И Н С Т Р У К Ц И Я

ПО РАСЧЕТУ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ ПРИ ИХ ЛИКВИДАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ СОХРАННОСТИ ПРИЛЕГАЮЩИХ К РАЗРЕЗАМ ТЕРРИТОРИЙ

ВНИМИ
Ленинград
1977

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

СОГЛАСОВАНО
Госгортехнадзором СССР
21 декабря 1976 года

УТВЕРЖДЕНО
Министерством угольной
промышленности СССР
17 января 1977 г.

ИНСТРУКЦИЯ

по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий

Ленинград
1977

УДК 622.271.3:624.131.537

Инструкция по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий. Л., 1977, с. 56 (М-во угольной пром-сти СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела)

Настоящая Инструкция составлена в соответствии с документами, регламентирующими необходимость приведения горных выработок в состояние, обеспечивающее безопасность населения, охрану окружающей природной среды, зданий и сооружений, а также использования горных выработок для иных народнохозяйственных целей при полной или частичной ликвидации горнодобывающего предприятия.

Инструкция является обязательной для проектных организаций и предприятий Министерства угольной промышленности СССР, связанных с открытой разработкой угольных и сланцевых месторождений.

Ил. 27, табл. 5, библиогр. 28.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ), 1977.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая Инструкция составлена в соответствии со статьей 25 «Основ законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах», Инструкцией о порядке консервации и ликвидации горнодобывающих предприятий (в части обеспечения безопасности и полноты выемки полезных ископаемых), утвержденной Госгортехнадзором, и пунктом 14 «Основных положений по восстановлению земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых, проведении геологоразведочных, строительных и иных работ», утвержденных Госкомитетом по науке и технике Совета Министров СССР, Минлесхозом СССР, Гослесхозом СССР и Госстроем СССР в части ликвидации разрезов и обеспечения сохранности прилегающих к отработанным разрезам территорий.

1.2. Инструкция распространяется на те ликвидируемые угольные разрезы или их участки, в которых по условиям залегания угольных пластов и экономической целесообразности в установленном порядке решено не производить заполнение выработанного пространства пустыми породами, борта отработанного разреза остаются не пригруженными и с течением времени могут подвергаться деформациям, оползаниям или обрушениям.

1.3. Инструкция предусматривает требования к проектам доработки угольных разрезов и ликвидации работ в них, а также определяет условия содержания отработанных разрезов с учетом фактической застроенности территории вокруг разреза и долговременной устойчивости бортов ликвидируемых разрезов. В соответствии с этим в Инструкции рассматриваются следующие вопросы:

— требования к изученности геологического строения бортов и длительной прочности пород в массиве с учетом их выветривания и разуплотнения;

— оценка степени устойчивости бортов ликвидируемых разрезов;

— прогнозирование поверхностных и глубинных деформаций бортов и прилегающих к ним площадей земной поверхности;

— меры предотвращения опасных деформаций прибортовой полосы.

В настоящей Инструкции детально не рассматриваются методы изучения инженерно-геологических условий месторождений, инструментальных маркшейдерских наблюдений за деформацией бортов и расчета их устойчивости, изложенные в утвержденных ранее нормативных документах и методических указаниях [1—9].

1.4. Отработанный разрез может находиться в затопленном, затапливаемом или в сухом состоянии (вид содержания) в зависимости от горнотехнической обстановки, гидрогеологических и других условий, связанных с охраной сооружений и прибортовой полосы земной поверхности.

Условия для сухого содержания отработанного разреза могут создаваться естественным путем, когда разрез расположен на склоне горы и представляет собой полувыемку или когда уровень воды ниже подошвы разреза.

Искусственное поддержание отработанного разреза в сухом состоянии путем использования водоотлива, а иногда и дренажных систем в бортах может быть вызвано двумя причинами: 1) по условиям сохранности прибортовой полосы в течение определенного периода нельзя подтоплять борт и 2) в непосредственной близости расположены действующие подземные выработки или действующий разрез (в породах с хорошей водопроницаемостью).

Большинство ликвидируемых разрезов затопляется стекающими подземными и атмосферными водами.

При необходимости быстрого затопления разреза (по условиям устойчивости бортов или соображениям рекультивации) он должен быть затоплен искусственно за счет сброса воды из рек или озер, расположенных поблизости, или за счет организации стока атмосферных осадков со смежных водораздельных регионов.

1.5. Возможны два случая обеспечения устойчивости бортов разрезов:

1) продолжительное время;

2) до момента ликвидации разреза (в районах, где земная поверхность не представляет ценности).

При коэффициенте запаса устойчивости, существенно превышающем минимально допустимый, борт после ликвидации разреза будет сохранять устойчивость в течение длительного времени без дополнительных мероприятий. Если нужно сохранять прибортовую полосу земной поверхности при небольшом коэффициенте запаса устойчивости борта, то необходимо применять меры поддержания борта в устойчивом состоянии после отработки разреза, когда условия устойчивости с течением времени будут ухудшаться. При этом должны быть определены характер и параметры ожидаемых деформаций прибортовой полосы земной поверхности. Наиболее эффективной мерой повышения устойчивости борта после ликвидации разреза является его заполнение отвалами (гидроотвалами) пород или хвостами обогатительных фабрик.

Если по условиям содержания погашенного разреза допустимо оползание его бортов, то необходимо установить время начала активной стадии оползня, его параметры, максимальную скорость и полный вектор смещения, возможность последующих циклов оползания, общую ширину прибортовой полосы, которая будет охвачена оползнями.

1.6. Условия содержания отработанного разреза определяются многими внешними и внутренними факторами. Внешними факторами

являются: 1) рельеф земной поверхности, 2) ценность земельных угодий, 3) застроенность прилегающей поверхности и прибортовой полосы, 4) наличие и характер горных работ на прилегающих площадях. Внутренними факторами являются: 1) залегание и форма залежей, 2) прочность и структура массива пород, 3) склонность пород к выветриванию и разуплотнению во времени, 4) глубина разреза и углы наклона бортов, 5) климат, гидрологические и гидрогеологические условия, 6) коэффициент запаса устойчивости бортов при доработке разреза.

1.7. При выборе содержания разреза все факторы рассматриваются в совокупности, при этом учитывается экономическая целесообразность того или иного вида и народнохозяйственное значение земельных угодий и других объектов, расположенных вокруг разреза.

Для выбранного вида содержания разреза ко времени его ликвидации должны быть решены следующие вопросы:

— длительная устойчивость бортов;

— условия затопления;

— характер и параметры поверхностного и глубинного деформирования прибортовой полосы;

— мероприятия, обеспечивающие заданные условия содержания разреза;

— охрана сооружений и прибортовой полосы.

1.8. В тех случаях, когда в процессе разведки и эксплуатации месторождения не изучены в достаточной степени все факторы, определяющие условия содержания отработанного разреза, для составления проекта его доработки и ликвидации необходимо провести дополнительные изыскания с целью детального изучения этих факторов.

2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДОЛГОВРЕМЕННУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ

2.1. Важнейшими факторами, определяющими долговременную устойчивость бортов отработанных разрезов, являются:

— структура горного массива;

— длительная прочность пород в массиве, по контактам слоев и другим поверхностям ослабления;

— гидрогеологические условия.

2.2. Для оценки устойчивости бортов отработанных разрезов необходимы следующие сведения о структуре горных пород, слагающих борта в предельном контуре разреза:

— залегание поверхностей ослабления — слоистости, рассланцованности, дизъюнктивных нарушений, тектонических трещин большого протяжения;

— характеристика трещиноватости — элементы залегания систем трещин, интенсивность трещин, размер и форма структурных блоков;

— изменение структуры по периметру разреза и с глубиной.

2.3. В сложных горногеологических условиях, когда изменчивость залегания и прочности пород обусловливает неодинаковую степень устойчивости разных бортов и их отдельных участков, необходимо за 3—5 лет до ликвидации разреза провести дополнительные исследования с целью определения окончательных параметров бортов на период ликвидации разреза. Основные данные по структуре массива при этих исследованиях определяются непосредственно по обнажениям откосов уступов.

2.4. **При простом выдержанном залегании слоев пород** точечный замер трещиноватости является достаточным для характеристики массива. Для одного расчетного профиля (количество расчетных профилей определяется согласно [2]) производится замер трещиноватости в двух-четырех точках. В одной точке, представляющей участок откоса уступа по длине 15—30 м, замеряются элементы залегания трещин и определяется средний размер структурных блоков и их форма в соответствии с [3].

Необходимое и достаточное общее число замеров в точке рассчитывается по формуле, полученной на основании статистической обработки большого числа диаграмм:

$$N=6{,}3(n^2+4),$$

где n — число систем трещин в точке замера ($n>3$).

При простом невыдержанном залегании пород структурная съемка производится по расчетным профилям [1, 2].

При сложной структуре массива, когда залегание слоев пород невыдержанное, имеются зоны смятия, разлома, дизъюнктивные нарушения и трещины большого протяжения, проводится площадная структурная съемка, заключающаяся в поинтервальном изучении трещиноватости на всех откосах уступов [1, 2]; на основе этой съемки составляются структурные планы и разрезы.

Когда данные структурной съемки на откосах борта не соответствуют ранее сделанной увязке структуры массива, необходимо провести дополнительную геологическую разведку [2, 3]. Доразведка необходима и в случае, когда на изучаемом участке нет достаточно достоверных данных о структуре массива, кроме полученных на откосе борта.

2.5. Прочность горных пород $\sigma_{сж}$ определяется величиной сцепления k и углом внутреннего трения ρ :

$$\sigma_{сж}=2k\cdot ctg\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\rho}{2}\right).$$

Сцепление пород в массиве $k_м$ всех трещиноватых пород определяется сцеплением пород в образце k, коэффициентом структурного ослабления λ и сцеплением по трещинам k':

$$k_м=\lambda k+(1-\lambda)k. \qquad (1)$$

Угол внутреннего трения пород в массиве ρ принимается равным углу внутреннего трения в образце.

Прочность пород в образце с достаточной точностью определяется лабораторными испытаниями представительных образцов на срез и сжатие [4, 5].

2.6. Коэффициент структурного ослабления определяется разными способами в зависимости от характера структуры и прочности пород.

В слабых трещиноватых породах (сцепление в образце $k < 4$ кгс/см^2) коэффициент структурного ослабления определяется натурными испытаниями пород на сжатие и сдвиг [6, 10] на участках откосов или берм, где структура пород является типичной для изучаемого массива.

Прочность массивов трещиноватых пород крепких и средней крепости определяется двумя методами. При сложной и в целом невыдержанной трещиноватости, когда нельзя достаточно четко выделить системы, установить форму блоков, оценить разнопрочность их и т. п., коэффициент структурного ослабления определяется по методу, учитывающему всю совокупность основных структурных факторов [2, 10].

При достаточно четко выраженной трещиноватости массива, когда можно выделить системы трещин, установить форму блоков, их упаковку в массиве, для определения коэффициента структурного ослабления более точным является метод, раздельно учитывающий структурные факторы и базирующийся на результатах моделирования прочностных свойств трещиноватых сред (приложение 1).

2.7. При расчетах устойчивости бортов отработанных разрезов необходимо использовать длительную прочность пород. Длительную прочность рекомендуется определять путем испытаний образцов на сжатие и срез в ползуче-релаксационном режиме взаимно влияющих деформаций элементов системы «пресс—образец» (в соответствии с методикой, изложенной в приложении 2).

У пород крепких и средней крепости угол внутреннего трения не изменяется от продолжительности испытаний [8, 12], поэтому коэффициент длительной прочности η, полученный испытаниями образцов на одноосное сжатие или косой срез, используется при определении величины длительного сцепления в массиве по формуле (1):

$$k_{м.д} = \lambda\eta\ k + (1 - \lambda)k'.$$

Для слабых пород типа глин, суглинков и сильно выветрелых аргиллитов (временное сопротивление сжатию $\sigma_{сж} < 10$ кгс/см^2) при больших нормальных напряжениях $\rho \to 0$ и сопротивление сдвигу в образце характеризуется при нормальных напряжениях σ_n меньше граничного σ'_n величинами ρ и k и при $\sigma_n > \sigma'_n$ — величиной максимального сопротивления сдвигу τ_{max}, подобно графику (рис. 1).

Для этих пород характеристики длительной прочности массива должны определяться по формулам:

$$k_{мд} = \lambda\,\eta\,k;\quad \operatorname{tg}\rho_{мд} = \eta\operatorname{tg}\rho\,;\quad \tau_{м.д} = \eta\tau_{max}.$$

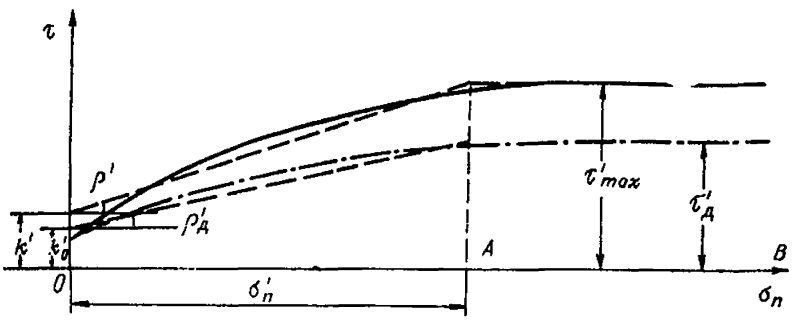


Рис. 1. График зависимости между нормальными и касательными напряжениями при сдвиге по контакту пород:

—— стандартная прочность; —·— длительная прочность

Таблица 1

Породы	Временное сопротивление одноосному сжатию, кгс/см^2	Коэффициент длительной прочности
Суглинки	< 2	0,40
	4	0,70
Глины	< 3	0,40
	6	0,60
	10–20	0,70
Аргиллиты	< 10	0,60
	20	0,65
	40	0,70
	50	0,75
	100–200	0,80
Алевролиты	< 10	0,65
Песчаники	20	0,70
Конгломераты	50	0,75
Выветрелые разности изверженных и метаморфических пород	100	0,80
	150–500	0,85
Крепкие породы: изверженные и метаморфические породы, кварцевые и железистые песчаники, известняки, сидеритизированные аргиллиты, кристаллические и слюдяные сланцы	600–1000	0,90
	> 1000	0,95

В тех случаях, когда длительные испытания пород не проводятся, коэффициент длительной прочности принимается в зависимости от прочности на одноосное сжатие по табл. 1.

2.8. Сцепление по естественным поверхностям ослабления, по которым замечены следы скольжения, необходимо принимать в пределах 2—5 тс/м^2; по контактам трещин небольшого протяжения сцепление необходимо принимать в пределах 5—20 тс/м^2 в зависимости от видимых следов нарушения сцепления на обнаженных контактах и от наличия трещин, по которым сцепление оказалось ненарушенным.

Угол трения по контактам определяется на рычажном прессе по методике длительных испытаний (см. приложение 2). При испытаниях необходимо учитывать следующее:

— крепкие породы в широкой зоне по показателю шероховатости имеют практически одинаковый угол трения;

— по контактам двух разных пород угол трения равен углу трения наиболее слабой породы;

— график длительной прочности, полученный испытанием обводненного контакта, учитывает разуплотнение породы при снятии нормальной нагрузки;

— для весьма слабых пород типа глин, суглинков и сильно выветрелых аргиллитов прочность по контактам характеризуется при нормальных напряжениях, меньших граничного σ'_n (см. рис. 1), показателями ρ' и k' и при $\sigma_n > \sigma'_n$ — величиной τ_{max}.

В табл. 2 для практического использования приведены углы трения наиболее распространенных пород, полученные при исследованиях на многих разрезах.

Таблица 2

Наименование контакта	Прочность на одноосное сжатие, $\sigma_{сж}$, кгс/см^2	Угол трения ρ', градус	Максимальное сопротивление сдвигу τ max, кгс/см^2
Глина пластичная	<2	12	0,6
Глина жирная	4	12	0,9
Аргиллит–аргиллит	<10	10	1,5
Аргиллит–гладкий контакт	>10	10	–
Аргиллит–шероховатый контакт	>10	17	–
Аргиллит–уголь	>10	8–10	–
Алевролит–гладкий контакт		18	–
Алевролит–шероховатый контакт		24	–
Алевролит–уголь		15	–
Песчаник		30	–
Мрамор		32	–
Диабаз		20	–
Зеркальные контакты крепких пород		6–10	–

2.9. Для оценки степени устойчивости бортов и условий их поддержания после ликвидации разреза необходимо знать следующие данные по гидрогеологии и гидрологии:

— притоки грунтовых и поверхностных вод в разрез и их изменение во времени;

— характер связи различных водоносных слоев и горизонтов;

— уровни подземных вод различных горизонтов;

— области высачивания воды в откосах;

— гидростатическое и гидродинамическое действие подземных вод на устойчивость откосов.

Гидрогеологические условия разреза необходимо знать на три момента: конец отработки разреза, период наименьшей устойчивости бортов и время стабилизации условий содержания отработанного разреза.

При естественном затоплении необходимо знать гидрогеологическую обстановку на момент ликвидации, на период затопления на $1/3H$ (для бортов с напорными водами — характер и скорость восстановления уровней после прекращения работы дренажной системы), время полного затопления разреза; для крупных разрезов характерным состоянием может быть затопление на $0{,}5 \div 0{,}7H$, когда дальнейшее повышение уровня воды происходит крайне медленно.

При искусственном затоплении разреза необходимо знать изменение уровней в бортах с течением времени для поверочных расчетов устойчивости бортов при нескольких положениях уровня воды в разрезе.

При поддержании разреза в сухом состоянии характерным периодом его существования является время стабилизации депрессионной поверхности в режиме принятой системы дренирования.

Гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление особенно сильно влияет на устойчивость бортов при следующих условиях [15]:

— подтопление борта;

— расположение борта вблизи рек и водоемов на расстоянии, соизмеримом с глубиной разреза;

— наличие напорных вод (чаще всего в лежачем боку месторождения);

— борт сложен слабо фильтрующими глинистыми песками и песчаными глинами, хорошо фильтрующие прослои отсутствуют.

При определении объемов гидрогеологической доразведки и при гидрогеологических расчетах на различные периоды существования разреза нужно пользоваться соответствующими методическими пособиями [16, 17].

3. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ ОТРАБОТАННЫХ РАЗРЕЗОВ

3.1. Для определения вида содержания прибортовой полосы после ликвидации работ в разрезе необходимо знать изменение степени

устойчивости бортов во времени. У отработанных разрезов можно выделить три характерных состояния бортов, и, оценив их, получить достаточно полную картину изменения устойчивости:

— на момент ликвидации разреза устойчивость бортов известна, поскольку при составлении проекта доработки, как правило, проводится ее оценка;

— на период содержания разреза, в который коэффициент запаса устойчивости бортов минимальный; для затапливаемых разрезов это наиболее опасный уровень воды в нем и его бортах;

— на время стабилизации условий содержания разреза, т. е. перехода от относительно быстрых процессов к замедленным. Для затапливаемых разрезов — это конец формирования берега; для разрезов, расположенных выше уровня грунтовых вод, — период затухания поверхностных и глубинных деформаций бортов.

3.2. Расчет проводится существующими методами [2, 18, 19] с учетом специфики условий погашенных разрезов, которая создает ряд особенностей при оценке устойчивости бортов:

— влияние воды и наличие внешней нагрузки;

— деформационные свойства слоев и изменение долговременной прочности массива пород под влиянием различных факторов, изменяющихся во времени;

— если нужно обеспечить устойчивость бортов лишь на период доработки разреза, то расчет параметров борта на наиболее опасный момент сводится к определению параметров оползания борта.

3.3. При доработке разреза, как правило, борта устойчивы; вновь оценка устойчивости производится в тех случаях, когда обнаруживаются изменения в геологических и гидрогеологических условиях при эксплуатации разреза в последние годы его работы.

Особенно надежной должна быть оценка устойчивости и состояния бортов на наиболее опасный период, определяющий достоверность оценки состояния прибортовой полосы. На длительную устойчивость борта отрицательно воздействуют в основном три фактора: затопление разреза, разуплотнение пород и влияние подземных работ под разрезом. Эти факторы и должны учитываться при расчетах. При затоплении разреза в большинстве случаев наиболее опасный уровень составляет $1/3$ высоты борта и может несколько раз меняться в ту или другую сторону в зависимости от положения депрессионной поверхности в борту и поверхности скольжения. Опасный уровень определяется расчетами при двух-трех положениях уровня воды в разрезе, близких к $1/3H$.

Влияние разуплотнения на сопротивление сдвигу в разуплотняющихся породах особенно значительно на контактах слоев и других поверхностях ослабления. Оно учитывается долговременными испытаниями контактов в лабораторных условиях (приложение 2).

Влияние сдвижения горных пород от подземных работ на устойчивость бортов должно учитываться при определении прочности подработанного массива и построении наиболее слабой поверхности скольжения. Данные о прочности подработанного массива и характере

процесса сдвижения должны быть получены исследованиями, проведенными в период доработки разреза или, если для этого нет возможности, на соседних аналогичных месторождениях. Оценка устойчивости бортов производится для самых неблагоприятных условий, которые ожидаются в результате подземных работ.

Для стабилизированного состояния разреза, когда практически прекращаются деформации массива как поверхностные, так и глубинные, нужно определить границу и характер деформированной части прибортовой полосы и оценить устойчивость бортов в окончательном их положении. Если в крепких породах борта подвергаются лишь поверхностным деформациям, а также когда применяются постоянно действующие мероприятия по повышению устойчивости бортов, расчеты для стабилизированного состояния носят поверочный характер с целью определения коэффициента запаса устойчивости для окончательного положения борта, сформировавшегося под влиянием поверхностных деформаций. Для разрезов с неустойчивыми бортами, у которых вне зависимости от времени стояния $n \leqslant 1$, нужно определить зону и степень деформирования земной поверхности, прилегающей к контуру разреза.

3.4. На отработанных разрезах устойчивость бортов определяется расчетом при условии:

— быстрого затопления разреза;

— наличия охранных целиков;

— влияния деформационной способности слоев;

— определения зоны обрушения (в тех случаях, когда оно допускается).

3.5. Для расчета устойчивости бортов при быстром затоплении разреза необходимы достаточно точные данные о фильтрационных свойствах массива, обеспечивающие достоверность определения изменения уровней в бортах при заданном изменении уровня воды в разрезе.

В зависимости от сложности гидрогеологической обстановки и глубины разреза расчет устойчивости бортов проводится для двух-четырех положений уровней воды в разрезе и борту. Обычно при уровне воды в разрезе более $2/3H$ расчет проводить нет необходимости, так как устойчивость борта будет не меньше, чем на момент погашения. При заданном уровне воды в разрезе расчетом устойчивости определяется уровень воды в борту, при котором обеспечивается заданный коэффициент запаса устойчивости.

В практике может встретиться в основном три случая, когда быстрое затопление является эффективной мерой для обеспечения устойчивости бортов.

А. При открытом дренаже и малой водообильности пород, когда подток воды к борту мал, при быстром затоплении уровень воды в разрезе может опережать уровень воды в борту. В этих условиях гидродинамическое и гидростатическое давление воды является дополнительной удерживающей силой, и устойчивость борта в процессе затопления не будет снижаться. На рис. 2, *а* показано три положения

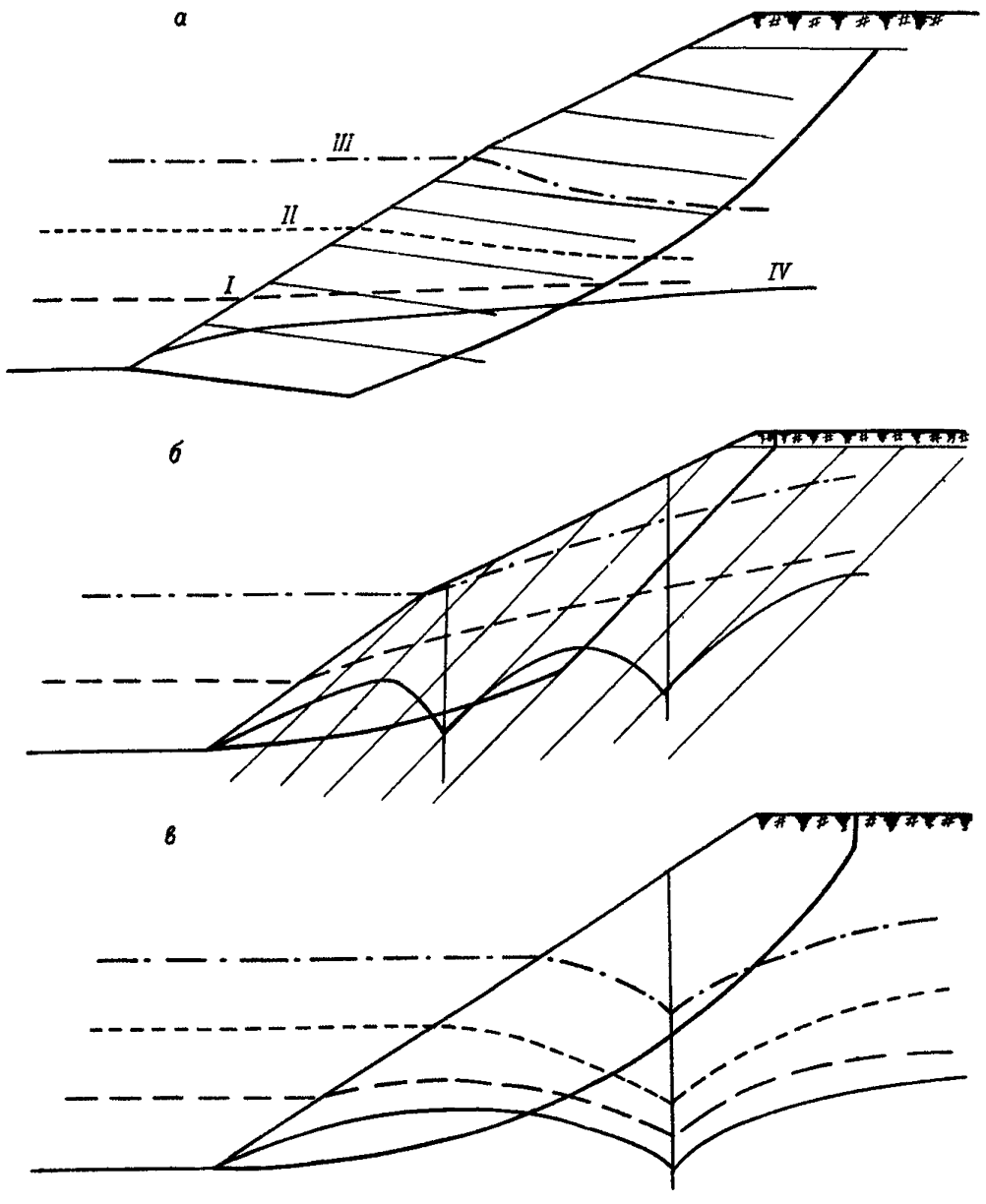


Рис. 2. Схемы расчета устойчивости бортов при затоплении разреза:

I, II, III — положения расчетного уровня воды; IV — уровень воды на момент ликвидации разреза

уровня воды в разрезе, при которых проводится расчет устойчивости. Если при этих уровнях обеспечивается необходимая устойчивость бортов и гидрогеологические расчеты показывают реальность получения таких уровней, то в принятом режиме затапливать разрез можно.

Б. Для обеспечения устойчивости борт при доработке дренировался. Из-за малого подтока воды к борту уровни в нем после прекращения работы дренажной системы повышаются медленно, что создает условия для быстрого затопления разреза без существенного понижения устойчивости борта. Принципиальных различий в расчете от предыдущего случая нет. На рис. 2, *б* приведена примерная схема расчета для крутого залегания пород.

В. До ликвидации разреза борт дренировался системой водопонижающих скважин. Как и в предыдущих случаях, можно предрассчитать необходимый уровень воды в борту при затоплении, который в данном случае обеспечивается дренажной системой (рис. 2, *в*).

3.6. Расчет устойчивости бортов с охранными целиками при совместной отработке месторождения производится для двух случаев:

1) при наличии на прибортовой полосе охраняемых сооружений;

2) при охране прибортовой полосы от оползания, когда допустимы значительные ее деформации.

При крутом и наклонном залегании пород, когда углы наклона бортов на контуре погашения принимаются из условий устойчивости, для охраны сооружений на борту лежачего бока необходимо оставить целик, размеры которого определяются расчетом устойчивости. В расчете устойчивости призмы обрушения на всю глубину подземных работ учитывается нормальная составляющая призмы ABC (рис. 3, *а*) необрушенных пород над целиком. Эта составляющая создает дополнительные силы трения $N \operatorname{tg} \rho'$ на поверхности скольжения MN. Расчетом определяется такая ширина целика AC, при которой обеспечивается необходимый коэффициент запаса устойчивости борта. Для охраны прибортовой полосы борта лежачего бока, когда допустимы ее некоторые деформации, оставлять целик не нужно.

Для охраны сооружения на борту висячего бока нужно строить целик по Правилам охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок в соответствующем угольном бассейне. Для охраны прибортовой полосы от оползания также оставляется целик, величина которого принимается такой, чтобы вдоль линии BC (рис. 3, *а*) не образовался провал, который может привести к оползанию или обрушению борта. Условия образования провалов определяются при изучении сдвижения горных пород от подземных разработок и приведены в Правилах охраны соответствующего угольного бассейна.

При пологом и горизонтальном залегании пород, когда из условия устойчивости определяется только угол наклона борта висячего бока, для охраны сооружений на борту нужно оставлять целик в соответствии с правилами охраны для подземных разработок. В прибортовой полосе целик оставляется с целью предохранения от подработки нижней части борта, а также сохранения прочности массива вдоль поверхности скольжения (рис. 3, *б*).

3.7. Для охраны ответственных сооружений, расположенных в границах открытых работ, временно или постоянно оставляются целики полезных ископаемых. На рис. 4, *а, б* показаны целики при пологом

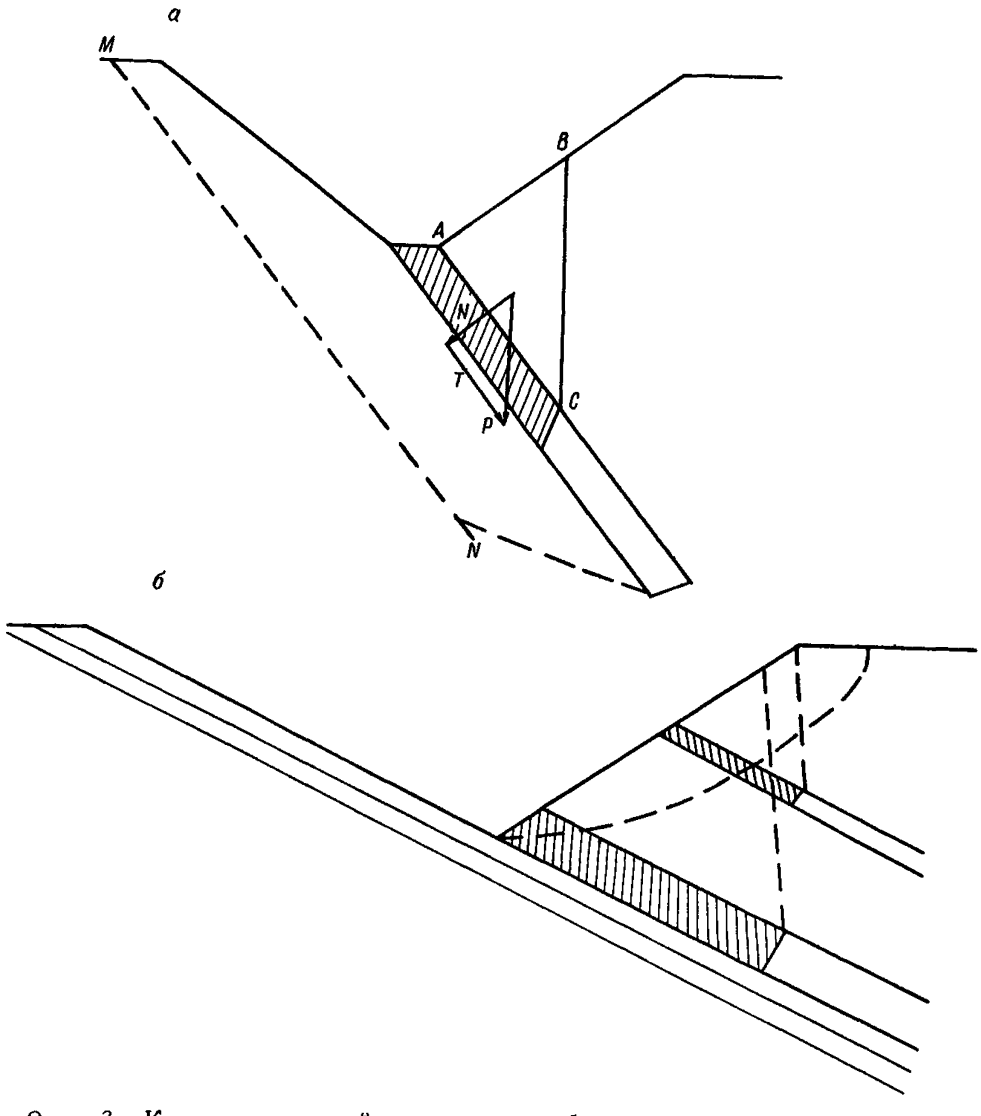


Рис. 3. К расчету устойчивости подработанных подземными горными работами бортов с охранными целиками

и крутом залегании пород. Пунктиром здесь показана граница отработки без оставления целика, сплошной — с оставлением. Для определения глубины разреза при двух-трех значениях углов наклона рассчитываются соответствующие высоты бортов. Принимается та высота, при которой нижняя точка *B* попадает на почву (или кровлю при крутом залегании) отрабатываемой залежи.

Необходимость оставления целика может возникнуть и при расположении охраняемого объекта за границей разреза. Это тот случай, когда вблизи верхней бровки борта погашения находятся охраняемые сооружения, а борт погашения (на рис. 4, *в* показан штрих-пунктирной линией) при затоплении разреза имеет недостаточный коэффициент запаса устойчивости.

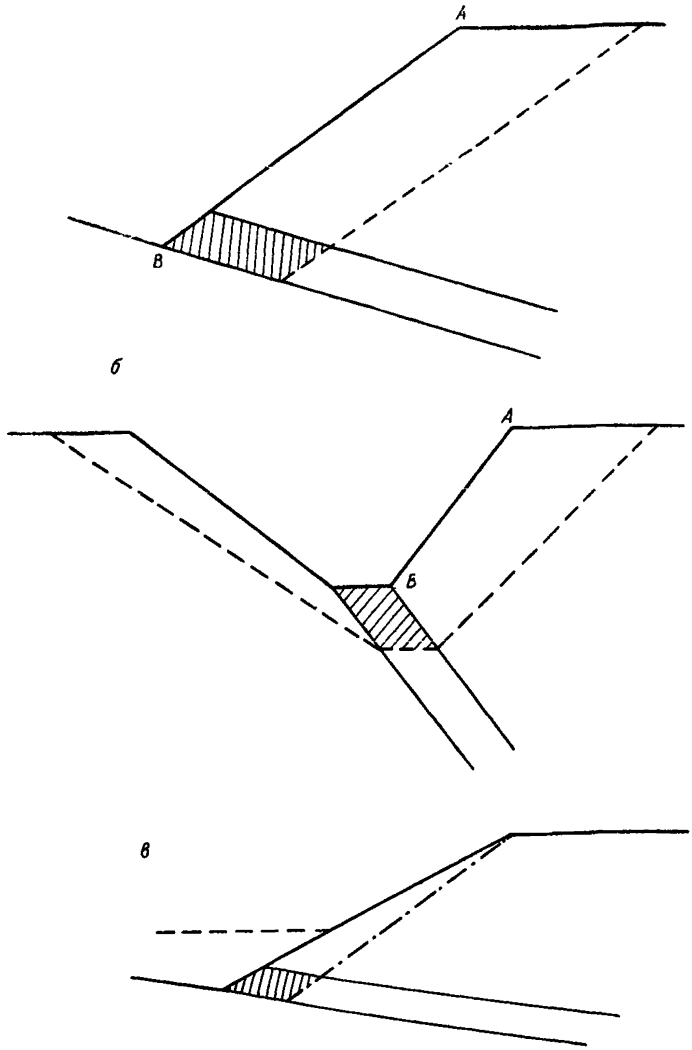


Рис. 4. К расчету устойчивости бортов с охранными целиками

Для предотвращения деформаций охраняемого объекта в период затопления разреза, если нельзя применить других мер охраны, борт нужно выположить. Угол его наклона с необходимым коэффициентом запаса $n \geq 1{,}3$ определяется расчетом при подтоплении на $1/3H$. В результате выполаживания борта образуется целик полезного ископаемого (рис. 4, *в*).

3.8. Расчет устойчивости с учетом деформационной способности слоев нужно проводить при наличии в массиве борта мощных слоев с резко отличными от остальных пород деформационными свойствами

при коэффициенте запаса устойчивости в пределах 1,2—1,4 в случаях, когда требуется высокая точность, например при охране сооружений (методика расчета приведена в приложении 3).

3.9. Зона обрушения устанавливается расчетом борта на предельное равновесие в следующем порядке:

— Предварительным расчетом определяется примерное положение уровня воды в разрезе и борту, при котором борт близок к предельному равновесию. Для этого положения находится наиболее слабая поверхность.

— Устанавливается положение призмы обрушения после прекращения смещений; для определения самого нижнего положения призмы в условии ее равновесия учитывается, что в породах песчаных и средней крепости угол трения по поверхности скольжения снижается, а в слабых глинистых породах, за счет смятия пород в зоне поверхности скольжения и разуплотнения, прочность будет характеризоваться общим сопротивлением сдвигу τ'_{max} пород нарушенной структуры. Эту характеристику получают по результатам испытания образцов нарушенной структуры на долговременную сдвиговую прочность в лабораторных условиях. Равновесие оползающей призмы рассматривается при наиболее опасном уровне воды.

— Определяется возможность второго цикла оползания — производится расчет для нового положения борта и вычисляется коэффициент устойчивости при наиболее неблагоприятном уровне воды.

— При $n \leq 1{,}05$ нужно считать, что возможен второй цикл оползня. При $n=1{,}1—1{,}15$ на прибортовой полосе в пределах возможной призмы обрушения нужно ожидать трещины оседания до 1—2 м.

Возможность второго цикла оползня зависит не только от величины снижения коэффициента устойчивости при затоплении, но и от структуры массива. На рис. 5 приведены четыре наиболее типичные структуры пород в бортах. Поверочные расчеты показывают, что условия, способствующие образованию второго цикла оползня, возникают при крутом и пологом согласном залегании слоев (см. рис. 5, *а*, *в*); при мульдообразном залегании слоев вероятность повторного оползания меньше.

Особым, редко встречающимся в практике открытых работ, является случай, когда борт полностью состоит из суглинков, лессов и песчаных глин. В этих условиях при подтоплении борта может быть не только два, но три-четыре и более циклов оползней, поскольку водонасыщенная оползневая масса, располагаясь полого, почти не создает подпора борту.

Примеры расчета устойчивости бортов с учетом изменяющихся гидрогеологических условий и при охране прибортовой полосы приведены в приложении 5.

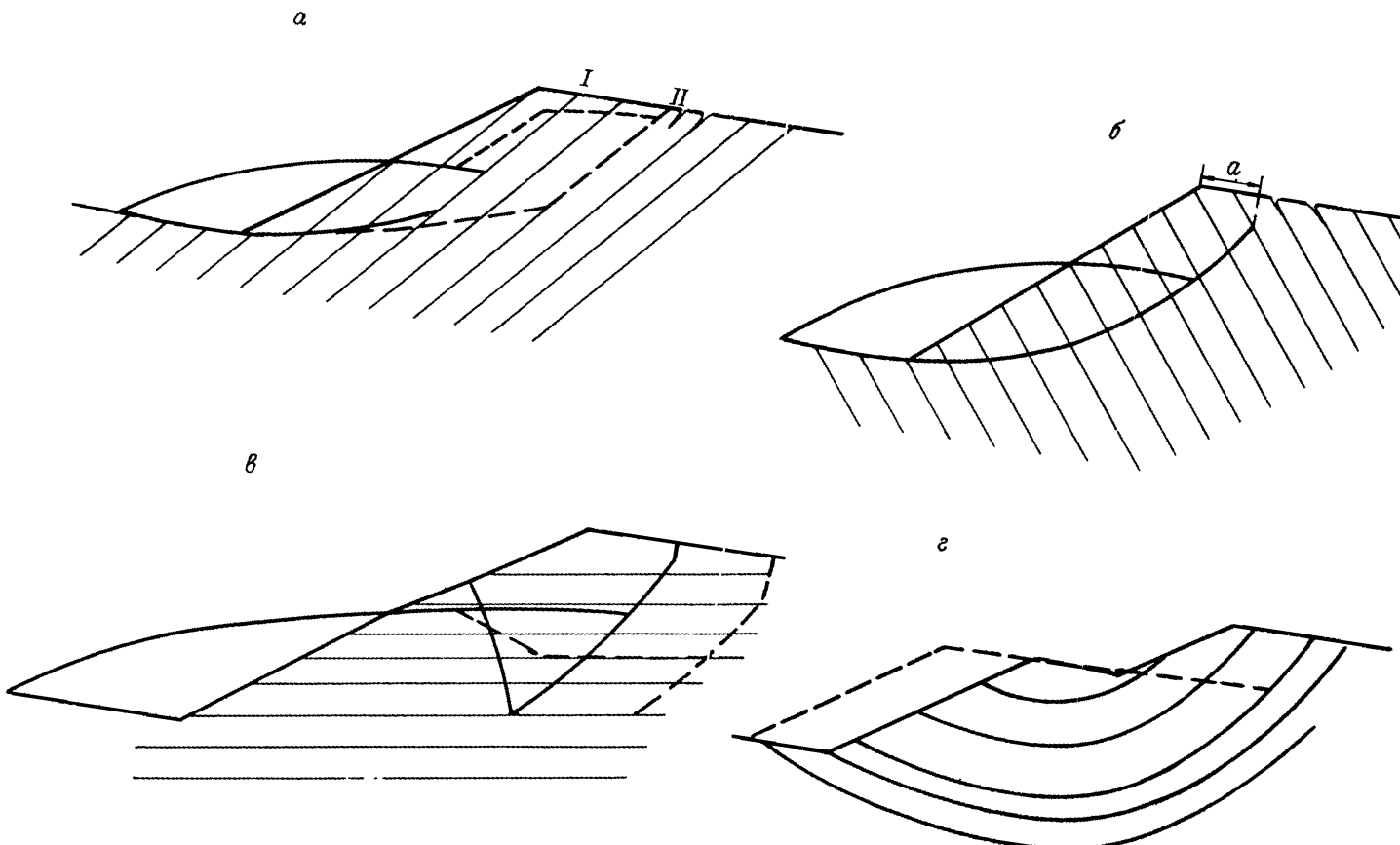


Рис. 5. Схемы обрушения и оползания бортов в зависимости от структуры массива пород

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ БОРТОВ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К НИМ ПОЛОСЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

4.1. Прогнозирование деформаций прибортовой полосы следует производить по степени устойчивости борта; долговременными маркшейдерскими наблюдениями установлена следующая зависимость деформирования прибортовой полосы земной поверхности от степени устойчивости бортов:

— при коэффициенте запаса устойчивости борта $n \geqslant 1{,}3$ прибортовая полоса не испытывает деформаций, фиксируемых маркшейдерскими измерениями по реперам наблюдательных линий, т. е. возможные горизонтальные микродеформации не превышают $2 \cdot 10^{-4}$;

— фиксируемые маркшейдерскими наблюдениями смещения на прибортовой полосе появляются при $n=1{,}2—1{,}25$; по величине они достигают 50—70 мм; преобладающей является горизонтальная составляющая вектора смещения; ширина полосы, охваченной деформациями, не выходит за зону, ограниченную наиболее слабой поверхностью;

— при $n=1{,}1—1{,}15$ прибортовая полоса испытывает значительные деформации и, как правило, на ней появляются видимые трещины и заколы; максимальные смещения в пределах призмы обрушения достигают 0,5—2 м; общая зона, охваченная деформациями, значительно расширяется.

Соответственно этому борта, имеющие различную степень устойчивости, по качественной и количественной характеристике деформирования делятся на 4 группы: 1) $n \geqslant 1{,}3$ — борт не деформируется; 2) $n=1—1{,}25$ — борт заметно деформируется; 3) $n=1—1{,}15$ — деформации борта значительны; 4) $n=1—1{,}05$ — неизбежен оползень или обрушение борта.

Примечание. При прогнозировании деформаций борта по степени устойчивости полученный расчетный коэффициент запаса устойчивости округляется до 0,05 по известным правилам.

4.2. При коэффициенте запаса устойчивости всего борта более 1,3 прибортовая полоса испытывает упругоползучие микродеформации, связанные с изменением напряженного состояния массива и не выходящие за пределы $2 \cdot 10^{-4}$. Таким образом, при прогнозировании нужно считать, что при $n \geqslant 1{,}3$ прибортовая полоса земной поверхности практически не испытывает деформаций, связанных с устойчивостью всего борта.

4.3. При коэффициенте запаса устойчивости $n=1{,}2—1{,}25$ на прибортовой полосе в пределах призмы возможного обрушения преобладают горизонтальные деформации растяжения; их величина в среднем составляет $(1—2) \cdot 10^{-3}$ с отдельными отклонениями до $5 \cdot 10^{-3}$; оседания в 3—5 раз меньше горизонтальных смещений. Ширину зоны деформирования нужно принимать равной ширине призмы обрушения, которая с достаточной точностью определяется при расчете устойчивости и представляет собой расстояние от бровки борта до наиболее слабой расчетной поверхности скольжения.

4.4. При коэффициенте запаса устойчивости n=1,1—1,15 максимальные, преимущественно вертикальные, смещения достигают опасных величин в пределах 0,5—2 м. За короткий период интенсивных смещений четко оконтуривается призма возможного обрушения по резкому изменению направления и величин смещения; за границей призмы возможного обрушения вектор смещения почти горизонтален, а его величина в 5—10 раз меньше, чем в пределах призмы возможного обрушения. После периода интенсивных смещений деформации борта затухают, и борт в дальнейшем остается устойчивым при постоянном коэффициенте устойчивости.

Характер деформирования, его параметры зависят от состава пород и структуры массива и в общем виде могут быть описаны следующим образом:

— ширина зоны деформирования в слабых породах значительно больше, чем в крепких; наименьшая ширина этой зоны — в изотропном массиве, наибольшая — при крутом залегании слоистости в верхней части борта;

— наибольшие смещения на прибортовой полосе происходят в слоистом массиве при крутом и пологом согласном борту залегании пород; они по величине достигают 2 м в пределах призмы возможного обрушения; за границей призмы горизонтальные деформации находятся в пределах $(2—5)\cdot 10^{-3}$;

— ширина зоны малых деформаций за оконтурившейся призмой возможного обрушения для слабых анизотропных пород несколько меньше ширины призмы обрушения, для крепких — несколько больше ее.

Определять ширину зон деформирования нужно следующим образом (рис. 6, *а*):

— обычным расчетом устойчивости [2, 19] находится положение наиболее слабой поверхности в борту;

— ширина возможной призмы обрушения *а* поверху является шириной зоны больших смещений $A'=a$ (табл. 3);

— ширина общей зоны деформирования прибортовой полосы равна $A=c_1 a$, где c_1 — коэффициент, учитывающий условия деформирующегося борта, приведен в табл. 3.

4.5. При коэффициенте устойчивости $n < 1{,}05$ борт всегда в скором времени сползает или обрушается (на разрезах такие условия могут возникнуть после их ликвидации, когда за счет изменения гидрогеологических условий, подработки подземными работами и т. п. коэффициент устойчивости со временем уменьшается).

Деформирование прибортовой полосы земной поверхности при оползающих бортах характеризуется следующим:

— скорости смещения призмы обрушения в период активной стадии, за очень редкими исключениями, значительны (более 2 м/ч) вне зависимости от угла наклона борта и прочности пород; деформации затухают быстрее в более крепких породах;

— после оползня или обрушения на прибортовой полосе шириной до $(0{,}4—0{,}6)a$ имеются заколы и трещины: деформации, опасные

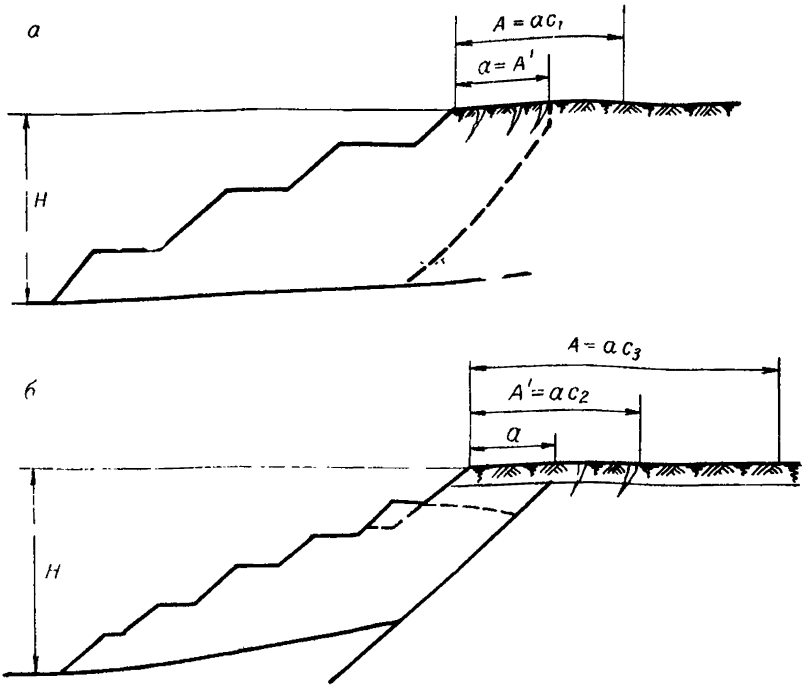


Рис. 6. Схемы к определению зон деформирования прибортовой полосы:

а — коэффициент запаса устойчивости $n=1,1—1,15$; *б* — при $n \leq 1,05$

для ответственных сооружений, распространяются на расстояние, равное $(0,8—1)a$ от образовавшегося после оползня откоса;

— при крутых углах наклона призма обрушения смещается вниз на $(0,5—0,7)H$, поэтому часто происходит второй цикл оползня и прибортовая полоса земной поверхности, охваченная оползнем, значительно увеличивается.

Порядок определения зон деформирования при оползающих бортах следующий (рис. 6, *б*):

— рассчитывается устойчивость борта, определяется положение наиболее слабой поверхности скольжения и коэффициент устойчивости борта;

— рассчитывается устойчивость на возможность второго цикла обрушения или оползня; при $n \leq 1,15$ нужно считать второй цикл возможным.

Ширина полосы земной поверхности, охваченной большими смещениями, определяется выражением $A' = c_2 a$; ширина общей зоны деформирования $A = c_3 a$, где a — ширина призмы при первом цикле обрушения, c_2, c_3 — коэффициенты, учитывающие условия деформи-

Таблица 3

Характеристика пород, слагающих борт	Коэффициент c_1	Глубина разреза H, м	Угол наклона борта, градус	Ширина зоны больших смещений A'=a	Ширина общей зоны деформирования A
Глины, суглинки; изотропный массив . . .	1,7	50–100	15–25	0,6H	H
Глины и суглинки; горизонтальное и пологое залегание слоев	1,5	50–150	7–15	H	1,5H
Слабо уплотненные или сильно выветренные угленосные породы (аргиллиты, алевролиты, песчаники и другие) при залегании слоев:					
пологом и горизонтальном	2,2	100–150	15–25	0,4H	0,9H
наклонном и крутом	2,4	100–150	15–25	0,5H	1,2H
Слоистые породы средней крепости при залегании слоев:					
пологом и горизонтальном	2	300–500	20–35	0,3H	0,6H
наклонном и крутом	2,5	300–500	25–40	0,3H	0,8H
Неслоистые породы средней крепости . . .	2	400–600	35–50	0,2H	0,4H

Таблица 4

Коэффициенты		Угол наклона борта, градус	Характеристика		Ширина	
			пород	обрушения или оползня	зоны больших смещений A^1	общей зоны деформирования A
c_2	c_3					
1,5	2	7–15	Глины, суглинки; пологое и горизонтальное залегание слоев	Один цикл оползня, не прекращается при обводнении	1,5H	2H
2,5	3,5	20–25	Глинки, суглинки; изотропный массив	Два цикла оползня, действующий оползень	1,5H	2H
1,6	3	15–20	Слабые слоистые породы типа аргиллитов, алевролитов, песчаников	Один цикл оползня; оползень прекращается	0,8H	1,5H
2	3,4	20–30	Слабые слоистые породы типа аргиллитов, алевролитов, песчаников	Два цикла оползня; оползень развивается	H	1,7H
2	3,3	20–30	Слоистые породы средней крепости	Один цикл обрушения	0,6	H
2,5	5	30–40	Слоистые породы средней крепости	Два цикла обрушения; оползень развивается	0,8H	1,5H
2,5	4	35–50	Неслоистые породы средней крепости	Два цикла обрушения; оползень развивается	0,5H	0,8H

рующегося борта (табл. 4); в этой же таблице приведены ориентировочные параметры зон деформирования для типовых условий бортов.

4.6. При незатопленной верхней части разреза прибортовая полоса будет испытывать деформации, связанные с разрушением откосов верхних уступов бортов под влиянием выветривания. Различают два вида выветривания: физическое — разрушение пород, обусловленное колебанием температур, вымыванием частиц и периодическим изменением влажности, и химическое — разложение пород с образованием вторичных минералов под действием воды, углекислоты и кислорода [7].

По характеру разрушения откосов под влиянием выветривания борта отработанных разрезов можно разделить на три группы:

1) борт в верхней части сложен слабыми породами, склонными к интенсивному выветриванию, имеет угол наклона меньше угла естественного откоса;

2) борт в верхней части сложен породами, склонными к интенсивному выветриванию, имеет угол наклона больший угла естественного откоса;

3) борт сложен породами, не склонными к интенсивному выветриванию.

Прогнозировать поверхностные деформации прибортовой полосы необходимо в зависимости от принадлежности разреза к одной из этих групп, используя приведенные ниже данные по характеру и параметрам деформирования верхней части борта.

Для первой группы характерно независимое осыпание откосов уступов, т. е. каждый уступ может, не затрагивая верхний и нижний, выположиться до угла естественного откоса. Сработка прибортовой полосы здесь связана с осыпанием только одного верхнего уступа. Если уступ выположится до угла естественного откоса $\alpha_0 = 28—33°$, то сработка прибортовой полосы составит не более половины высоты уступа. Для этой группы наиболее существенные деформации уступов связаны с эрозионным воздействием воды на слабые глинистые породы. Такие деформации проявляются в местах скопления или стока поверхностных и выхода грунтовых вод в виде оползней, захватывающих 1—2 уступа [15]. В местах неуправляемого стока поверхностных вод по откосам уступов, сложенным глинами, глинистыми песками, часто образуются промоины, рвы и даже овраги. Прибортовая полоса, охваченная такими деформациями на участках вредного действия подземных и поверхностных вод, может иметь ширину, превышающую в 2—3 раза высоту первого уступа или мощность покровных отложений.

Борта второй группы в практике ведения открытых работ встречаются довольно редко; к ним относятся мелкие разрезы в породах довольно слабых и средней крепости, глубокие разрезы в крепких породах, выветрелых до некоторой глубины. При угле наклона верхней части борта большем угла естественного откоса $\alpha > \alpha_0$ выположиться до угла естественного откоса может лишь верхний уступ;

все последующие уступы могут выположиться до α_0 только при условии «подработки» вышележащих уступов, т. е. верхняя часть борта с какого-то момента начинает осыпаться как сплошной откос. При большой глубине, когда осыпающийся материал смещается ниже зоны пород, склонных к интенсивному выветриванию, верхняя часть борта займет положение $A'B'$ (рис. 7); при малой глубине разреза, когда осыпающийся материал закрывает нижнюю часть зоны выветривающихся пород, верхняя часть борта занимает положение AB.

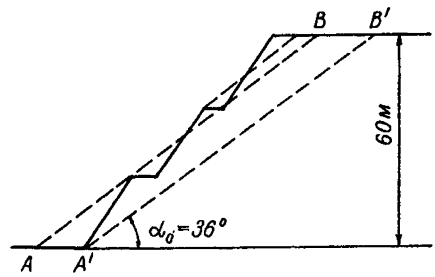


Рис. 7. Изменение профиля борта под влиянием выветривания

У бортов, сложенных породами, не склонными к интенсивному выветриванию, осыпание откосов связано со степенью разрушенности поверхностного слоя взрывом. Заоткошенный наклонными скважинами уступ может с течением времени осыпаться в верхней части на 2—3 м. Незаоткошенный уступ в верхней части осыпается значительно интенсивнее и на большую мощность; выполаживается такой уступ на отдельных участках до 45°.

4.7. При полном затоплении разреза верхняя часть борта превращается в берег водоема. Под воздействием воды начинается переработка берега, продолжающаяся до приобретения им устойчивой формы. Переработка берега происходит под совместным влиянием двух факторов: 1) разуплотнение поверхностного слоя до текучего состояния; 2) динамическое действие прибойной волны (переработке подвергаются берега, сложенные преимущественно слабыми породами). Берега, сложенные неразмокающими крепкими породами, под действием прибойной волны существенно не изменяют своего положения — откос уступа выполаживается так же, как при сухом состоянии, т. е. берег отступает на 2—3 м при заоткошенном уступе и на 5—10 м — при незаоткошенном.

После затопления разреза необходимо знать, на какую ширину и через какое время прибортовая полоса будет сработана водоемом. Для этого используются методы расчета переформирования берегов водохранилищ [23]. Наиболее простым и нашедшим применение в практике является метод, рекомендуемый Н. Е. Кондратьевым, для водохранилищ [23]. Эта методика приведена в приложении 5.

На рис. 8 в качестве примера приведены графики зависимости ширины срабатываемой прибортовой зоны от ширины разрезов для условий угольных месторождений Урала.

Эти графики могут быть использованы для ориентировочных расчетов на других разрезах в аналогичных условиях (данные для расчета приведены в приложении 5).

Интенсивность переработки берега зависит от сопротивляемости горных пород размыву. Для разрезов средних размеров, борта кото-

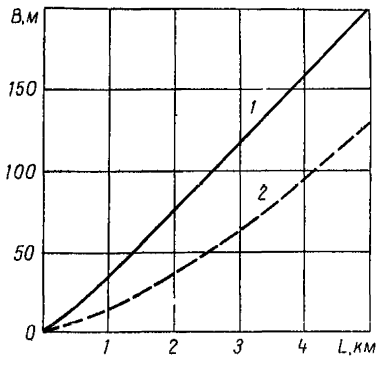


Рис. 8. Ширина сработанной прибортовой полосы в зависимости от ширины разреза:

1 — для разрезов комбинатов Челябинскуголь и Башкируголь, *2* — для североуральских разрезов

рых в верхней части сложены суглинками, глинами и весьма слабыми угленосными отложениями, ширина сработки прибортовой полосы может достигать 50—100 м; ориентировочный период полного переформирования берега около 10—15 лет.

4.8. Прогноз деформаций земной поверхности на основе детального изучения всех факторов, влияющих на длительную устойчивость бортов, используется при составлении проекта доработки разреза и его ликвидации. В связи с большой изменчивостью структуры горных пород и обычно недостаточно полной ее изученностью в бортах предельного контура разреза, действительные деформации прибортовой полосы могут существенно отличаться от прогнозируемых; это обусловливает необходимость организации инструментальных маркшейдерских наблюдений за деформациями верхней части борта и прибортовой полосы при подходе бортов к предельному контуру, когда их коэффициент запаса устойчивости становится менее 1,5.

Наблюдения ведутся на спаренных маркшейдерских линиях, заложенных на прибортовой полосе и верхних уступах борта. Длина линий должна быть больше ширины общей зоны деформирования прибортовой полосы и определяется в соответствии с табл. 3 — опорные реперы располагаются на расстоянии $1{,}3—1{,}5A$ от бровки борта.

Закладка линий и наблюдения по ним производятся согласно инструкции [1].

Серии наблюдений в зависимости от интенсивности отработки борта проводятся от одной до четырех в год — примерно одна серия при изменении коэффициента запаса устойчивости на 3—5%.

Отсутствие смещений реперов, заложенных на прибортовой полосе, указывает, что коэффициент запаса устойчивости борта $n \geq 1{,}3$.

Смещения реперов на прибортовой полосе в пределах 50—100 мм показывают, что коэффициент запаса устойчивости находится в пределах $n=1{,}2—1{,}25$. Дальнейшая отработка борта должна вестись с учетом этого выявленного наблюдениями факта. При отсутствии охраняемых объектов на прибортовой полосе, где отмечены подвижки, отработку борта под контролем маркшейдерских наблюдений можно продолжать. При наличии охраняемых объектов отработку борта нужно прекратить или вести ее под контролем учащенных маркшейдерских наблюдений так, чтобы не снижать коэффициент устойчи-

вости (равномерная отработка во всей высоте борта, пригрузка нижней части борта отвалами и др.).

5. МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОПАСНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИБОРТОВОЙ ПОЛОСЫ

5.1. Необходимость мер предотвращения деформации бортов отработанных разрезов может возникнуть при охране существующих сооружений на прибортовой полосе, при решении вопросов застройки или при использовании прибортовой полосы в других целях. В зависимости от принятых условий содержания разреза и степени устойчивости бортов мероприятия по обеспечению нормальных условий использования прибортовой полосы могут быть весьма простыми, не требующими больших затрат, или трудоемкими и дорогостоящими.

По целевому назначению мероприятия делятся на две группы:

1) направленные против глубинных деформаций;

2) направленные против поверхностных деформаций верхней части борта.

5.2. Для предотвращения глубинных деформаций бортов должен быть применен один из следующих основных способов, определяемый комиссией с участием проектной и научно-исследовательской организаций.

Подпор нижней части борта отвалом пород. Применяется при недостаточно надежном коэффициенте запаса устойчивости борта как при затоплении, так и при сухом состоянии отработанного разреза. Объем подвалки определяется расчетом устойчивости при минимально допустимом коэффициенте запаса устойчивости $n=1{,}3$ по соответствующей схеме расчета [2].

Выполаживание борта. Применяется тогда, когда предрасчеты устойчивости показывают, что возможно два цикла оползня с нарушением широкой прибортовой полосы земной поверхности. Параметры борта в выположенном состоянии определяются расчетом на самый опасный период затопления разреза.

Оставление предохранительных целиков. Способ применяется для охраны дорогостоящих сооружений на прибортовой полосе земной поверхности.

Дренаж бортов. Используется как временная мера в тех случаях, когда при затоплении коэффициент устойчивости на продолжительное время становится меньше единицы.

Быстрое затопление разреза. Оно эффективно в двух случаях:

— когда можно создать в достаточной степени опережение поднятия воды в разрезе над поднятием уровней в бортах;

— при бортах, сложенных весьма слабыми породами, когда интенсивное размокание пород на урезе воды ведет к образованию местных оползней, которые постепенно могут захватить весь борт.

5.3. Мероприятия против развития поверхностных деформаций определяются комиссией с участием проектной и научно-исследовательской организаций. Основными являются следующие:

Профилактические мероприятия. Включают: дренаж площадок уступов и земной поверхности вокруг разреза, заоткоску уступов и их пригрузку или укрепление на тех участках, где возможно оползание откосов уступов.

Упорядочение стока поверхностных вод и организация эффективного дренажа верхних водоносных горизонтов [1, 15] является обязательным мероприятием для предотвращения оползней уступов, сложенных слабыми и средней прочности горными породами. Этой же цели служит и заоткоска уступов слабых и средней прочности пород, которая должна проводиться в соответствии с инструкцией [1].

Мероприятия против возникающих оползней и обрушений отдельных участков уступов.

Фильтрационные оползни ликвидируются путем отгрузки оползневой массы и пригрузки фильтрующего откоса призмой из скальных пород (рис. 9).

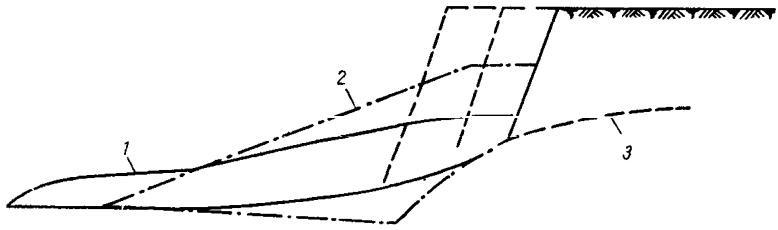


Рис. 9. Пригрузка фильтрующего откоса призмой из скальных пород:

1 — оползневый массив, *2* — пригрузочная призма, *3* — уровень грунтовых вод

Для прекращения контактных оползней, связанных с разуплотнением пород, в зависимости от стадии их развития применяется несколько способов. При начальной стадии развития, когда оползень характеризуется на прибортовой полосе в виде заколов и трещин, эффективен подпор откоса отвалами с одновременной планировкой поверхности для стока воды и покрытие участков проникновения воды в массив слоем жирной глины мощностью до 0,5—0,7 м. В том случае, когда развитие оползня достигло активной стадии (подвижка оползневого массива более 5—10 м), для предотвращения развития второго цикла оползневый массив следует отгрузить и заоткосить участок под более пологим углом, обеспечив при этом хороший поверхностный дренаж.

С целью охраны ответственных сооружений, расположенных близко от верхней бровки уступа, может возникнуть необходимость в **мероприятиях по искусственному укреплению откосов** на отдельных участках. К таким участкам в первую очередь относятся: 1) участок

с коэффициентом запаса устойчивости n < 1,5; 2) участки, где имеется подрезка слоев или отдельных естественных поверхностей ослабления; 3) участки, на которых маркшейдерскими наблюдениями выявлены деформации верхней площадки уступа. Способ укрепления для конкретных условий можно выбрать из пособий [24, 25].

Мероприятия против разрушения откосов уступов атмосферными водами. Чтобы прекратить развитие оврагов на участке стока ливневых вод необходимо устраивать укрепленные водостоки. Для предотвращения эрозионных процессов на откосах слабых песчано-глинистых пород следует их покрывать растительным слоем.

Разрушение верхней части борта прибойной волной на затопленном разрезе предотвращается применением пригрузки размываемого откоса щебнем скальных пород. При большой высоте первого уступа объем защитной призмы значителен (на рис. 10 призма показана штриховой линией). После того, как откос на 20—30 м будет

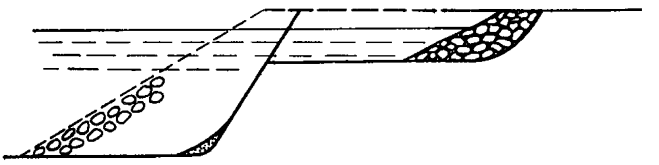


Рис. 10. Пригрузочная призма против размыва берега

сработан и образована береговая отмель на глубине не более 3 м, скального материала для устройства защитной призмы потребуется в несколько раз меньше.

5.4. Выбор мер предотвращения деформаций прибортовой полосы зависит от многих факторов, основными из которых являются: 1) условия содержания разреза, 2) наличие средств осуществления мероприятия, 3) экономическая целесообразность. Для неглубоких разрезов, вне зависимости от срока охраны прибортовой полосы, чаще всего целесообразным будет подпор нижней части борта отвалом пород. На разрезах средней глубины при временной охране поверхности наиболее экономически целесообразным является продолжение дренажа бортов. При постоянной охране поверхности, если есть соответствующие условия, рациональным является быстрое затопление разреза в комбинации с подпором нижней части борта отвалом пород. Для глубоких разрезов при постоянной охране прибортовой полосы некоторые меры могут оказаться неприемлемыми из-за больших затрат (подпор, выполаживание) или из-за технической невыполнимости (обеспечение быстрого затопления при больших объемах вряд ли осуществимо). В этих условиях даже при большом сроке охраны может оказаться экономически целесообразным поддержание дренажа бортов отработанного разреза.

5.5. Расположение любых сооружений на прибортовой полосе земной поверхности **при коэффициенте запаса устойчивости борта n ≥ 1,3**

во все время существования отработанного разреза безопасно, поскольку прибортовая полоса испытывает деформации, не превышающие $2 \cdot 10^{-4}$. Безопасность таких сооружений должна быть рассмотрена с точки зрения влияния поверхностных деформаций, связанных с устойчивостью верхней части борта и вредным воздействием поверхностных и грунтовых вод. Если сооружение расположено на расстоянии не более 25 м от бровки борта, то проводится расчет устойчивости верхней части борта высотой 50—70 м с учетом влияния внешней нагрузки [2, 19]. При $n=1,5$ сооружению не будут угрожать деформации.

При $n=1,25—1,5$ необходимо принять меры к увеличению устойчивости верхней части борта (подпорная стенка, контрфорсы и т. п.) и контролировать состояние сооружения и прибортовой полосы маркшейдерскими наблюдениями; при обнаружении деформаций применить меры защиты сооружения как для подрабатываемой площадки III группы [26]. По условиям поверхностного разрушения откоса от выветривания ширина предохранительной бермы должна быть не меньше верхнего уступа. Против деформаций, связанных с действием воды, необходимо принять соответствующие меры (см. п. 5.3).

При коэффициенте запаса устойчивости борта $n=1,2—1,25$ любые сооружения, расположенные на расстоянии $1,3A$ ($A=a$ — ширина возможной призмы обрушения) от верхней бровки борта, не будут испытывать опасных деформаций (см. п. 4.3). Для сооружений, расположенных в пределах возможной призмы обрушения, необходимо принять меры защиты как для подрабатываемой площадки IV группы [26].

При коэффициенте запаса устойчивости борта $n=1,1—1,15$ условия существования сооружений на прибортовой полосе определяются как в п. 4.4 с увеличением ширины зон в 1,3 раза (вводится запас в ширину предохранительной бермы $0,3A$). Расположение сооружений за общей зоной деформирования, т. е. на расстоянии $1,3A$ от бровки борта, является безопасным. Если сооружение расположено в зоне малых деформаций, т. е. дальше чем $1,3A'$ и ближе чем $1,3A$ от бровки борта, для его охраны нужно принять меры, повышающие устойчивость борта до $n=1,25$ или применить меры защиты, как для подрабатываемой площадки IV группы [26]. Для охраны сооружения, расположенного в возможной призме обрушения, т. е. на расстоянии до $1,3A'$ от бровки борта, необходимо принять меры к повышению коэффициента устойчивости борта до $n=1,3$ на наиболее опасный период затопления разреза.

При коэффициенте устойчивости борта $n \leqslant 1,05$ условия существования сооружений на прибортовой полосе определяются способом, изложенным в п. 4.5. Расположение сооружений за общей зоной деформирования, т. е. на расстоянии $1,3A$ от бровки борта, является безопасным. Меры охраны сооружений, расположенных в пределах возможной зоны деформирования, при снижении коэффициента устойчивости до $n \leqslant 1,05$ определяются так же, как для борта с $n=1,1—1,15$. Отличие заключается в том, что здесь нужно принимать меры,

которые обеспечивают большее увеличение коэффициента запаса устойчивости (на 25—30%); такими мерами являются выполаживание борта с оставлением целика полезного ископаемого или распор нижней части борта призмой отвальных пород. Однако оба эти способа дорогостоящие и чаще всего оказываются экономически нецелесообразными уже при глубине разреза более 200 м.

5.6. Вновь строящиеся сооружения нужно располагать за общей зоной деформирования, т. е. на расстоянии $1{,}3A$ от бровки борта, при его коэффициенте запаса устойчивости на наиболее опасный период от 1 до 1,25. При необходимости сооружения могут быть построены в зоне малых деформаций, т. е. на расстоянии $1{,}3A^1$ от бровки борта, но в этом случае для них должны предусматриваться конструктивные меры как для сооружений, располагающихся на подрабатываемых площадках IV группы [26].

В районах повышенной сейсмичности, где возможны землетрясения значительной силы, строящиеся сооружения вне зависимости от коэффициента запаса устойчивости бортов нужно располагать на расстоянии не менее $1{,}3A$ от бровки борта, где A ширина общей зоны деформирования, принятая при двух циклах оползня (см. табл. 4).

5.7. При полном затоплении разреза необходимо всегда принимать меры против сработки верхней бровки прибойной волной, поскольку ширина нарушенной части земной поверхности в противном случае будет значительной — до 50—100 м. Экономически целесообразным может оказаться принятие мер против оползней и обрушений, когда расчеты показывают, что ширина нарушенной зоны будет значительной.

5.8. Для обеспечения безопасности населения и животных после ликвидации разреза необходимо сделать ограждение на прибортовой полосе вокруг отработанного разреза. При ожидаемом коэффициенте запаса устойчивости бортов $n > 1{,}2$ деформации прибортовой полосы незначительны, и ограждение от верхней бровки нужно устанавливать на расстоянии не менее чем высота первого уступа. При $n < 1{,}15$, когда прибортовая полоса испытывает значительные деформации, ограждение нужно устанавливать от бровки борта на расстоянии $1{,}2A^1$, где A^1 — ширина зоны больших смещений (определяется согласно пп. 4.4, 4.5).

Приложение 1

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МАССИВА С УПОРЯДОЧЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТЬЮ

Коэффициент структурного ослабления λ определяется как произведение частных коэффициентов, отражающих влияние отдельных факторов [11]:

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \ldots \lambda_n .$$

За основную простейшую структуру принята кирпичная кладка из кубических блоков одинаковой прочности; при направлении действия первого главного напряжения перпендикулярно слоям для массива с такой структурой прочность определяется двумя факторами — интенсивностью трещиноватости и прочностью блоков. Коэффициент структурного ослабления λ_w для этих условий определяется по графику (рис. 11) для заданного отношения H/l по кривой, соответствующей прочности породы на одноосное сжатие, где H — мощность

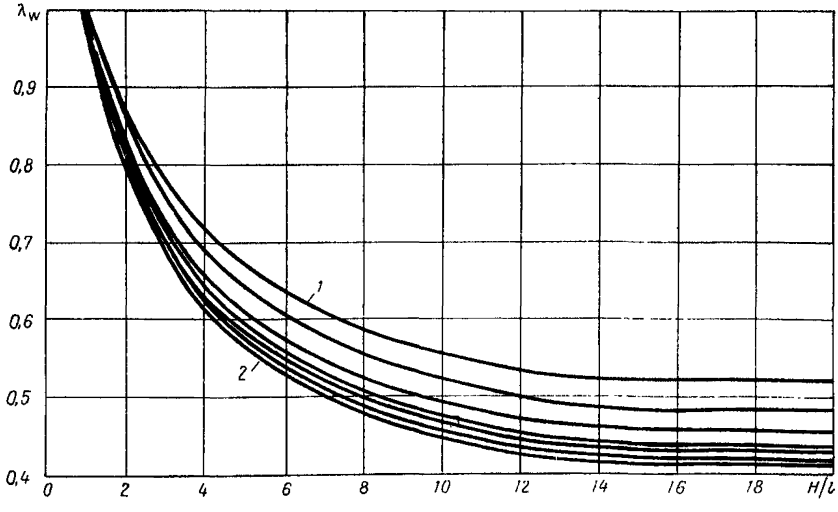


Рис. 11. График зависимости коэффициента структурного ослабления от H/l и σ°:

1 — σ°=20 кгс/см²; *2* — σ°=80—100 кгс/см²

деформирующегося массива, l — линейный размер блока. Для массивов более сложных по структуре, прочности и напряженному состоянию в этот основной коэффициент структурного ослабления λ_w вводятся поправки, учитывающие наиболее существенные факторы, влияющие на прочность трещиноватого массива. Ниже приведены факторы и формулы для определения этих поправок.

1. Разнопрочность пород. При известном содержании в массиве слабых по прочности структурных блоков величина структурного ослабления определяется по формуле:

$$\lambda_{p.n} = \frac{\lambda_w \sigma^0 - \alpha(\lambda_w \sigma^0 - \lambda_{min} \sigma^0_{min})}{\sigma^0 \lambda_w},$$

где σ^0 — прочность на одноосное сжатие для крепких блоков; α — коэффициент, зависящий от процентного содержания слабых блоков, берется по графику (рис. 12). λ_{min} — коэффициент структурного ослабления массива, сложенного только из слабых по прочности блоков; σ^0_{min} — прочность на одноосное сжатие для слабых блоков.

Для массива с явно выраженной разнопрочностью данные о процентном содержании слабых блоков можно получить непосредственным изучением структуры на обнажениях откосов.

В однородных породах результаты испытаний на прочность могут подчиняться нормальному закону распределения, если нет существенной разницы в прочности структурных блоков, и крайне асимметричному или двухвершинному распределению, если эта разница существует. Первый случай более характерен для пород слабых, второй — для скальных и полускальных.

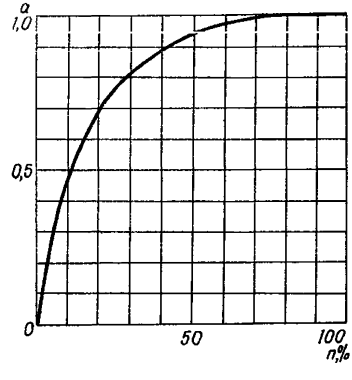


Рис. 12. График зависимости коэффициента разнопрочности α структурных блоков от процентного содержания в массиве блоков малой прочности n

Установить характер распределения результатов испытаний можно с помощью графического изображения вариационного ряда в виде полигона, который строится в прямоугольной системе координат.

При большом числе данных испытаний по оси абсцисс отмечаются точки, соответствующие значениям середин интервалов, из них восстанавливаются от оси абсцисс перпендикуляры, на которых откладывают отрезки, пропорциональные частотам. Вершины ординат соеди-

няют между собой. Оптимальная величина интервала определяется по формуле:

$$h = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3{,}2 \lg n},$$

где x_{max}, x_{min} — соответственно максимальное и минимальное значения характеристик прочности; n — общее число испытанных образцов.

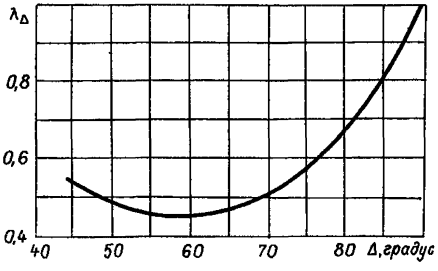


Рис. 13. График зависимости λ_Δ от Δ

При малом объеме испытанных образцов пород (менее 30) полигон распределения состоит из отдельных значений характеристик прочности и соответствующих им частот.

В результате построения полигона, если распределение результатов испытаний соответствует нормальному, фактор разнопрочности структурных блоков не учитывается и, наоборот, он учитывается при определении прочности массива при двухвершинном или крайне асимметричном распределении результатов испытаний пород.

2. Форма структурных блоков. При ромбической форме в зависимости от величины двухгранного угла Δ коэффициент структурного ослабления может уменьшаться более чем в два раза (рис. 13). Практически угол Δ определяется из фактических замеров элементов залегания трещин.

3. Неизометричность структурных блоков. В зависимости от отношения линейных размеров блоков b/a (b — вертикальный, a — горизонтальный) коэффициент структурного ослабления изменяется в пределах:

— при $0{,}5 < b/a < 1$ коэффициент $\lambda_н = 1{,}15 - 0{,}15 b/a_1$;

— при $1 < b/a < 2{,}5$ коэффициент $\lambda_н = 1 - (b/a - 1)$.

При $H/b > 12$—15, когда изменение относительной интенсивности трещиноватости не влияет на λ (см. рис. 11), фактор изометричности блоков не учитывается.

4. Взаимное положение блоков в соседних слоях. Для массивов, в которых трещины часто пересекают слои, без сколько-нибудь значительной погрешности можно принимать $\lambda_{\Delta\alpha} = 0{,}8$ (рис. 14).

5. Направление действия первого главного напряжения в массиве. Коэффициент структурного ослабления от этого фактора определяется по графикам (рис. 15), где по оси абсцисс отложено отношение $\operatorname{tg}\beta / \operatorname{tg}\rho'$: для падения слоев в сторону выемки (кривая *1*) и в сторону массива (кривая *2*). При падении слоев под углом $\beta \geq \rho'$ коэффициент структурного ослабления опре-

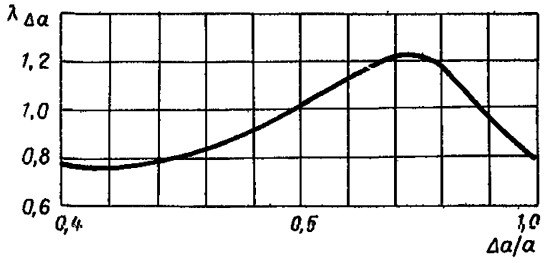


Рис. 14. График зависимости коэффициента структурного ослабления $\lambda_{\Delta a}$ от отношения $\Delta a/a$

$\lambda_{\Delta a}$ — горизонтальный размер блока; Δa — величина смещения верхнего блока по отношению к нижнему

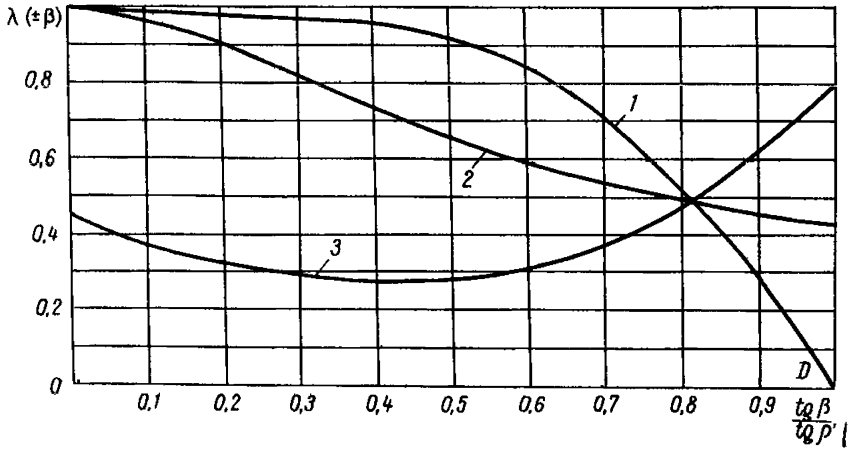


Рис. 15. Графики зависимости λ_β от угла β при условии падения слоев в сторону:

1 — выемки под углом $(+\beta) \leqslant \rho'$, *2* — массива под углом $(-\beta) \geqslant \rho'$, *3* — массива под углом $(-\beta) < \rho'$

деляется по кривой *3*, для которой по оси абсцисс отложена величина $D = \sin\beta - \cos\beta \operatorname{tg}\rho'$. Для всех графиков β — угол между направлением первого главного напряжения и нормалью к наслоению, ρ' — угол трения по контактам слоев.

6. Кососекущие трещины. Величина коэффициента λ_m, учитывающего этот фактор, определяется по графику (рис. 16) в зависимости от процентного содержания кососекущих трещин, имеющих падение в сторону откоса. Под кососекущими здесь понимаются такие трещины, которые пересекают основные системы под углом 40—45° и делят прямоугольный или ромбический структурный блок пополам. Практически величина m определяется подсчетом замеров элементов залегания кососекущих трещин на круговой диаграмме. Поскольку влияние этого фактора на коэффициент структурного ослабления весьма велико, нужно величину m определять по многим диаграммам. Кроме того, в некоторых случаях значение m можно найти по интенсивности трещиноватости, определив на откосах интенсивность и среднюю протяженность кососекущих трещин, при известном размере структурных блоков можно узнать и их процентное содержание.

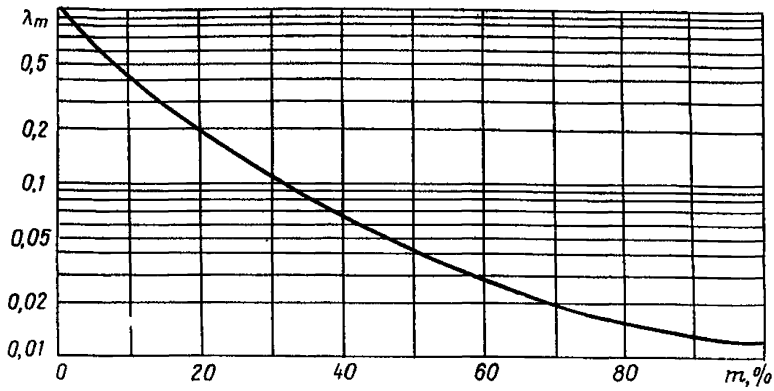


Рис. 16. График зависимости коэффициента λ_m от числа наклонных в сторону выемки прерывистых трещин m (%)

Приведенная выше методика определения прочности массива применима в первую очередь для слоистых пород. При определении общего коэффициента структурного ослабления слоистого массива практически всегда учитывают факторы 2, 5, 6:

$$\lambda = \lambda_w \lambda_\Delta \lambda_6 \lambda_m .$$

Факторы 1, 3, 4 учитываются тогда, когда при изучении структуры достаточно четко выявлено наличие этих факторов в данном массиве.

В неслоистом массиве данная методика рекомендуется для определения λ при четко выраженных трех системах трещин, когда они хорошо видны на откосах уступов, а сопутствующие им одна или две системы кососекущих трещин носят явно подчиненный характер. За слоистость в таком массиве принимается система трещин, имеющих наибольшее протяжение.

Приложение 2

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ИСПЫТАНИЕМ ОБРАЗЦОВ В ПОЛЗУЧЕ-РЕЛАКСАЦИОННОМ РЕЖИМЕ

Основой для определения длительной прочности служит следующее положение, вытекающее из результатов испытания по классической методике: равновесное состояние, когда при имеющейся нагрузке на образец его деформации прекращаются, соответствует одной из точек кривой бесконечно медленного нагружения. Такое состояние можно получить, передавая нагрузку на образец через динамометр, деформация которого автоматически вызывает соответствующее падение нагрузки. К образцу прикладывается нагрузка, составляющая какую-то часть от предела прочности при кратковременном (стандартном) испытании. Под воздействием нагрузки в образце развиваются деформации ползучести, вызывающие в свою очередь падение создаваемой прессом нагрузки. Процесс снижения нагрузки длится до тех пор, пока не прекратятся деформации образца и не наступит равновесное состояние между передаваемой образцу нагрузкой и внутренними силами сопротивления породы. Нагрузка и величина деформации характеризуют одну точку на кривой бесконечно медленного нагружения.

Испытания с этой целью проводятся следующим образом. На образец дается нагрузка, составляющая 30—50% от разрушающей (стандартной прочности). После полной стабилизации нагрузки и прекращения деформаций на образец дается нагрузка, несколько большая первоначальной, и образец опять оставляется до момента полной стабилизации нагрузки и прекращения деформаций. Такие циклы нагружения продолжаются до тех пор, пока стабилизирующаяся нагрузка в данном цикле не будет меньше, чем в предыдущем.

Полное испытание длится в пределах 5—10 сут в зависимости от пластических свойств пород. Образец при испытании нужно изолировать от окружающей среды (поместить в резиновую оболочку, изоленту и т. п.), а после испытания проверить его влажность.

По данным испытания строится график зависимости нагрузок и деформаций. Кривая, соединяющая точки со стабилизировавшимся во времени напряжением в циклах, до верхней точки A (рис. 17) является участком бесконечно медленного нагружения. В нисходящей части AB эта кривая характеризует длительную остаточную прочность породы в зоне преобладающего пластического необратимого деформирования, когда деформация образца превышает предельную $\varepsilon_{пр}$, соответствующую пределу длительной прочности (см. рис. 17).

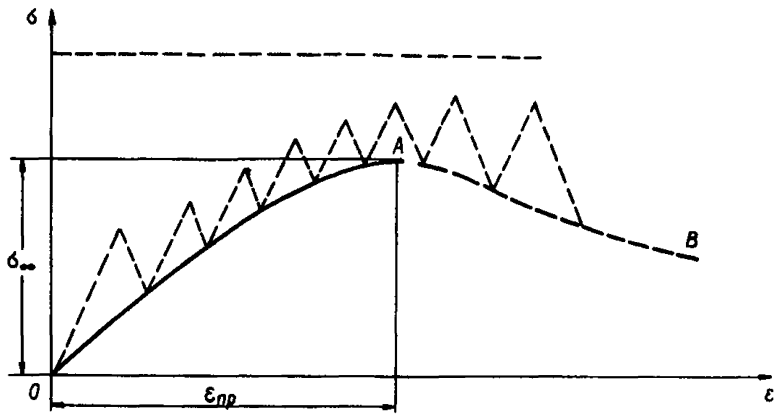


Рис. 17. График определения длительной прочности по предлагаемой методике

Анализом результатов испытания образцов на длительную прочность выявлена хорошо прослеживаемая закономерность деформирования пород, которая позволяет значительно упростить методику испытаний. Установлено, что график зависимости деформаций ε от величины напряжений σ как при быстром равномерном нагружении, так и при бесконечно медленном, построенный в логарифмических координатах, становится прямолинейным (рис. 18), это свидетельствует о степенной зависимости

$$\sigma = A\varepsilon^m ,$$

где A — параметр функции с размерностью напряжения; m — тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.

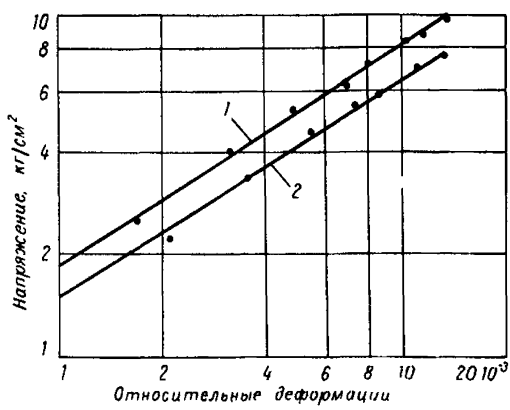


Рис. 18. График зависимости деформации от величины напряжения в кратковременном (*1*) и длительном (*2*) режимах

Коэффициент m для обоих графиков одинаков (прямые параллельны между собой). Это значит, что при одинаковой деформации отношение напряжения длительного нагружения к напряжению быстрого нагружения равны во всех частях графика, т. е. коэффициент длительной прочности $\eta = \sigma_\infty / \sigma_{cm}$ можно определить по любому промежуточному значению деформации при известных соответствующих ей напряжениях быстрого σ'_{cm} и длительного σ'_∞ нагружения.

Ускоренный метод определения длительной прочности по одному циклу нагружения сводится к следующему. Образец с определенной, обязательно постоянной, скоростью нагружается до величины начального напряжения $\sigma_н$, составляющего 50—80% от стандартной прочности, и отсчитывается соответствующая ему деформация $\varepsilon_н$. В процессе нагружения при напряжении, составляющем 10—15% от стандартной прочности, берется отсчет σ_1, ε_1. После установления равновесного состояния берется отсчет σ'_∞ и $\varepsilon_к$.

Коэффициент длительной прочности определяется по формуле:

$$\eta = \frac{\sigma'_\infty}{\sigma_н \left(\frac{\varepsilon_к}{\varepsilon_н}\right)^m},$$

где

$$m = \frac{\lg \sigma_н - \lg \sigma_1}{\lg \varepsilon_н - \lg \varepsilon_1}.$$

Долговременная прочность на одноосное сжатие определяется прямыми испытаниями высоких образцов под сжимающей нагрузкой. Для получения полного графика длительной прочности нужно провести не менее трех испытаний на срез. При косом срезе одним испытанием определяется полное напряжение, характеризующее длительную прочность на сдвиг при данном угле среза. На одноплоскостных срезных приборах, где нормальные и касательные нагрузки создаются независимо, при заданном нормальном напряжении определяется касательное напряжение, характеризующее длительную прочность на сдвиг. При испытаниях на таких приборах необходимо касательную нагрузку передавать через динамометр.

Для пород крепких и средней крепости угол внутреннего трения не изменяется от длительности испытания, поэтому для них коэффициент η, полученный при испытании на одноосное сжатие и косой срез, прямо используется для определения величины длительного сцепления: $k_\infty = \eta k_0$. Для неуплотненных пород типа глин и суглинков и слабоуплотненных выветрелых пород типа аргиллитов, алевролитов и сланцев нужно получать график длительной прочности независимо от графика стандартной прочности, поскольку для таких пород угол внутреннего трения не всегда может быть постоянным.

При длительном воздействии нагрузок горные породы со временем разрушаются, если действующие напряжения больше предела длительной прочности и меньше стандартной (кривая *1* на рис. 19), или испытывают затухающие деформации, если действующие напряжения меньше предела длительной прочности (кривая *2*).

Первая кривая выражает расчетную прочность в зависимости от срока службы сооружения. По скорости разрушения горной породы кривую на графике можно разделить на два участка: крутой, где

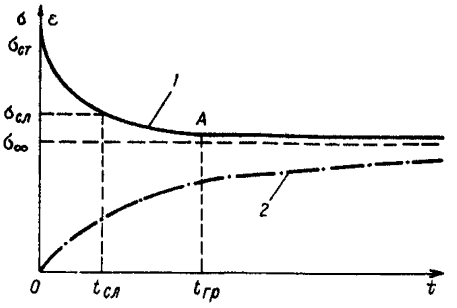


Рис. 19. Зависимость времени разрушения горных пород (*1*) и времени затухания деформаций (*2*) от величины действующей нагрузки

разрушение породы происходит быстро, и пологий, где порода не разрушается длительное время.

Определение длительной прочности контактов слоев горных пород

Длительная прочность по контактам слоев определяется по той же методике, что и для образцов на срез (см. п. 3.2). Контактирующие образцы, изолированные от окружающей среды резиновой оболочкой, испытываются в срезном приборе. Образец нагружается нормальной нагрузкой, после чего к нему прикладывается касательная нагрузка, меньшая, чем при стандартном испытании (быстрый сдвиг). Под действием касательной нагрузки на контакте происходят деформации ползучести, которые вызывают, в свою очередь, снижение касательной нагрузки (разжатие динамометра). По истечении определенного времени деформации на контакте прекращаются, сдвигающая нагрузка стабилизируется. Сдвигающая нагрузка увеличивается на 20—30%; так повторяется до тех пор, пока стабилизирующаяся касательная нагрузка не станет постоянной (рис. 20); она и будет характеризовать длительную прочность на сдвиг для данного нормального напряжения. Испытание длительной прочности контакта (см. рис. 20) можно значительно ускорить, прикладывая сразу сдвигающую нагрузку к образцу, т. е. доводя деформации на контакте до горизонтального участка деформационной кривой при быстром нагружении. Единичное испытание при одной нормальной нагрузке длится 2—3 сут.

По трем-четырем испытаниям, проведенным при различных нормальных напряжениях, получается график длительной прочности одного контакта. Для весьма слабых пород два-три испытания должны быть проведены при $\sigma_n > \sigma'_n$.

Условия разуплотнения контактов слоев на разрезах следующие. Перед началом работы разреза контакт на глубине H имеет влажность—плотность, соответствующую эффективному вертикальному давлению γH или $H(\gamma - 1)$. В борту разреза часть вертикального давления снимается, и порода на контакте получает возможность для разуплотнения до приобретения ею влажности—плотности, соответствующей новому напряженному состоянию, которое характеризуется появлением наряду с нормальным напряжением и касательного.

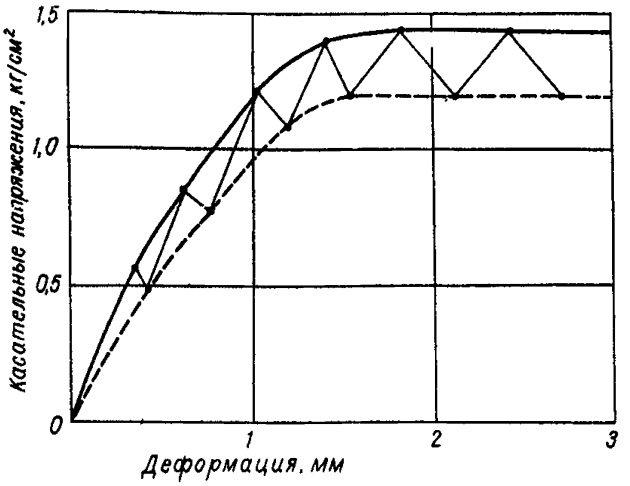


Рис. 20. Зависимость деформации от сдвигающего напряжения на контакте при испытании на длительную прочность

Таким условиям разуплотнения соответствует следующая методика испытаний. К образцам с обводненным контактом, находящимся под нормальной нагрузкой, прикладывается через динамометр предельное касательное усилие, при котором по контакту происходит смещение. В этом положении образец оставляется на длительное время до полной стабилизации касательной нагрузки (длительная прочность). Затем часть нормальной нагрузки снимается. Под действием воды, разуплотняющей породу на контакте, и касательной нагрузки возобновляется медленный сдвиг верхнего образца и уменьшается соответственно касательная сила. Через 2—3 сут сдвиг полностью заканчивается, что возможно при полном прекращении пластических деформаций и разуплотнения на контакте. Установившаяся касательная нагрузка определяет прочность на сдвиг разуплотненного контакта при данной нормальной нагрузке.

Испытания нескольких разновидностей контактов по этой методике показали, что график прочности на сдвиг разуплотненных контактов совпадает с графиком длительной прочности обводненных контактов. Отсюда следует важный вывод, что методика определения длительной прочности обводненных контактов учитывает изменение прочности, обусловленное разуплотнением контактирующих пород.

МЕТОДИКА УЧЕТА СОВМЕСТНОЙ ДЛИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СЛОЕВ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ РАЗРЕЗОВ

Для многослойной толщи, представленной породами с весьма различными деформационными свойствами, во ВНИМИ разработана методика определения общего сопротивления сдвигу вкрест наслоения [27, 28]. Ниже она изложена в удобном для практического пользования виде.

По данным испытаний образцов на длительную прочность на срез строится совмещенный график приведенных кривых бесконечно медленного нагружения разных пород многослойной толщи. По оси абсцисс на нем откладываются деформации сдвига, по оси ординат — относительные величины касательных напряжений (рис. 21).

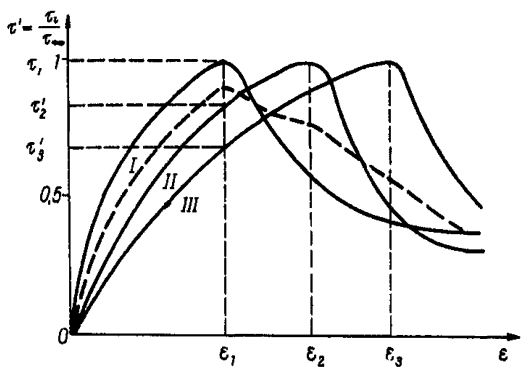


Рис. 21. График кривых бесконечно медленного нагружения при сдвиге слоев с различными деформационными характеристиками

$$\tau' = \frac{\tau_i}{\tau_{пр}},$$

где τ_i и $\tau_{пр}$ — частное и предельное сопротивление сдвигу при данном нормальном напряжении.

При других видах испытаний (сжатие, косой срез) общий характер деформирования одной породы, по-видимому, сохраняется, а соотношение между предельными деформациями разных пород остается одинаковым. Это дает возможность получить аналогичный график по длительным испытаниям на сжатие или косой срез и использовать этот график для касательных напряжений, поскольку с достаточной точностью можно считать, что

$$\frac{\sigma_i}{\sigma_\infty} = \frac{\tau_i}{\tau_\infty},$$

σ_i и σ_∞ — частное и предельное длительное сопротивление сжатию или косому срезу.

Для любых заданных величин сдвига и нормальной нагрузки среднее сопротивление сдвигу слоистой толщи определяется по формуле

$$T = \Sigma \tau_{\infty i}\, l_i\, \tau_i',$$

$\tau_{\infty i}$ — предельное сопротивление длительному сдвигу породы слоя при данном нормальном напряжении; τ_i' — относительное сопротивление сдвигу породы слоя при заданном ε ; l_i — длина линии скольжения по слою породы. Так по графику (см. рис. 21) при предельной деформации сдвига ε_i для наиболее жесткого слоя общее сопротивление сдвигу будет равно

$$T = \tau_{\infty_1} l_1 + \tau_{\infty 2}\, l_2 \tau_2' + \tau_{\infty 3}\, l_3 \tau_3'.$$

Исследования деформационных свойств пород показали, что предельные деформации сдвига горных пород, при которых происходит их разрушение, не зависят от нормальных напряжений [12], что дает возможность использовать график приведенных кривых бесконечно медленного нагружения (см. рис. 21) для любых нормальных напряжений. В этом случае формула для определения коэффициента запаса устойчивости при алгебраическом сложении сил по поверхности скольжения имеет следующий вид:

$$n = \frac{(N_i \operatorname{tg} \rho_i + k_i l_i)\tau_i'}{\Sigma T_i}, \qquad (2)$$

где N_i и T_i — нормальные и касательные составляющие веса расчетных блоков в каждом слое (рис. 22); k_i — сцепление пород в слое

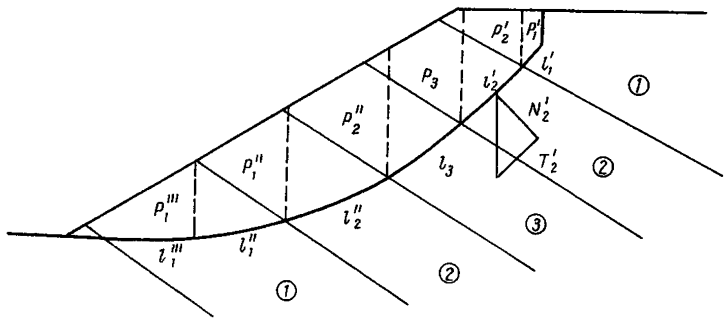


Рис. 22. К расчету устойчивости откосов при совместной работе слоев

при длительных испытаниях; l_i — длина линии скольжения по слою; ρ_i — угол внутреннего трения пород в слое с паспорта длительной прочности; τ'_i — относительное сопротивление сдвигу пород слоя при заданной деформации ε (определяется по рис. 21).

Максимальное сопротивление сдвигу слоистой толщи n по формуле (2) вычисляется 3—4 раза для различных деформаций (например, ε_1, ε_2, ε_3 на рис. 21). Максимальное значение коэффициента запаса n будет искомым для данной поверхности скольжения.

В анизотропном массиве, когда расчет устойчивости ведется методом многоугольника сил, в зоне обыкновенного равновесия, где поверхность скольжения пересекает слои, совместная работа слоев с разными деформационными характеристиками учитывается следующим образом:

1) примерно строится откос и поверхность скольжения;

2) на участке, где поверхность скольжения пересекает слои, для каждого слоя находится нормальная составляющая веса вертикального столба пород N_i, действующая на отрезок поверхности скольжения l_i в слое;

3) для трех-четырех значений ε определяется общее сопротивление толщи сдвигу:

$$T = \Sigma (N_i \operatorname{tg} \rho_i + k_i l_i) \tau'_i .$$

4) для деформации ε, при которой общее сопротивление максимальное, определяется средневзвешенное значение сцепления и угла внутреннего трения:

$$k_{ср} = \frac{k_1 \tau'_1 l_1 + k_2 \tau'_2 l_2 + \ \dots \ + k_n \tau'_n l_n}{l_1 + l_2 + \ \dots \ + l_n}, \qquad (3)$$

$$\operatorname{tg} \rho_{ср} = \frac{\operatorname{tg} \rho \ N_1 \tau_1 + \operatorname{tg} \rho_2 N_2 \tau'_2 + \ \dots \ + \operatorname{tg} \rho_n \ N_n \tau'_n}{N_1 + N_2 + \ \dots \ + N_n}. \qquad (4)$$

Полученные по формулам (3), (4) значения сцепления и угла внутреннего трения используются при расчете методом многоугольника сил.

Учитывая степенную зависимость между напряжениями и деформациями (см. приложение 2), формула (2) для коэффициента запаса устойчивости по методу алгебраического сложения сил будет иметь следующий вид:

$$n = \frac{\Sigma \ (N_i \operatorname{tg} \rho_i + k_i l_i)(\varepsilon / \varepsilon_i)^{m_i}}{\Sigma \ T_i}, \qquad (5)$$

где ε — заданная при расчете величина деформации; ε_i — предельная деформация для пород слоев.

При расчете устойчивости бортов методом многоугольника сил в формулах (3), (4) в этом случае вместо τ_1', τ_2', ..., τ_n' будет

$$\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}\right)^{m_1}, \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_2}\right)^{m_2}, \ldots, \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_n}\right)^{m_n}.$$

Предельные деформации ε_1, ε_2, ..., ε_n при ускоренном методе (см. приложение 2), в принципе, можно определить на образце после окончания процесса уравновешивания, доводя нагрузку до разрушающей. Для увеличения точности определения лучше ε устанавливать по нескольким образцам стандартными испытаниями.

Поскольку при ускоренном методе по одному циклу нагружения не определяется остаточная длительная прочность, то нельзя найти максимальное сопротивление сдвигу слоистой толщи методом вариантов, как показано выше.

Максимальная несущая способность группы слоев в этом случае будет определяться по результатам полных испытаний горных пород в ползуче-релаксационном режиме.

Величину заданной деформации ε в формуле (5), а также при определении значений τ_i' для расчета длительной устойчивости слоистого откоса методом многоугольника сил в большинстве случаев можно принимать равной предельной в наиболее жестком слое, т. е. наименьшей из всех значений ε_i. Однако, когда мощность наиболее жесткого слоя будет намного превышать мощность других слоев в толще пород, величину задаваемой деформации нужно определять графическим построением.

Приложение 4

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ

Расчет устойчивости борта при быстром затоплении разреза

На момент отработки разреза борта имеют следующие параметры: высота $H=200$ м, угол наклона $\alpha=34°$. Борта сложены породами с физико-механическими характеристиками: угол внутреннего трения $\rho=24°$, сцепление $k=28$ тс/м^2, объемный вес $\gamma=2$ тс/м^3. Необходимо определить условия устойчивости бортов при быстром затоплении разреза.

Расчеты ведутся в такой последовательности (рис. 23):

1. Для откоса методом подбора определяется положение наиболее напряженной поверхности (без учета гидростатических и гидродинамических сил).

2. По данным гидрогеологических исследований наносится положение депрессионной кривой в откосе.

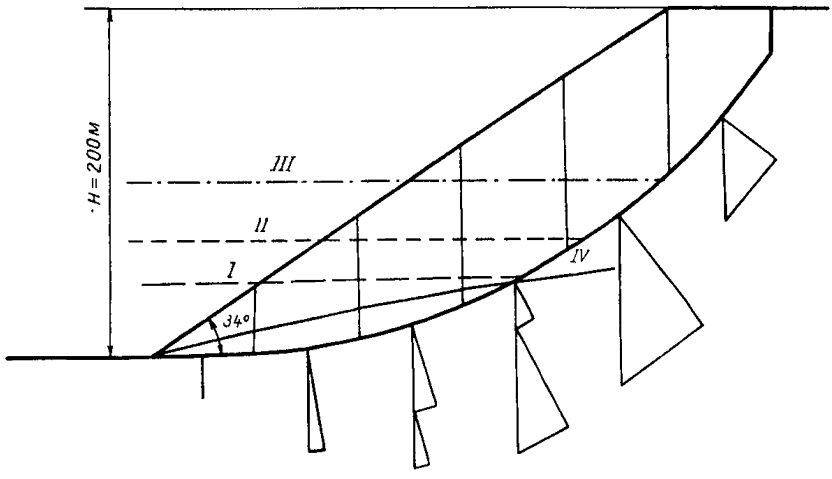


Рис. 23. К расчету устойчивости борта при быстром затоплении разреза:

I, II, III — положения уровня воды; IV — уровень воды на момент ликвидации разреза

3. Призма возможного обрушения, ограниченная расчетной поверхностью, разбивается на вертикальные блоки; в пределах каждого блока определяется нормальная N_i и касательная T_i составляющие веса блока и результирующая сила гидростатического и гидродинамического давления D_i, которая численно равна разности отметок поверхности скольжения и высоты пьезометрического уровня над ней.

4. Коэффициент запаса устойчивости борта вычисляется по формуле:

$$n = \frac{\operatorname{tg}\rho\,(N_i - l_i D_i) + k\Sigma l_i}{\Sigma T_i} =$$

$$= \frac{0{,}447(43800-3000)+11700}{22800} = \frac{29950}{22800} = 1{,}31,$$

где l_i — длина наклонного основания блоков.

5. Для двух-трех уровней воды (I—III) в разрезе рассчитывается устойчивость борта. Для заданного уровня воды в разрезе определяется положение депрессионной кривой (см. рис. 23), при котором коэффициент запаса устойчивости незначительно отличается от исходного (n=1,31).

Ввиду того, что депрессионная кривая должна быть пологой, а наличие потока (фильтрации) в сторону откоса существенно не изменяет устойчивости последнего, расчет устойчивости подтопленного борта производится с учетом только гидростатического взвешивания пород по формуле:

$$n_{II} = \frac{(\Sigma N_c + \Sigma N_в)\operatorname{tg}\rho + k\Sigma l_i}{\Sigma T_c + \Sigma T_в} =$$

$$= \frac{(25680+9120)\cdot 0{,}447+11700}{18380+2160} = 1{,}32,$$

где ΣN_c, ΣT_c — суммы нормальных и касательных составляющих веса пород, находящихся выше депрессионной кривой (объемный вес γ); $\Sigma N_в$, $\Sigma T_в$ — суммы нормальных и касательных составляющих веса пород, расположенных ниже депрессионной кривой (объемный вес $\gamma - 1$).

Для расчетного уровня I полученный коэффициент запаса устойчивости равен $n_I = 1{,}33$. Для III уровня $n_{III} = 1{,}39$.

Положение депрессионной кривой в откосе должно регулироваться до затопления разреза на $1/2H$. Дальнейшее затопление может производиться без регулирования уровня воды в борту, так как коэффициент запаса устойчивости, полученный с учетом гидростатического взвешивания, значительно превышает коэффициент запаса устойчивости необводненного откоса.

Расчет устойчивости борта с охранным целиком

Требуется найти длину l целика угольного пласта ($\beta = 45°$, m=10 м) для охраны сооружения на верхней площадке борта уголь-

ного разреза глубиной 120 м и с углом наклона откоса 31° (угол наклона борта висячего бока пласта равен 45°). Граница отработки угольного пласта подземными горными работами находится на глубине 250 м от поверхности. Физико-механические характеристики пород вкрест наслоения и по поверхностям ослабления следующие: $\gamma = 2$ тс/м^3; $k = 15$ тс/м^2; $\rho = 30°$; $k' = 5$ тс/м^2; $\rho' = 15°$.

Расчет ведется следующим образом (рис. 24):

1. В откосе лежачего бока угольного пласта до его границы отработки строится известным способом поверхность скольжения и методом многоугольника сил (блоки 1—2) определяется коэффициент

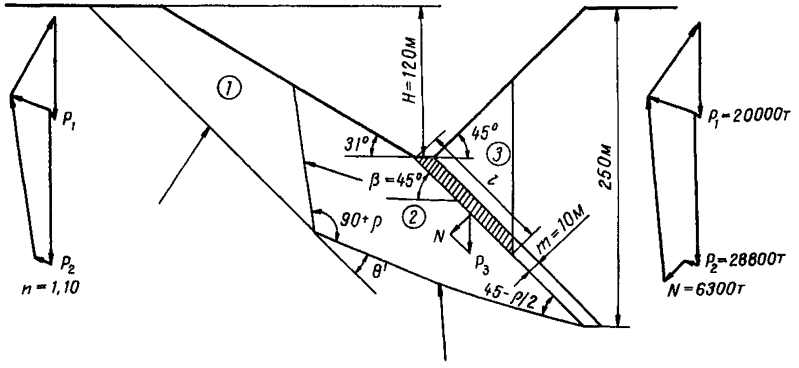


Рис. 24. К расчету устойчивости борта с охранным целиком

запаса устойчивости борта при отсутствии охранного целика (в нашем случае $n = 1{,}1$). Поскольку при этом коэффициенте запаса устойчивости возможны деформации прибортовой поверхности, на которой находится охраняемый объект, делаем вывод о необходимости оставления в угольном пласте целика.

2. Задаемся коэффициентом запаса устойчивости, при котором деформации на верхней площадке борта будут допустимыми ($n = 1{,}3$). Вводим коэффициент запаса в исходные характеристики прочности: $k_п = 11{,}5$; $\rho_п = 24°$; $k'_п = 3{,}85$; $\rho'_п = 11{,}5°$.

3. С учетом новых характеристик для блоков 1—2 строим многоугольник сил, из которого находим величину нормальной составляющей от веса блока 3, расположенного над целиком.

4. Последовательным приближением подбираем такие размеры блока 3, при которых нормальная составляющая от веса P_3 равна полученной ранее величине N. Длина основания построенного блока 3 равна искомой длине охранного целика ($l = 105$ м).

Определение угла наклона откоса для охраны сооружения на борту разреза при его затоплении

При погашении угольного разреза запроектированы следующие параметры борта — высота 200 м, угол наклона 30° (на рис. 25

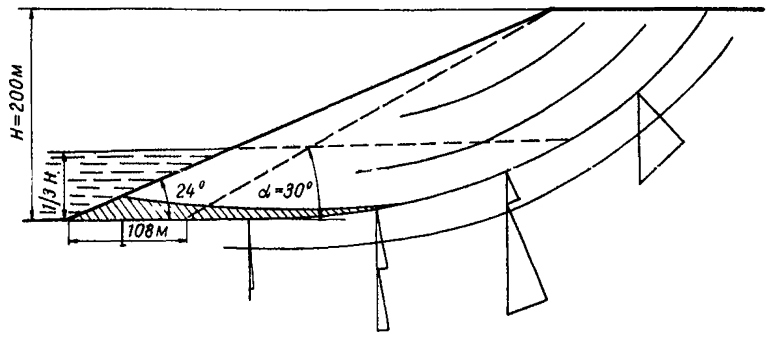


Рис. 25. К определению угла наклона подтопленного борта

положение борта показано пунктирной линией). Требуется найти новое значение угла наклона откоса, чтобы при затоплении разреза обеспечивалась сохранность сооружения на верхней площадке борта. Горные породы в откосе имеют мульдообразное залегание с характеристиками прочности по наслоению: $k' = 5$ тс/м^2; $\rho' = 22°$; $\gamma = 2$ тс/м^3.

Порядок расчета следующий:

1. Методом алгебраического сложения сил, действующих по наиболее слабой поверхности ослабления, определяется коэффициент запаса устойчивости борта с углом наклона 30° (n=1,15).

2. Методом подбора находится новое положение поверхности откоса при затоплении разреза, чтобы его коэффициент запаса устойчивости был равен также 1,15. Для этого:

а) принимается наиболее опасный, с точки зрения устойчивости борта, уровень воды в разрезе (1/3 высоты борта) и проводится депрессионная кривая;

б) призма возможного оползания делится на блоки, и вес пород в каждом блоке (находящемся выше и ниже депрессионной кривой) раскладывается на нормальные и касательные составляющие;

в) определяется коэффициент запаса устойчивости борта

$$n = \frac{(\Sigma N_c + \Sigma N_в)\ \mathrm{tg}\,\rho' + k' L}{\Sigma T_c + \Sigma T_в},$$

где ΣN_c, ΣT_c — суммы нормальных и касательных составляющих от веса пород (объемный вес γ), находящихся выше депрессионной кривой, т; $\Sigma N_в$, $\Sigma T_в$ — суммы нормальных и касательных составляющих от веса пород в блоках (объемный вес $\gamma_в$) ниже депрессионной кривой, т.

В нашем случае коэффициенту запаса устойчивости n=1,15 соответствует угол наклона борта, равный 24°, который определяет размеры целика (длина 108 м), необходимого для охраны сооружения при затоплении угольного разреза.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ СРАБОТАННОЙ ПРИБОРТОВОЙ ПОЛОСЫ В ЗАТОПЛЕННОМ РАЗРЕЗЕ

Основные положения метода следующие:

1. Береговая отмель имеет форму параболы и описывается уравнением:

$$x = \frac{b}{B}\left(\frac{Y^2}{K} + \frac{Y}{m}\right),$$

где B — ширина устойчивой береговой отмели, b — ширина береговой отмели в промежуточном положении;

$$K = \frac{2m_1 m_0}{m_1 + m_0},$$

где m_1 — уклон пляжа; m_0. — уклон береговой отмели у внешнего края.

2. На размыв и переформирование единицы объема горной породы требуется затратить волновую энергию, зависящую только от свойств размываемой породы:

$$\frac{\partial Э}{\partial w} = \varepsilon,$$

где ε — коэффициент, характеризующий сопротивляемость пород размыву.

3. Потери волновой энергии прямо пропорциональны ширине отмели.

$$N_п = N_0 \frac{b}{B}.$$

Ширина прибортовой полосы, срабатываемая водоемом, определяется шириной B устойчивой береговой отмели (рис. 26), которая получается после переформирования берега.

Для затапливаемых разрезов ширину береговой отмели можно с некоторым допущением считать равной ширине срабатываемой прибортовой полосы, поскольку из-за большой высоты первого уступа

(10—15 м) по сравнению с высотой его перерабатываемой части (до 3 м) переотложенный материал практически не участвует в формировании отмели (см. рис. 26). Особенно это относится к глинам и суглинкам с малым количеством песчаных фракций, которые подлежат переотложению. Ширина устойчивой береговой отмели определяется по формуле:

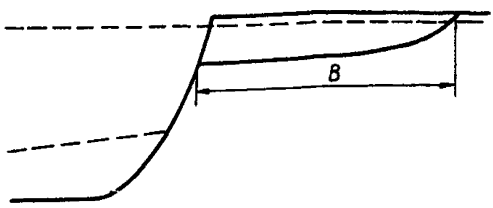


Рис. 26. Профиль береговой отмели

$$B = \frac{H^2}{K} + \frac{H}{m_к}; \tag{6}$$

а величина

$$K = \frac{2m_п m_0}{m_п - m_0}, \tag{7}$$

где H — глубина, на которую распределяется разрушающее действие волны.

Глубина зависит от многих факторов. Для средних условий, удовлетворяющих затопленным разрезом, в зависимости от высоты волны $h_р$ глубина равна:

$h_р$, м	H, м
0,5	0,7
1	1,7
2	4,4
3	7,3

$h_р$ — расчетная высота волны; $m_п$ — уклон береговой отмели на урезе воды; m_0 — уклон отмели, условно определяемый на глубине 10 м.

Расчетная высота волны зависит от многих факторов, главными из которых являются скорость ветра, глубина водоема, длина разгона волны, угол встречи волны с берегом. Если нет фактических данных для конкретных условий, с достаточной точностью для открытых водоемов среднюю скорость ветра можно принять равной 20 м/с. Браславским [22] даны номограммы для определения высоты волны h в зависимости от длины разгона волны и средней глубины водоема; из них видно, что при малой длине разгона глубина водоема свыше 20 м не влияет на высоту волны. Такие условия как раз и создаются на затопленных разрезах, для них по данным номограмм построен график для определения высоты волны h в зависимости от длины разгона L (рис. 27) и различной скорости ветра. Действие волны на берег максимальное при направлении движения, перпендикулярном берегу; при диагональном направлении оно слабеет, и расчетная высота волны определяется по формуле:

$$h_р = h\sqrt{\cos\alpha}, \tag{8}$$

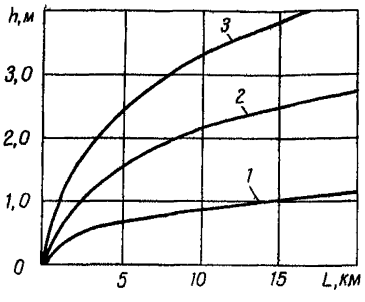


Рис. 27. График зависимости высоты волны от длины разгона:

1, 2, 3 — скорость ветра v соответственно 10, 20 и 30 м/с

где α — угол между направлением ветра (волны) и средней линией берега.

Уклоны отмели $m_п$ и m_0 зависят от величины зерен, на которые распадается размываемая порода, и могут быть определены по гранулометрическому составу (табл. 5).

Таким образом, для расчета ширины сработанной прибортовой полосы необходимы следующие исходные данные:

1) скорость ветра v и преобладающее направление сильных ветров по отношению к рассматриваемому берегу;

2) ширина разреза L;

3) гранулометрический состав пород.

Порядок расчета следующий:

1) по графику (рис. 27) определяется высота волны при заданных v и L, по формуле (8) расчетная высота волны $h_р$;

2) для известной $h_р$ определяется глубина H, на которую распространяется разрушающее действие волны;

3) для преобладающей фракции по табл. 5 определяются уклоны $m_п$ и m_0;

4) по формуле (7) определяется K и по формуле (6) искомая ширина B.

Приведенный на рис. 4.3 Инструкции пример имеет следующие данные для расчетов:

Таблица 5

Породы	d, мм	$m_п$	m_0
Ил	0–0,01	–	–
Пыль	0,01–0,1	0,005	0,001
Песок:			
мелкий	0,1–0,25	0,03	0,005
средний	0,25–0,5	0,07	0,01
крупный	0,5–1	0,14	0,02
Гравий:			
мелкий	1–2	0,19	0,03
средний	2–5	0,21	0,05
крупный	5–10	0,25	0,08
Галечник:			
мелкий	10–20	0,3	0,1
средний	20–50	0,36	0,15
крупный	50–100	0,4	0,2

Челябинские и Башкирские угольные разрезы. Скорость ветра 20 м/с. Гранулометрический состав покровных отложений: фракции < 0,05 (пылевидные, илистые) — 70—76%; от 0,05 до 0,25 — 20—30% и фракции > 0,25 — 4%. Фракции < 0,05 при размыве берега уносятся водой и в отмель не попадают. Фракции > 0,25 из-за малого количества влияния на формирование отмели не оказывают. Таким образом, формирование отмели происходит с участием фракции 0,05—0,25.

Североуральские угольные разрезы. Скорость ветра 20 м/с. Гранулометрический состав покровных отложений: фракции < 0,05 — 45—55%, фракции 0,05—0,25 — 25—30%, фракции 0,25—0,5 — 10—15% и фракции 0,5—1 — 10—15%. Фракция 0,1—0,25 формирует отмель на глубине и фракция 0,5—1 на урезе воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Инструкция* по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработка мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л., 1971. (ВНИМИ).
2. *Методические* указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л., 1972. (ВНИМИ).
3. *Методическое* пособие по изучению инженерно-геологических условий месторождений, подлежащих разработке открытым способом. Л., 1965. (ВНИМИ).
4. *Методика* лабораторного определения прочности горных пород на сдвиг (срез). Л., 1961. (ВНИМИ).
5. *Методические* указания по определению физико-механических свойств горных пород. Л., 1975. (ВНИМИ).
6. *Методические* указания по производству натурных испытаний сопротивления сдвигу неоднородных слоистых и трещиноватых пород. Л., 1965. (ВНИМИ).
7. *Методические* указания по изучению выветривания и осыпания пород в откосах угольных разрезов. Л., 1972. (ВНИМИ).
8. *Методические* указания по длительным испытаниям горных пород. Л., 1968. (ВНИМИ).
9. *Методические* указания по ускоренным лабораторным испытаниям слабых пород на длительную прочность. Л., 1966. (ВНИМИ).
10. *Фисенко Г. Л.* Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., «Недра», 1965.
11. *Ким Д. Н., Пушкарев В. И.* Методика определения основных характеристик прочности трещиноватых массивов для расчетов устойчивости бортов карьеров. — В сб.: Труды ВНИМИ, № 86, Л., 1972.
12. *Афанасьев Б. Г., Пушкарев В. И.* О длительной прочности массива горных пород. «Изв. вузов. Горный журнал», 1973, № 11.
13. *Вялов С. С.* и др. Методика определения характеристик ползучести, длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. М., «Наука», 1966.
14. *Гольдштейн М. Н., Бабицкая С. С.* О длительной прочности связных грунтов. — В сб.: Вопросы геотехники, № 7, М., «Транспорт», 1964.
15. *Фисенко Г. Л., Мироненко В. А.* Дренаж карьерных полей. М., «Недра», 1972.
16. *Руководство* по дренированию карьерных полей (разделы III и IV). Л., 1968. (ВНИМИ).
17. *Требования* к гидрогеологическим исследованиям на месторождениях, осваиваемых открытым способом. Руководство по дренированию карьерных полей (разделы V и VI). Л., 1970. (ВНИМИ).

18. *Руководство* по определению оптимальных углов наклона бортов карьеров и откосов отвалов. Л., 1962. (ВНИМИ).

19. *Руководство* по расчету устойчивости бортов, уступов, разрезов и откосов отвалов при сложной форме поверхности скольжения. Л., 1973. (ВНИМИ).

20. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок в Челябинском буроугольном бассейне. Л., 1967. (ВНИМИ).

21. *Козлов Ю. С.* Моделирование предельного состояния откосов. — В сб.: Труды ВНИМИ, № 64, Л., 1968.

22. *Браславский А. П.* Расчет ветровых волн. — В сб.: Труды ГГИ, вып. 35, 1952.

23. *Кондратьев Н. Е.* Расчет волнового волнения и переформирования берегов водохранилищ. Л., Гидрометеоиздат, 1963.

24. *Методическое* руководство по искусственному укреплению откосов скальных и полускальных пород на карьерах. Л., 1967. (ВНИМИ).

25. *Фисенко Г. Л., Ревазов М. А., Галустьян Э. Л.* Укрепление откосов в карьерах. М., «Недра», 1974.

26. *Методические* указания по проектированию мер защиты эксплуатируемых зданий и сооружений в районах залегания крутопадающих пластов. Л., 1973. (ВНИМИ).

27. *Фисенко Г. Л., Пустовойтова Т. К.* Определение предельного сопротивления сдвигу группы слоев горных пород с различными деформационными характеристиками. — В сб.: Труды ВНИМИ, № 70, Л., 1968.

28. *Афанасьев Б. Г.* Методика определения сопротивления совместному длительному сдвигу слоев горных пород с различными деформационными свойствами. — В сб.: Труды ВНИМИ, № 92, Л., 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения 3

2. Факторы, определяющие долговременную устойчивость бортов 5

3. Оценка степени устойчивости бортов отработанных разрезов 10

4. Прогнозирование деформаций бортов и прилегающей к ним полосы земной поверхности 19

5. Меры предотвращения опасных деформаций прибортовой полосы 27

Приложение 1. Методика определения прочности массива с упорядоченной трещиноватостью . . . 32

Приложение 2. Методика определения длительной прочности испытанием образцов в ползуче-релаксационном режиме 37

Приложение 3. Методика учета совместной длительной работы слоев в расчетах устойчивости бортов разрезов 42

Приложение 4. Примеры расчета устойчивости бортов 46

Приложение 5. Методика определения ширины сработанной прибортовой полосы в затопленном разрезе 50

Литература 53

Редактор *В. Д. Вакуленко*
Техн. редактор *А. Г. Образцова*

Подписано к печати 17/VI-77 г. М-25030
Формат бумаги 60×90/16. Объем 3,5 п. л. Тираж 300.
Печатный цех ВНИМИ. Заказ № 37. Бесплатно.

gost.e-ecolog.ru