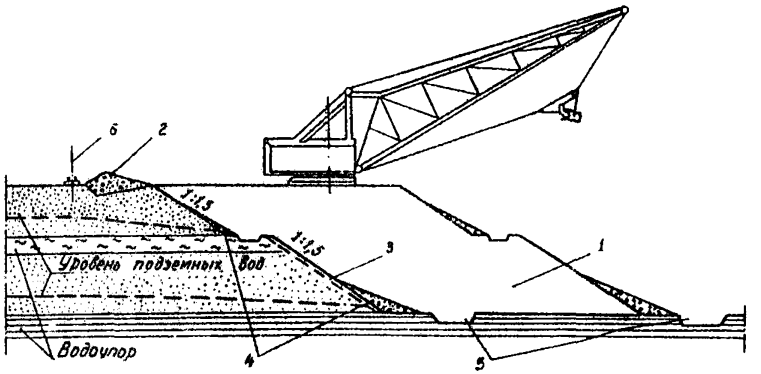

Рис.II. Схема разработки и пригрузки драглайном обводненных рыхлых отложений:

I - заходка, разрабатываемая экскаватором; 2 - приямок для материала пригрузки (хвосты СМС); 3 - канава, заполненная хвостами для спуска воды с верхнего обводненного горизонта; 4 - пригрузочная призма; 5 - водоотводная канава; 6 - ось железнодорожного пути.

ных работ железнодорожным транспортом при обратных рейсах поездов.

7.10. При размещении материала пригрузки во временные отвалы на верхних площадках уступов необходимо произвести проверочные расчеты их устойчивости с учетом дополнительной нагрузки от отвалов и оборудования. Отвалы большего объема должны размещаться за пределами призмы возможного обрушения.

Литература

I. Будков В.П. Сравнительная оценка результатов моделирования на оптически-активных материалах с результатами расчетов устойчивости уступов. - В сб.: "Материалы совещания по вопросам изучения устойчивости откосов на карьерах (I2-I4 сентября I967 г.)" (дополнение), Белгород, ВИОГЕМ, I968, с.67-80.

2. Будков В.П., Ильин А.И., Медведев В.А. Построение потенциальной поверхности скольжения в изотропном откосе. – В сб. : "Вопросы осушения полезных ископаемых", вып.9. Белгород, "ЦНИИгоросушение", 1967, с.76-83.

3. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. М., "Недра", 1972, 104с.

4. Ильин А.И., Будков В.П., Медведев В.А. Номограмма для построения поверхностей скольжения в изотропных откосах. – В сб.: "Материалы совещания по вопросам изучения устойчивости откосов на карьерах". Белгород, "ЦНИИгоросушение", 1967, с.69-71.

5.Козлов Ю.С., Земисев В.Н. Определение положения поверхности скольжения и ширины призмы возможного обрушения в однородном откосе. ФТПРПИ, 1970, № 6, с.97-100.

6. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л., ВНИМИ, 1972, 165 с.

7. Методические указания по сооружению прибортовых дренажей. Белгород, ВИОГЕМ, 1978, 16 с.

8. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидродинамики. М., "Недра", 1974 с. 205-207.

9. Особенности развития горных работ на Сарбайском карьере, "Горный журнал", 1974, № 6, с.10-13. Авт.: Л.К.Антоненко, А. В. Смирнов, В.М.Питарев и др.

10. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М., Физматгиз, 1960, 240 с.

11.Фисенко Г.Л., Ревазов М.А., Галустян Э.Л. Укрепление откосов в карьерах. М., "Недра", 1974, 206 с.

12. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., "Недра", 1965, 378 с.

13. Федоров И.В. Методы расчета склонов и откосов. М., "Госстройиздат", 1962, 203 с.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Введение 3
I. Общие положения 4
2. Определение устойчивости откосов 5
3. Определение параметров пригрузочных призм I0
4. Зависимость прочности и угла наклона откоса пригрузочной призмы от вида укладки кусков пород I8
5. Материалы для сооружения пригрузочных призм 20
6. Требования к сооружению пригрузочных призм 20
7. Технологические схемы сооружения пригрузочных призм 22
Литература 27

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО УКРЕПЛЕНИЮ ОТКОСОВ НА КАРЬЕРАХ ПРИГРУЗКОЙ СКАЛЬНЫМИ ПОРОДАМИ

Научный редактор канд.техн.наук А.И.Ильин

Литературный редактор Л.А.Порубай
Технический редактор А.Г.Воронцова
Корректор В.А.Старкова

Подписано к печати I6 декабря I98I г.
Объем I,7 уч.-изд.л. Тираж 250 экз. Заказ № 442.
Ротапринт ВИОГЕМ, Белгород, Б.Хмельницкого, 86 .

Цена 25 коп.

gost.e-ecolog.ru