МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

РЕКОМЕНДАЦИИ
по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах

Ленинград
1985

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОТВАЛОВ СУХИХ ПОРОД, ОТСЫПАЕМЫХ НА ГИДРООТВАЛАХ

Ленинград
1985

УДК 622.271.46.624.134.4

Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. Л., 1985. 84 с. (М-во угольной пром-сти СССР. Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела).

Рассмотрена методика инженерно-геологического изучения гидроотвалов и их оценки как основания сухих отвалов. Выявлена специфика намывных пород по их составу, состоянию и свойствам. Проанализированы закономерности деформаций отвалов, отсыпаемых на гидроотвалах. Предложена типизация гидроотвалов по сложности их изучения, составу и объемам инженерно-геологических исследований. Изложена методика полевых и лабораторных инженерно-геологических исследований. Разработана методика оценки устойчивости отвалов с учетом консолидации намывных пород в их основании. Обоснованы состав и регламент инженерно-геологических наблюдений, обеспечивающих безопасность и эффективность горных работ при различных схемах отвалообразования. Рассмотрены вопросы рекультивации отвалов и гидроотвалов.

Работа обсуждена институтами УкрНИИпроект, МГИ, ЛГУ, ЛГИ, Кузбассгипрошахт, апробирована на предприятиях ПО Кемеровоуголь, рассмотрена Секцией Ученого совета ВНИМИ. Предназначена для производственных, проектных организаций и научно-исследовательских институтов Минуглепрома.

Ил. 20, табл. 6, библиогр. 28.

© Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела ВНИМИ. 1985.

В В Е Д Е Н И Е

Наряду с увеличением добычи угля открытым способом, важнейшими задачами топливно-энергетической промышленности являются рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. В связи с этим необходимо решать вопрос о рекультивации нарушенных и уменьшении площади задалживаемых земель и, в частности, под внешние отвалы и гидроотвалы.

Основным резервом горного отвода являются старые гидроотвалы, занимающие только в Кузбассе более 3500 га. Отсыпка отвалов на гидроотвалах дает следующие положительные результаты:

- уменьшение задалживаемых площадей сельскохозяйственных угодий;

- значительное ускорение рекультивации территорий гидроотвалов после размещения на них внешних отвалов (без этого мероприятия гидроотвалы недоступны для механизмов в течение многих лет и даже десятилетий ввиду низкой несущей способности намывных пород);

- сокращение, как правило, расстояния транспортировки пустых пород.

Отвалообразование на слабом основании обычно сопровождается оползневыми явлениями, которые осложняют горно-технологический процесс и требуют специальных мероприятий, обеспечивающих безопасность и технико-экономическую эффективность отвальных работ. Разработка этих мероприятий должна базироваться на результатах комплексных инженерно-геологических исследований, позволяющих выявить оптимальность общей системы (естественное основание, гидроотвал, отвал), с одной стороны, и обоснованном применении соответствующей технологии отвалообразования, с другой.

В Рекомендациях освещен широкий круг методических вопросов, связанных с определением состояния и свойств пород гидроотвалов, а также с оценкой оптимальных параметров сухих отвалов, размещаемых на гидроотвалах. Кроме того, рассмотрены наиболее характерные схемы эффективного и безопасного ведения отвальных работ, направления и способы рекультивации этих техногенных сооружений.

Рекомендации основаны на результатах исследований отвалов и гидроотвалов, производившихся ВНИМИ в течение двух десятилетий на многих угольных месторождениях Союза, в частности, на разрезах Кузбасса.

I. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРООТВАЛОВ КАК ОСНОВАНИЙ ДЛЯ ОТВАЛОВ СУХИХ ПОРОД

Классификация отвалов и гидроотвалов

I. Под отвалами понимают инженерные сооружения, являющиеся следствием планомерного складирования вскрышных горных пород. Отвалы подразделяются:

а) по местоположению – на внутренние (отвалообразование ведется в контурах карьера) и внешние (вне карьерного контура);

б) по числу ярусов – на одно-, двух- и многоярусные,

в) по способу механизации отвальных работ – на плужные (отвалообразование ведется с помощью отвальных плугов), экскаваторные (с помощью механических лопат, драглайнов, абзетцеров, транспортно-отвальных мостов), бульдозерные, конвейерные (при конвейерном транспорте с помощью консольных отвалообразователей, роторных метателей и пр.), гидромеханизационные;

г) по числу обслуживаемых вскрышных участков – на общие и групповые;

д) по рельефу местности отвального поля – на равнинные и нагорные;

е) по высоте – на низкие (до 20 м), средней высоты (20–50 м) и высокие (свыше 50 м);

ж) по составу и инженерно-геологическим свойствам – на отвалы скальных и полускальных, песчаных, глинистых пород, а также отвалы пород особого состава, состояния, свойств (гидро-, соле-, золоотвалы и др.).

Отвальные работы по способу ведения принято разделять на две группы:

а) отвалообразование с обязательным обеспечением устойчивости отвальных сооружений;

б) отвалообразование, допускающее управляемое деформирование откосов отвалов.

Отвалообразование с контролируемыми деформациями обычно применяют, выполняя следующие условия:

а) оборудование располагается вне призмы возможного оползания;

б) технологическое оборудование (автомобили, бульдозеры и пр.) обладает мобильностью и находится в призме возможного обрушения минимальный период времени;

в) оползневые деформации, возникающие на отвалах, происходят плавно и медленно.

2. Гидроотвалы – это инженерные сооружения, предназначенные для складирования вскрышных пород, разрабатываемых средствами гидромеханизации. Они состоят из дамб обвалования, намытого массива, пруда-отстойника, пульповодов, водозаборных и прочих сооружений. Намывной массив в плане принято разделять на зоны пляжа намыва, пруда-отстойника и переходную между ними зону. Пляж намыва – часть гидроотвала, расположенная в непосредственной близости от мест выпуска пульпы, поэтому в намывных породах содержатся наиболее крупные частицы. Пруд-отстойник – внутренняя часть гидроотвала, оформировавшаяся из наиболее мелких фракций, осажденных в подводных условиях. Для промежуточной зоны характерна неоднородность состава в пространстве и по глубине, так как накопление осадков здесь происходит в условиях изменения уровня и уреза воды в пруде.

3. Существует множество специальных (технических) классификаций гидроотвалов, составленных для условий строительства и эксплуатации намывных сооружений /I5, I6, 2I/. Намывные сооружения в них делятся по какому-либо одному признаку: по рельефу занимаемой местности, типу обвалования, способу возведения и по высоте. При классификации гидроотвалов целесообразно также учитывать их площадь, способ выпуска пульпы на карту намыва и интенсивность намыва. Площадь гидроотвала и способ выпуска пульпы влияют на закономерности раскладки частиц в гидроотвале, а интенсивность намыва, как известно, определяет фракционирование и консолидацию намытых осадков /3, I2, I5/. Таким образом, представленные классификационные характеристики (табл. I) охватывают основные факторы, которые необходимо учитывать, решая вопросы устойчивости гидроотвалов при их строительстве, эксплуатации и рекультивации.

Таблица I

Рельеф местности и тип обвалования	Способ возведения гидроотвала	Высота	Площадь	Способ выпуска пульпы на карту намыва	Интенсивность намыва
Овражно-балочный с односторонним обвалованием	Многоярусный	Малая (до I0 м)	Малая (до 50 га)	Сосредоточенный (торцевой)	Низкая (менее I м/год)

Продолж. табл. I

Рельеф местности и тип обвалования	Способ возведения гидроотвала	Высота	Площадь	Способ выпуска пульпы на карту намыва	Интенсивность намыва
На косогоре с 2- или 3-сторонним обвалованием	Одноярусный	Средняя (10-30 м) и большая (свыше 30 м)	Средняя (50-200 га) и большая (бо-	Рассредоточенный	Средняя (1-5 м/год) и высокая (бо-
Равнинный с 4-сторонним обвалованием	То же	То же	То же	То же	То же
В выработанном пространстве	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-

Факторы, определяющие состав, состояние и свойства пород гидроотвалов

4. Состояние и свойства отложений гидроотвалов зависят, главным образом, от их состава и активного физического и физико-химического взаимодействия минеральных частиц с водой. Состав намывных пород при этом определяется исходным составом вскрышных пород, технологическими процессами, предшествовавшими намыву, технологией гидроотвалообразования и геохимическими условиями в гидроотвале. Физико-химическое взаимодействие между твердой и жидкой фазами породы наблюдается в развитии процессов и явлений на границе раздела фаз, в образовании структурных связей, которые определяют физико-механические свойства глинистых пород. Физическое взаимодействие воды и породных частиц - главный фактор при формировании свойств намывных отложений, выражающийся в изменении напряженного состояния массива за счет гидростатического взвешивания (гидродинамического давления).

5. Основными технологическими факторами гидроотвалообразования являются фракционирование взвешенных частиц при намыве и интенсивность последнего. Фракционирование частиц при намыве приводит к закономерному изменению гранулометрического состава по

мере удаления от фронта намыва и зависит от способа выпуска пульпы на карту намыва, концентрации пульпы и ее расхода от уклона поверхности пляжа, изменения положения уреза воды в пруде-отстойнике и пр.

Существует два способа выпуска пульпы на карту намыва: сосредоточенный и рассредоточенный. При первом выпуск пульпы производится из торца пульповода, в результате она движется не только в направлении, перпендикулярном дамбе обвалования, но и под углом к ней; в приоткосной части гидроотвала могут откладываться не только песчано-супесчаные, но и суглинистые, а также глинистые разности. Применение рассредоточенного способа выпуска обеспечивает равномерное по фронту осаждение частиц в пределах пляжа намыва, переходной зоны и пруда-отстойника.

Интенсивность намыва зависит от концентрации пульпы и ее расхода. Скорость намыва не только влияет на фракционирование, но и обусловливает процесс консолидации намывных пород. При высокой интенсивности намыва появляется избыточное поровое давление.

6. Горные породы, залегающие ниже уровня безнапорного потока подземных вод, испытывают воздействие сил гидростатического взвешивания, которое сводится, в конечном счете, к уменьшению сил трения. Действием сил гидростатического взвешивания обусловлены оползни откосов гидроотвалов, так как они, в основном, сложены материалом, обладающим большими коэффициентами внутреннего трения (пески и супеси). На устойчивость пород пруда-отстойника, обладающих малыми коэффициентами внутреннего трения, гидростатическое взвешивание влияет меньше.

Гидродинамическое давление направлено вдоль линии тока и является векторной объемной силой, удельную величину которой определяем из соотношения:

$$P_0 = \gamma_B J, \qquad (I)$$

где J - градиент напора, γ_B - плотность воды.

Гидродинамическое давление существенно влияет на изменение напряженного состояния откосов гидроотвалов, сложенных глинистыми породами, где величины градиентов могут быть значительными /I7/.

Характерным проявлением гидродинамических сил в массивах намывных пород служит избыточное поровое давление, возникающее как при намыве гидроотвалов, так и при дополнительном нагружении их породами сухих отвалов. Рассеивание избыточного порового давления связано со свойствами намывных отложений, строением гидроотвала и его основания. В приоткосной зоне фильтрация происходит как в вертикальном направлении, так и в сторону откоса; это спо-

способствует ускорению процесса фильтрационной консолидации (рассеивание порового давления). В других частях гидроотвалов (зона пруда-отстойника и часть промежуточной) породы характеризуются низкими значениями коэффициентов фильтрации, поэтому рассеивание избыточного порового давления происходит медленно.

7. На формировании состава, состояния и свойств пород гидроотвалов дополнительно сказываются геоморфологические и метеорологические факторы: характер рельефа подошвы гидроотвала, атмосферные осадки, температурный режим, ветровое воздействие.

Специфика деформаций отвалов при их отсыпке на территориях гидроотвалов

8. На отвалах "сухой" вскрыши при их размещении на гидроотвалах наблюдаются следующие виды деформаций (рис. I): оползни; осе-

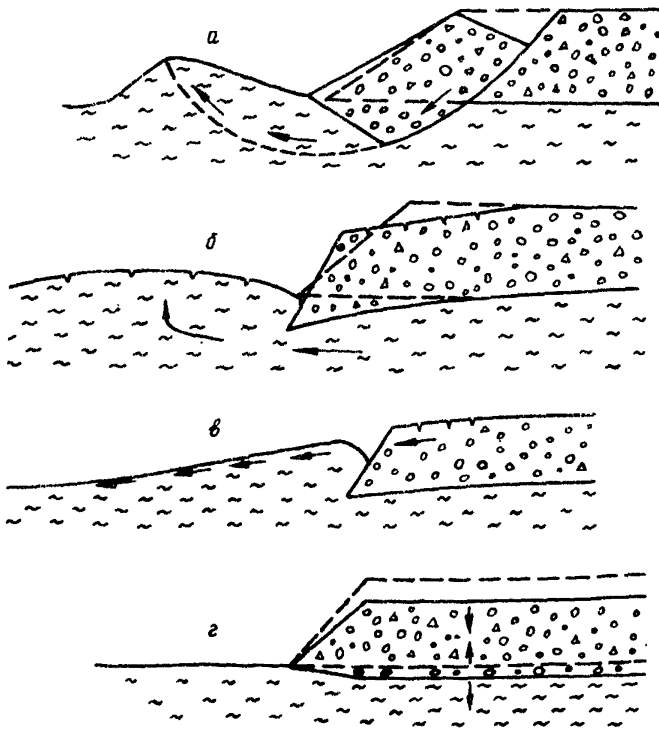


Рис. I. Виды деформаций отвалов и гидроотвалов

дание отвалов, вызванное выдавливанием пород их основания; вязкопластическое течение пород (оплывы) на склонах гидроотвала, образовавшееся в результате его деформирования по первому и второму типам; осадки отвалов, связанные с процессами консолидации насыпных и намывных пород.

Наиболее ответственны с точки зрения безопасности отвальные работы при оползнях и оседаниях, так как они происходят непосредственно на откосах отвальных сооружений и осложняют функционирование технологического оборудования. Первый тип деформаций установлен при размещении отвалов на участках гидроотвалов, сложенных песчано-супесчаными и суглинистыми отложениями, а второй отмечается, в основном, в глинистой зоне, где верхняя часть разреза представлена осадками текучей консистенции.

Деформации типа оплывов происходят на склонах, сложенных текучими намывными породами. Они не опасны для работающего на отвале технологического оборудования, но в некоторых случаях представляют угрозу для зданий и строений, расположенных в непосредственной близости от гидроотвалов.

Последний тип деформаций - осадки - рассмотрен далее (разд. II и III).

9. Оползни отвалов принято разделять в зависимости от положения поверхности скольжения относительно их подошвы на надподошвенные, подошвенные и подподошвенные /I9/. В первом случае поверхность скольжения полностью формируется в породах отвала, при оползнях второго вида она в нижней части проходит по слабому контакту отвал-основание, а в третьем случае поверхность скольжения формируется как в насыпных породах, так и в породах основания.

При отвалообразовании на намывных территориях наиболее распространены подподошвенные оползни (см. рис. I, а), хотя в краевых частях гидроотвалов, где мощность "слабых" пород минимальна, можно ожидать образования подошвенных оползней.

Наблюдениями за оползневыми деформациями подподошвенного типа, развивающимися при ведении отвальных работ на территориях гидроотвалов, установлено следующее:

а) протяженность оползающего блока по фронту полностью определяется шириной участка отвальных работ.

В процессе наблюдений выявлены оползневые блоки протяженностью от 30 до I00 м. Во всех случаях эти величины соответствовали протяженности участка интенсивного отвалообразования;

б) ширина призм оползания составляет (0,8-2,0)Н на автомобильных отвалах и (0,4-0,6)Н - при отвалообразовании с помощью драглайнов;

в) период активной стадии обусловлен работой технологического оборудования, скорость смещения при этом составляет обычно 0,1-0,2 м/ч;

г) период затухания деформаций, по истечении которого подвижки оползня не опасны для оборудования, равен 8-16 ч.

Отмечено также, что характер деформирования существенно зависит от высоты отвального яруса. Так, деформации яруса высотой 3-5 м протекают обычно внезапно в момент разгрузки автосамосвала. Это вызвано резким увеличением активной нагрузки на отвал у его верхней бровки за счет веса автосамосвала; роль последнего в устойчивости откоса уменьшается с увеличением высоты яруса. При высоте яруса 7-20 м оползание происходит в виде плавного медленного смещения породных масс, постепенного выполаживания откоса и затухания деформаций.

10. Описанные оползни проявляются при отвалообразовании на участках гидроотвалов, сложенных песчано-супесчаными и суглинистыми отложениями. Переход отвальных работ на территории распространения глинистых пород текучей консистенции с минимально малым сопротивлением сдвигу (обычно менее 0,01 МПа) предопределил появление нового типа деформаций отвалов - деформаций оседания с выдавливанием намывных пород. Отвалообразование в глинистой зоне гидроотвалов в Кузбассе только начинается, поэтому процессы деформирования отвалов мало изучены, хотя некоторые закономерности их протекания уже можно выделить. После отсыпки блока пород на слабое основание он плавно погружается в намывные отложения без образования поверхности скольжения (см. рис. 1, б). Оседание отвала неравномерно по всему объему; в большей степени этим процессом охвачена внешняя часть отвала. Это приводит не к выполаживанию откоса, как в случае оползней, а наоборот, к увеличению угла наклона откоса отвала. Намывные породы при этом поднимаются без характерных для подподошвенных оползней валов выпирания. Отсутствие видимых выходов поверхностей скольжения как в насыпных, так и в намывных породах, а также преобладание на отвалах вертикальных деформаций свидетельствует о правильном представлении механизма этого процесса. Наблюдения за подобными деформациями на гидроотвалах Кузбасса позволили зарегистрировать их характер: длина блока оседания полностью совпадает с протяженностью зоны интенсивного отвалообразования; ширина оседающего блока составляет 30-40 м; скорость оседания в период активной стадии равнялась 0,3-0,4 м/ч; активная стадия обычно заканчивалась, когда бровка отвала превышала намывные породы на 3-4 м.

II. Третий тип деформаций (см. рис. I, в) встречается на склонах, образовавшихся в результате деформаций отвалов по первому и второму типам и выражается в медленном растекании вязко-пластичных грунтов под углом естественного откоса. Образование оплывов /4/ связано, как правило, с потерей прочности пород вследствие их переувлажнения и перехода в текучее состояние. Подподошвенные оползни и деформации оседания отвалов с выдавливанием намывных пород приводят к формированию вторичного техногенного рельефа на поверхности гидроотвала, а именно, склона с углами, достигающими в некоторых случаях 6 - 8^0. Подобные склоны сложены водонасыщенными породами текучей консистенции с низкими значениями сдвиговой прочности (обычно менее 0,0I МПа) и являются очень неустойчивыми, поэтому сразу после их образования начинается вязкопластичное растекание переувлажненных масс. Следует отметить, что деформации оплывания можно наблюдать не только в глинистой зоне гидроотвалов, но и на сравнительно прочных породах суглинистого состава. Удерживающая способность глинистых грунтов обусловливается присущим им сцеплением. Однако постоянные оползневые деформации, выдавливание пород гидроотвалов, динамическое воздействие от работающего на отвалах оборудования приводит к полному нарушению первоначальной структуры намывных отложений и к разрушению структурного сцепления. Потеря связности грунта происходит также за счет насыщения водой, отжимаемой из намывных пород, находящихся под отвалами.

Наблюдениями на гидроотвалах Кузбасса установлено, что при углах наклона склона порядка 4^0 скорость деформирования откоса может достигать значений 0,3 м/сут.

I2. Развитие того или иного вида деформаций при отвалообразовании на гидроотвалах определяется прочностными и деформационными свойствами намывных пород и технологическими факторами, главными из которых являются высота и интенсивность ведения отвальных работ. Для каждой из выделенных при инженерно-геологическом районировании зон (разд. 2, пп. 42, 43): песчано-супесчаной, суглинистой и глинистой - характерен определенный тип деформаций. Исключение составляют повсеместно распространенные осадки отвалов, хотя их продолжительность не одинакова для различных зон. Так, осадки отвалов на глинистом основании могут протекать многие годы и десятилетия, тогда как скорость уплотнения песчаных пород практически совпадает с интенсивностью нагружения.

Размещение отвалов в пределах зон песчано-супесчаных и суглинистых отложений сопровождается развитием подошвенных оползней

в краевых частях намывных сооружений, где мощность пород минимальна, и подподошвенных – на основной их площади. Однако высокая интенсивность нагружения суглинистых пород обусловливает формирование впереди отвального фронта зоны водонасыщенных "слабых" грунтов, дальнейшее отвалообразование на которых может приводить к появлению деформаций оседания с выдавливанием основания.

В глинистой зоне, верхняя часть которой сложена породами текучей консистенции, отсыпка отвалов практически всегда сопровождается деформациями оседания. На образовавшихся склонах из выдавленных намывных пород суглинистого и глинистого состава происходят деформации оплывания.

Типизация гидроотвалов при обосновании направления инженерно-геологических исследований

13. Инженерные изыскания для проектирования отвалов на гидроотвалах включают изучение инженерно-геологических условий намывных территорий с целью получения исходных данных, обеспечивающих определение оптимальных параметров новых инженерных сооружений (отвал+гидроотвал) и разработку рекомендаций по безопасному и экономически эффективному ведению отвальных работ. Под инженерно-геологическими условиями следует понимать совокупность природных и горно-геологических условий, которые определяют характер эксплуатации отвалов на намытых территориях.

14. Программа и методика исследований на гидроотвалах должны учитывать степень сложности инженерно-геологических условий. По степени сложности гидроотвалов следует различать три категории инженерно-геологических условий: I – простые, II – средней сложности и III – сложные. В качестве критериев для разделения на категории сложности рекомендуются следующие факторы: 1) степень ответственности гидроотвалов; 2) состав намывных пород; 3) степень уплотнения намывных пород (табл. 2). Первая группа факторов определяет общую значимость гидроотвала в генплане горно-добывающего предприятия с учетом вопросов охраны окружающей среды и безопасности горных работ. Так, гидроотвалы, расположенные в зоне влияния открытых и подземных горных работ, а также находящиеся в непосредственной близости от населенных пунктов, следует относить к категории сложных по инженерно-геологическим условиям. В качестве других факторов выбраны состав и состояние пород гидроотвала (степень уплотнения), которые зависят от технологии гидроотвалообразования (высоты и площади сооружения, интенсивности и спосо-

ба намыва и т. д.) и обусловливают, в основном, физико-механические свойства намывных отложений. Степень сложности определяют по совокупности факторов: если хотя бы один из них имеет более высокую категорию, то можно отнести гидроотвал к соответствующей этому фактору категории.

Таблица 2

Категория сложности	Степень ответственности сооружения	Преимущественный состав намывных пород	Степень уплотнения намывных пород
I	Гидроотвалы находятся вне зоны влияния открытых и подземных горных работ	Песчано-супесчаный	I
II		Суглинистый	0,5–I
III	Гидроотвалы находятся в зоне влияния открытых и подземных горных работ (на бортах в призме возможного обрушения, в зоне подработки подземными горными выработками и т. п.)	Глинистый	Менее 0,5

Примечание: Степень уплотнения – отношение величины осадки гидроотвала на текущий момент к его конечной осадке.

I5. Отвалы, как и другие сооружения, целесообразно проектировать в две стадии: на первой обосновывают необходимость строительства отвала, а на второй выполняют технический проект. Гидроотвалы с простыми (I) и средней сложности (II) инженерно-геологическими условиями можно проектировать в одну стадию.

Инженерно-геологические изыскания, сопутствующие проектным проработкам, следует также выполнять стадийно. На первой стадии обычно проводят рекогносцировочные исследования, а на второй –

предварительные, детальные и дополнительные. Главная цель предварительных исследований - изучить инженерно-геологическое строение намывного сооружения. На этом этапе проводят буровые, полевые и лабораторные работы. Следующим этапом инженерных изысканий являются детальные инженерно-геологические исследования, первостепенную роль в которых отводят опытно-промышленным отсыпкам отвалов с целью изучить условия их устойчивости и консолидации. а также выявлению в лаборатории закономерностей изменения состояния и физико-механических свойств намывных отложений при их нагружении. По окончании указанных исследований по данным полевых и лабораторных изысканий необходимо провести инженерно-геологическое районирование гидроотвала, позволяющее детально оценить инженерно-геологические условия на различных этапах его нагружения "сухими" отвалами и обосновать расчетные параметры для проектирования.

Завершающим этапом инженерных изысканий являются дополнительные инженерно-геологические исследования. Они обычно следуют за рассмотрением и утверждением технического проекта одновременно с отвальными работами и служат для уточнения параметров сооружений и порядка ведения отвальных работ. На этом этапе необходимы не только наблюдения за устойчивостью внешних откосов инженерного сооружения (отвал+гидроотвал), но и за оползневыми деформациями первого и последующих рабочих ярусов, а также бурение инженерно-геологических скважин через отвалы "сухих" пород с целью контроля изменения состояния и физико-механических свойств намывного массива.

II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Состав и объем инженерно-геологических исследований

I. Для инженерно-геологического изучения гидроотвалов с целью обосновать возможность и порядок их нагружения породами "сухой" вскрыши необходимо выбрать систему опробования, включающую установление количества проб намывных пород и мест опробования. Опробование гидроотвалов необходимо осуществлять как путем отбора проб из буровых скважин для изучения их в лабораторных условиях, так и непосредственно определяя состояние и свойства пород в массиве.

2. Ранее отмечено, что гидроотвалы обладают закономерной изменчивостью состава и инженерно-геологических свойств намывных пород в плане и по глубине. Изменчивость определяет технология гидроотвалообразования (см. разд. I, п. 2). По режиму изменчивости состава и свойств следует выделить три типа гидроотвалов:

I) изменчивость наблюдается только в одном направлении - по линии сноса материала (это обычно характерно для рассредоточенного способа намыва);

2) изменчивость наблюдается "по вееру" (гидроотвалы намывались сосредоточенным способом);

3) хаотичная изменчивость как в плане, так и по глубине (бессистемный намыв).

Выделенные типы инженерно-геологической изменчивости состава и свойств пород в гидроотвалах требуют различного подхода к их опробованию: разных систем расположения буровых скважин и точек полевого изучения свойств, неодинакового количества проб и т. д.

Для гидроотвалов первого типа буровые скважины и полевое опробование производится до пруда-отстойника по сетке, а в прудковой зоне - по линии перпендикулярной местам выброса пульпы. В третьем случае опробование всего гидроотвала необходимо проводить по сетке, сгущаемой на ответственных участках. В особо ответственных местах гидроотвалов (у дамб обвалования) инженерно-геологическое опробование следует выполнять по линиям, параллельным границам участков. Так, в приотносной части гидроотвала инженерно-геологическое опробование необходимо проводить в призме возможного обрушения по линиям, параллельным дамбам обвалования.

3. Шаг опробования гидроотвала в плане определяется видом инженерно-геологических работ и категорией сооружения по степени сложности (см. табл. 3). Частота отбора намывных пород и пород основания гидроотвала из буровых скважин для лабораторных исследований определяется необходимостью получить достоверные показатели физико-механических свойств. Образцы следует отбирать из каждого визуально выделенного однородного слоя; при мощности его более 3 м - из каждого 3-метрового интервала /II/. В зоне тонкого переслаивания частота отбора должна составлять 20-25 см на I м погонной длины скважины. Частота опробования полевыми методами различна для каждого из них: вращательный срез и зондирование датчиками порового давления рекомендуется через I-2 м; прессиометрические испытания - одно в слое мощностью более I м и через каждые 5 м в однородных и тонкослоистых отложениях.

4. Специфика инженерно-геологического изучения гидроотвалов связана с неоднородностью породного массива как в плане, так и по

Таблица 3

Вид инженерно-геологических работ	Количество точек опробований по категориям сложности инженерно-геологических условий гидроотвала		
	I	II	III
Буровые работы (отбор образцов пород)	3	5	6
Полевые исследования физико-механических свойств (крыльчатка, статическое зондирование, прессиометрия, радиометрия, зондирование датчиками)	6	10	10
Опытно-промышленные эксперименты	Один эксперимент в прудковой зоне	По одному эксперименту в каждой из выделенных зон	Один-два эксперимента в каждой из выделенных зон

глубине, поэтому целесообразно комплексно использовать полевые и лабораторные методы определения физико-механических и водных свойств намывных пород, причем полевые методы должны быть ориентированы на массовое опробование гидроотвала, в первую очередь для оценки его неоднородности. Влияние порового давления на изменение напряженного состояния пород гидроотвалов вызывает необходимость определять фильтрационные и консолидационные характеристики, используемые для прогноза состояния намывного массива при его нагружении породами сухой вскрыши.

5. Для прогноза напряженно-деформированного состояния гидроотвалов при их нагружении, определения оптимальных параметров будущих сооружений, а также для разработки и проектирования технологических мероприятий по безопасному и эффективному отвалообразованию необходимо определять следующие показатели.

Прочностные:

полное сопротивление сдвигу τ, МПа;

параметры сопротивления сдвигу:

угол внутреннего трения φ, градус;

сцепление C, МПа.

Деформационные:

коэффициент уплотнения α, $МПа^{-1}$;
модуль деформации E_0, МПа.

Водно-физические:

коэффициент фильтрации $K_ф$, м/с;
коэффициент водонасыщения G;
коэффициент пористости e.

Параметр, определяющий изменчивость во времени напряженно-деформированного состояния пород –
коэффициент консолидации C_v, $м^2/с$.

6. Перед определением расчетных характеристик устанавливают основные классификационные показатели намывных пород (гранулометрический и микроагрегатный состав). Кроме того, находят дополнительные показатели:

естественная влажность W, %;
плотность γ, $г/см^3$;
плотность минеральной части $\gamma_у$, $г/см^3$;
пределы пластичности $W_т$, $W_р$, %.

На основе этих данных вычисляют:

плотность скелета $\gamma_{ск}$, $г/см^3$;
плотность с учетом гидростатического взвешивания γ', $г/см^3$;
число пластичности J, % и показатель консистенции B.

7. На первой стадии проектирования для предварительных оценок в качестве расчетных параметров допускается использовать характеристики гидроотвалов-аналогов.

Изучение состава и физико-механических свойств пород отвалов, гидроотвалов и их оснований в лабораторных условиях

8. Рекомендуется отбирать образцы в основном ненарушенного сложения из скважин, шурфов и горных выработок.

Основное требование к пробам нарушенного сложения – это сохранение их состава (минерального и гранулометрического), а также естественной влажности. Образцы нарушенного сложения допускается отбирать в следующих случаях:

I/ изыскания носят рекогносцировочный характер, предусматривающий определение только классификационных показателей;

2/ накоплен большой объем материалов по намывным отложениям данного района, что позволяет провести корреляцию физических характеристик с расчетными показателями;

3/ невозможно отобрать образцы ненарушенного сложения.

Породы из скважин обычно отбирают с помощью буровых наконечников и грунтоносов, причем для предотвращения обводнения проб плотность глинистого бурового раствора должна составлять не менее I,2 кг/см^3.

9. Образцы ненарушенного сложения в гидроотвалах рекомендуется отбирать тонкостенными цилиндрическими грунтоносами с заостренной снаружи режущей кромкой, которые обычно задавливают со скоростью не более 0,5 м/мин. Согласно ГОСТу I207I-72 диаметр образца должен быть не менее 90 мм, а высота - не более трех диаметров.

Упаковка образцов ненарушенного сложения состоит в нанесении на образец изолирующего материала. В качестве последнего рекомендуется расплавленный парафин. Допускается для изоляции монолитов использовать смесь парафина с гудроном (35-50%), а также парафина с воском (25%), канифолью (I0%) и минеральным маслом (5%). Образцы текучей и мягко-пластичной консистенции перед упаковкой рекомендуется помещать в металлические коррозионностойкие или пластмассовые стаканы.

Образцы грунта обычно транспортируют в ящиках. Свободное пространство между образцами должно быть заполнено влажными древесными опилками. Монолиты грунта при транспортировке и хранении не должны подвергаться резким динамическим и температурным воздействиям. Срок хранения упакованных монолитов (с момента их отбора до начала лабораторных испытаний) не должен превышать I,5 месяца.

I0. Основным требованием для определения сопротивления сдвигу в лабораторных условиях является наиболее близкое соответствие условий испытания образца напряженному состоянию массива отвала, гидроотвала или их основания. Выполнение этого требования достигается выбором метода и схемы испытания. Существуют три основных схемы испытаний: I) консолидированно-дренированные; 2) консолидированно-недренированные; 3) неконсолидированно-недренированные.

Наиболее достоверные результаты могут быть получены при испытаниях по указанным схемам в приборах трехосного сжатия (стабилометрах), которые не только обеспечивают герметизацию испытываемого образца, но и дают возможность измерить величину избыточного порового давления. Однако в связи с отсутствием серийно выпуска-

емых стабилометров и трудоемкостью экспериментов испытания в условиях трехосного сжатия применяют ограниченно. Массовые испытания намывных пород рекомендуется проводить на приборах одноплоскостного сдвига.

II. Определение прочности на одноплоскостных срезных приборах по схеме неконсолидированно-недренированного сдвига производится без предварительного уплотнения образцов с сохранением в процессе опыта постоянной плотности - влажности. Для этого необходима большая скорость деформирования (продолжительность опыта не превышает 2-3 мин). Эта схема рекомендуется для пород, характеризующихся быстрой консолидацией под нормальной нагрузкой (дресвяно-щебенистые и песчаные отложения отвалов, дамб обвалования и пляжа намыва), а также для глинистых пород текучей консистенции, уплотнение которых в гидроотвалах - длительный процесс.

I2. Одноплоскостные срезные испытания по схеме консолидированно-дренированного сдвига производятся после предварительного уплотнения под нагрузками, соответствующими диапазону нормальных напряжений в гидроотвале, причем сдвиг выполняется при нормальных давлениях, равных уплотняющим. Эта схема приемлема для оценки прочности грунтов, консолидация которых завершена (при длительной эксплуатации гидроотвалов). Однако, она имеет существенные недостатки, например, при опыте изменяется физическое состояние грунта, не учитывается давление, образовавшееся при сдвиге. Эти недостатки ограничивают применение данной схемы при исследованиях пород гидроотвалов.

I3. Схема консолидированно-недренированного сдвига наиболее приемлема для исследований намывных грунтов. Испытания по ней обычно осуществляются в двух вариантах. Отличие в испытаниях при этом заключается в том, что по первому варианту образцы срезаются при нагрузках, равных уплотняющим, тогда как по второму - образцы сдвигаются под нагрузками, меньшими или равными уплотняющим. В последнем случае консолидированно-недренированные испытания наиболее достоверно моделируют условия работы пород в массиве, а также позволяют учитывать развивающееся при сдвиге поровое давление и оценивать изменение параметров сопротивления сдвигу (φ и C) с ростом эффективных напряжений.

Сущность испытаний заключается в том, что породы предварительно уплотняются под нагрузками, равными напряжениям либо отмеченным в точке отбора образца, либо рассчитанным с учетом нагрузки от отвалов "сухой" вскрыши. Нагрузки предварительного уплотнения следует вычислять по формуле:

$$\sigma'_{упл} = \gamma h_1 + \gamma' h_2 + \gamma_{от} h_3 - P_и \,, \qquad (2)$$

где γ – плотность намывных пород, кг/м^3; γ' – плотность намывных пород с учетом гидростатического взвешивания, кг/м^3; $\gamma_{от}$ – плотность пород отвала, кг/м^3; h_1 – мощность породы от поверхности гидроотвала до депрессионной поверхности, м; h_2 – мощность породы от депрессионной поверхности до расчетной точки, м; h_3 – мощность пород отвалов, м; $P_и$ – избыточное поровое давление, кг/м^2.

После прекращения деформаций уплотнения (условно принято считать уплотнение завершенным при скоростях деформирования не более 0,01 мм/сут), образцы испытывают на сдвиг под нагрузками, не превышающими уплотняющие. Рекомендуются следующие значения нормальных напряжений: 10, 25, 40, 50, 75, 100% от величины нагрузки предварительного уплотнения; продолжительность опыта при одном нормальном давлении должна составлять 5–8 мин.

На одноплоскостных срезных приборах со ступенчатой системой нагрузки касательные напряжения прикладываются ступенями с интервалом времени 30 с – 1 мин, при этом необходимо обеспечивать примерно постоянную скорость деформирования. Это усложняет работу исполнителей и требует их подготовки. Исключить эти трудности можно с помощью приборов, имеющих постоянную заданную скорость приложения касательной нагрузки. Одним из таких приборов является БП-33, выпускаемый ОЗЗ ВНИМИ, который обеспечивает постоянную скорость сдвига 1; 0,5; 0,1 и 0,01 мм/мин. Вертикальное давление создается подвижным грузом на уравновешенном рычаге с соотношением плеч 1:20. Касательная нагрузка на образец передается через динамометр типа ДОСМ и фиксируется на нижней каретке с помощью индикатора часового типа. Размер коробки позволяет испытывать образцы диаметром 71,4 мм и высотой 35 мм.

По результатам сдвиговых испытаний серии образцов, предварительно уплотненных под одинаковой нагрузкой, строят криволинейный график $\tau = f(\sigma)$, который можно характеризовать тремя участками (рис. 2). Первый из них ($0 - \sigma''$) отвечает сопротивлению сдвига при наличии растягивающих напряжений. Значение σ'' следует определять по формуле /6/;

$$\sigma'' = \frac{c}{tg(45 - \varphi/2)\, tg\varphi} \,. \qquad (3)$$

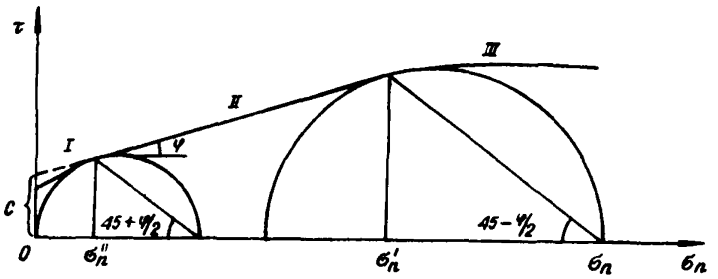


Рис. 2. График зависимости $\tau = f(\sigma)$

Второй участок ($\sigma'' - \sigma'$) представляет собой линию, близкую к прямой, наклоненную к оси абсцисс под некоторым углом φ и отсекающую на оси ординат значение С, которое характеризует прочность пород данного физического состояния.

Третий участок ($\sigma' - \sigma_w$) характеризуется выполаживанием кривой $\tau = f(\sigma)$, которое происходит вследствие возникающего при сдвиге избыточного порового давления. Предельную величину нормального напряжения σ', при котором в грунте возникают условия для изменения исходного состояния, можно найти по формуле:

$$\sigma' = \frac{\sigma_w \operatorname{tg}(45 - \varphi/2) - C}{\operatorname{tg}(45 - \varphi/2) + \operatorname{tg}\varphi}, \qquad (4)$$

где σ_w – нагрузка уплотнения образцов.

I4. Инженерно-геологические исследования, необходимые для решения задачи нагружения гидроотвала породами "сухих" отвалов, должны включать изучение изменения прочностных показателей намывных пород в зависимости от эффективных напряжений. Для этого под разными нагрузками одновременно уплотняются серии образцов, испытания которых в срезных приборах по схеме консолидированно-недренированного сдвига дают возможность получить несколько графиков сопротивления сдвигу, характеризующихся параметрами φ и С для каждой уплотняющей нагрузки (рис. 3).

Многолетний опыт сдвиговых испытаний намывных песчано-глинистых отложений позволил установить, что параметры сопротивления

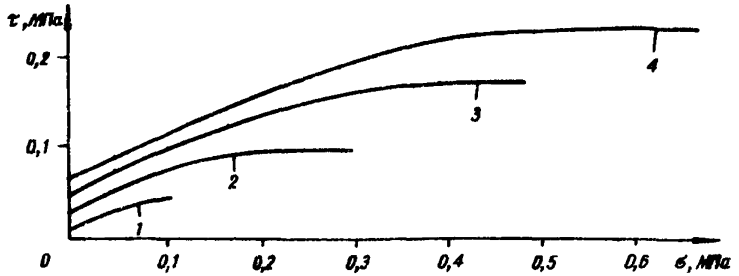


Рис. 3. Графики сопротивления сдвигу намывных пород при различных уплотняющих нагрузках ($\sigma_{упл}$)

сдвигу φ и С зависят от эффективных напряжений, причем сцепление возрастает, а угол внутреннего трения уменьшается, поэтому выражение для определения общего сопротивления сдвигу можно записать в виде:

$$\tau = \sigma_{эф} \operatorname{tg} \varphi [f(\sigma_{эф})] + C[f(\sigma_{эф})], \qquad (5)$$

где $\sigma_{эф} = \sigma_{пол} - P_{и}$ – эффективное напряжение в скелете намывных грунтов.

15. Определение параметров консолидации пород в лабораторных условиях рекомендуется осуществлять следующими способами: 1) аналитическим расчетом; 2) графическим методом, по результатам наблюдений за сжимаемостью образца; 3) расчетами по результатам наблюдений за развитием избыточного порового давления в процессе уплотнения образцов. Все указанные способы базируются на компрессионных испытаниях образцов пород ненарушенной структуры.

16. Аналитический расчет коэффициента консолидации производится по формуле:

$$C_{v} = \frac{K_{ф}(1+e)}{\gamma_{в}\, a}, \qquad (6)$$

где $K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/с; e – коэффициент пористости; a – коэффициент сжимаемости, $см^2/кг$; $\gamma_в$ – плотность воды, $кг/м^3$.

Коэффициенты фильтрации, пористости и сжимаемости, входящие в расчетную формулу (6), определяются обычно в соответствии с общеизвестной методикой /9/. Для предварительных прогнозов уплотнения гидроотвалов можно использовать коэффициенты консолидации, рассчитанные по табличным значениям $K_ф$, a, e (прил. 3).

I7. Если процесс консолидации образца протекает в соответствии с теорией Терцаги-Герсеванова, коэффициент консолидации можно определять одним из графических методов. Наиболее часто используемый метод "квадратного корня", предложенный Тейлором /23/, основан на том, что график зависимости $e = f(\sqrt{t})$, полученный по результатам компрессионных испытаний, в пределах 60-процентной консолидации аппроксимируется прямой линией. Точка, соответствующая 90-процентной консолидации, находится в месте пересечения опытного графика с прямой, абсциссы которой в I,I5 раза больше абсцисс прямолинейного участка (рис. 4). Коэффициент консолидации в этом случае может быть определен по выражению:

$$C_v = \frac{T_{90}}{t_{90}} h^2 , \qquad (7)$$

где T_{90} – фактор времени (по Терцаги $T_{90} = 0{,}848$); t_{90} – время, полученное в результате построений на графике; h – длина пути фильтрации воды, равная половине высоты образца при двустороннем дренировании.

I8. Компрессионные испытания, включающие замеры порового давления, следует производить в одометрах, снабженных специальными устройствами для замеров избыточного порового давления. Для этих целей можно использовать стеклянные капилляры с внутренним диаметром 0,I мм, запаянные с одного конца, частично заполненные дистиллированной водой и присоединенные к нижней базе прибора. Начальное положение границы раздела воздуха и воды в капилляре соответствует сумме атмосферного и гидростатического давлений на нижнем торце образца при температуре, отмеченной в момент начала опыта. Избыточное поровое давление, развивающееся под действием приложенной к образцу нагрузки, следует определять из выражения:

$$P_и = \frac{P_0 l_0 T_t}{l_t T_0} - P_0 \pm \Delta P , \qquad (8)$$

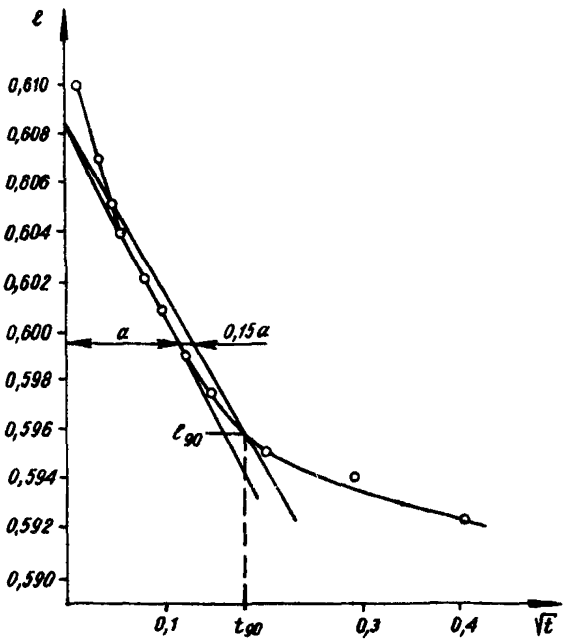


Рис. 4. Определение коэффициента консолидации графическим методом Тейлора

где P_0 - начальное давление в капиллярной трубке, МПа; l_0 - длина части капилляра, заполненной воздухом в момент времени $t = 0$, см; l_t - то же в момент $t > 0$, см; T_0 и T_t - соответственно температура в начале опыта и в момент $t > 0$, градусы; ΔP - изменение атмосферного давления, МПа.

По результатам замеров избыточного порового давления строится график $P_и = f(t)$. Коэффициент консолидации определяется в рамках схемы одномерной фильтрации в пласте с непроницаемым внешним контуром и "мгновенным" снижением давления на контуре дренажа. По графику (рис. 5), исходя из отношения $\frac{P_t}{P_0}$ (где P_0 - максимальное давление по пьезометру; P_t - давление в момент времени t, отсчитываемого от момента достижения P_0), определяется параметр

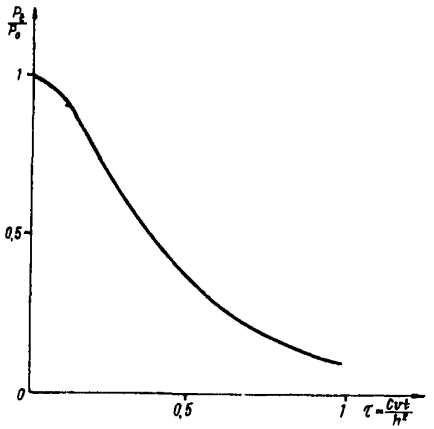


Рис. 5. График $\frac{P_t}{P_0} = f(\tau)$

$\tau = \frac{C_v t}{h^2}$ (где C_v – параметр консолидации; h – высота образца), из которого можно вычислить коэффициент консолидации C_v.

19. Методика определения гранулометрического и минерального состава, основных физических свойств – плотности, влажности, пористости, степени водонасыщения, пределов пластичности – разработана достаточно полно /9/ и не требует пояснений.

Изучение состояния и свойств пород отвалов, гидроотвалов и их оснований в полевых условиях

20. Инженерно-геологическое изучение пород отвалов, гидроотвалов и их оснований требует преимущественно полевых методов исследования; это дает возможность оперативно получать сведения о физико-механических свойствах пород в условиях их естественного залегания, а также исследовать отложения, отбор образцов из которых либо затруднен, либо практически невозможен. При изысканиях на гидроотвалах рекомендуется применять вращательный срез, прессиометрию, статическое зондирование, радиометрию и изучение напряженно-деформированного состояния датчиками порового давления.

21. Вращательный срез необходим, чтобы определить сопротивление срезу τ и показатель структурной прочности D.

Опробование заключается во внедрении лопастного зонда в породный массив, последующем его вращении и регистрации на крыльчатке крутящего момента.

Для испытания пород методом вращательного среза обычно применяют установки, состоящие из следующих основных узлов: крыльчатка; стержневая система; устройство, создающее и регистрирующее на крыльчатке вращательный момент.

Во ВНИМИ в течение длительного времени используется установка, где устройство, создающее и регистрирующее на крыльчатке вращающий момент, отличается простотой конструкции и содержит цилиндрический шарнир, два рычага и динамометр растяжения (рис. 6).

Испытания вращательным срезом в скважинах осуществляют следующим образом. После проходки скважины до определенной глубины лопастной зонд задавливают ниже забоя на 0,3–0,5 м, а затем со скоростью 0,2–0,3 угловых градуса в секунду поворачивают на 3–4 оборота.

В процессе опыта постоянно фиксируют угол поворота и вращающий момент, а затем выделяют его максимальные M_{max} и минимальные M_{min} значения.

Испытания вращательным срезом в определенных условиях можно проводить без бурения скважин. В последнем случае после регистрации M_{max} и M_{min} необходимо определять крутящий момент $M_{кр}$, возникающий за счет трения стержневой системы о породу и вычитать его из полученных опытных данных.

Сопротивление вращательному срезу вычисляют по формуле:

$$\tau_{max} = \frac{M_{max}}{B}, \qquad (9)$$

где B – геометрическая характеристика поверхности скольжения, называемая "постоянной" крыльчатки.

$$B = \frac{\pi d^2}{2}\left(h + \frac{d}{3}\right), \qquad (10)$$

где d и h – соответственно диаметр и высота крыльчатки, см.

Показатель структурной прочности породы при срезе (D) вычисляют по формуле:

$$D = M_{max} / M_{min}. \qquad (11)$$

Структурную прочность при этом определяют по табл. 4.

Таблица 4

D	Структурная прочность
I	Отсутствует
I–2	Низкая
2–5	Средняя
5	Высокая

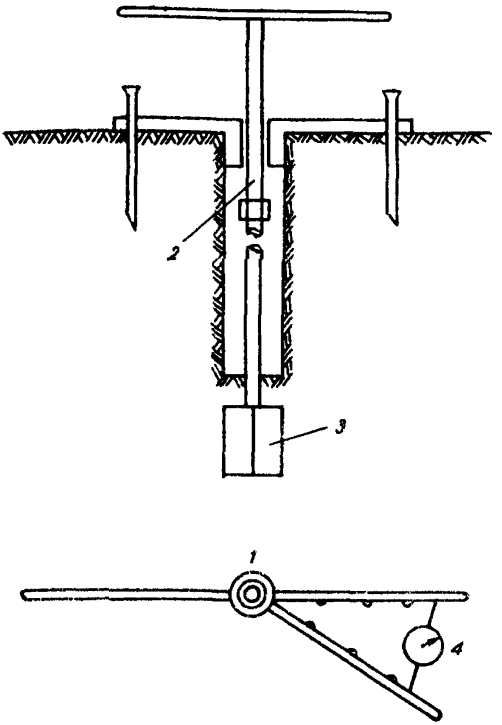


Рис. 6. *Установка для определения сопротивления вращательному срезу:*

I – устройство, создающее и регистрирующее вращательный момент на крыльчатке;
2 – стержневая система; 3 – крыльчатка;
4 – динамометр на растяжение

Испытания намывных пород с помощью вращательного среза наиболее распространены при опробовании "слабых" разностей и широко используются на гидроотвалах. Однако этот метод дает завышенные значения прочности, по сравнению с полученными при испытаниях на одноплоскостных срезных приборах, причем различие существенно зависит от гранулометрического состава отложений и глубины испытаний. Поэтому определение сопротивления вращательному срезу необходимо сочетать с лабораторными опытами, в результате между ними выявляются корреляционные связи и, в конечном итоге, можно использо-

вать эти значения в конкретных инженерно-геологических расчетах.

Сравнение результатов испытаний с помощью вращательного среза и одноплоскостного сдвига требует знания эффективных напряжений в месте отбора образца. В некоторых частях гидроотвалов процессы фильтрационной консолидации могут быть не завершены. Это обусловливает переменные во времени значения эффективных напряжений в скелете грунта. Следовательно, перспективно применение крыльчатки, совмещенной с датчиками порового давления (рис. 7), а это позволяет определять поровое давление как до проведения эксперимента, так и в процессе среза.

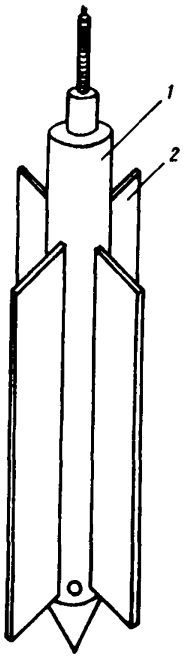


Рис. 7. Крыльчатка, совмещенная со струнным пьезодинамометром:
1 – датчик;
2 – лопасти крыльчатки

Сопоставление результатов испытаний с помощью вращательного среза, полученных в намывных отложениях Кузбасса, с данными лабораторных определений сдвиговой прочности на одноплоскостных срезных приборах позволило получить следующие поправочные коэффициенты значений сопротивления вращательному срезу: 0,59-0,67 – для песчано-супесчаной зоны (пляж намыва); 0,67-0,77 – для суглинистой переходной зоны; 0,83-1 – для глинистой (прудковой) зоны.

22. Для определения прочностных (φ и C) и деформационных (E) параметров намывных пород можно использовать прессиометры, которые позволяют установить зависимость между радиальным давлением P на стенку скважины и соответствующим ему радиальным перемещением ΔZ (рис. 8).

Требования к прессиометрам и технологии прессиометрических испытаний определены ГОСТом 20276-74, в котором начальный диаметр ограничен диапазоном 76-127 мм, установлены пределы изменения диаметра в 1,5 раза, а также перечислены требования к буровым скважинам. Основным требованием к бурению скважины является минимальное нарушение природного сложения, достигаемое вращательным способом. В слабых водонасыщенных отложениях при бурении скважин необходимо производить обсадку. Затем прессиометр опускают в скважину на необходимую глубину, а обсадную трубу поднимают на высоту, равную его длине.

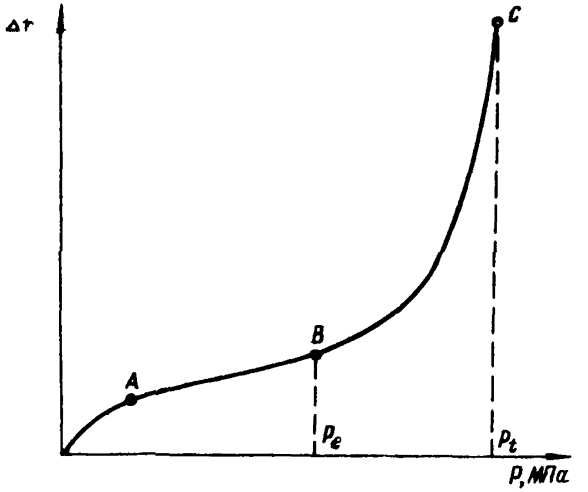


Рис. 8. График прессиометрических испытаний

По графику прессиометрических наблюдений $P = f(\Delta r)$ (см. рис. 8) можно выделить две стадии деформирования, а именно, упругих (отрезок АВ) и пластических (отрезок ВС) деформаций.

Модуль деформации (для значений нагрузок, отвечающих стадии упругих деформаций) рекомендуется определять по формуле:

$$E = K r_0 \frac{\Delta P}{\Delta r}, \qquad (12)$$

где r – радиус скважины, см; $\Delta P = P - P_0$ – изменение давления, кг/см^2; $\Delta r = r - r_0$ – изменение радиуса скважины, см; К – корректирующий коэффициент, равный 1,5 – 3.

Для ориентировочных определений прочности намывных пород можно использовать следующие формулы /7/:

$$C = \left(\frac{P}{P_e} - 1\right) P_{быт} \operatorname{tg} \varphi; \qquad (13)$$

$$c \operatorname{tg} \varphi + \varphi = \pi \left(\frac{P_{быт}}{P_e} + 0{,}5\right), \qquad (14)$$

где P_e – предел пропорциональности, кг/см^2; P_t – предел прочности пород, кг/см^2; φ – угол внутреннего трения, радиан; С – сцепление, кг/см^2; $P_{быт}$ – бытовое давление в месте испытания, кг/см^2.

Определить показатели прочности φ и C по данным прессиометрии сложно, так как их обработка по известным решениям приводит иногда к нереальным величинам. Поэтому такие показатели можно использовать для расчетов лишь после сопоставления с параметрами, полученными с помощью апробированных методов.

23. Одним из наиболее простых натурных методов опробования, позволяющих получить информацию о намывных породах, является метод статического зондирования, результаты которого дают возможность:

- определить однородность пород по площади и глубине;
- приближенно оценить физико-механические свойства пород (плотность, прочность, модуль деформации);
- выбрать места расположения опытных площадок для детального изучения состава, состояния и свойств пород.

Статическое зондирование обычно проводится серийными установками в соответствии с ГОСТом 20069-74, который рекомендует для задавливания диаметр конуса 36 мм и скорость не более I м/мин.

Во ВНИМИ используется установка, позволяющая применять для задавливания конуса гидравлические системы буровых установок (УГБ-50М, СБА-500 и пр.). Она состоит из штанг диаметром I5 мм с конусом в нижней части (площадь основания I0 $см^2$ и угол при вершине 60^0), защитных труб диаметром 36 мм и регистрирующего устройства (рис. 9). Последнее имеет вид скобы, в которой помещают два динамометра. Центральный динамометр, опирающийся на стержневую систему, регистрирует сопротивление задавливанию конуса, а другой - трение по боковой поверхности защитных труб.

В результате статического зондирования определяют:

а) удельное сопротивление грунта задавливанию конуса зонда $q_ч = \frac{P}{S}$ (P - полное усилие задавливания конуса; кг; S - площадь поперечного сечения зонда, $см^2$);

б) сопротивление трения грунта по боковой поверхности $P_{тр}$, кг.

Сравнение результатов статического зондирования и вращательного среза, проведенных на гидроотвалах ПО Кемеровоуголь, позволило получить следующую корреляционную зависимость:

$$\tau = 0{,}073\, q_ч - 0{,}002\, q_ч^2 , \qquad (I5)$$

где τ - сопротивление вращательному срезу, $кг/см^2$; $q_ч$ - удельное сопротивление задавливанию, $кг/см^2$.

При этом коэффициент корреляции составил $r = 0{,}8I$, а среднеквадратическое отклонение 0,04. В указанных экспериментах сопротивление сдвигу изменялось от 0,075 до 0,68 $кг/см^2$, а удельное сопротивление задавливанию конуса - от 0,2 до I4 $кг/см^2$.

Данные статического зондирования также могут быть использованы для ориентировочного определения консистенции. Исследованиями установлено, что намывные породы Кузбасса можно разделять на две зоны по удельному сопротивлению зондированию: I) зона пород текучей и текучепластичной консистенции ($q < 10$ кг/см^2); 2) зона пород мягкопластичной консистенции ($q > 10$ кг/см^2).

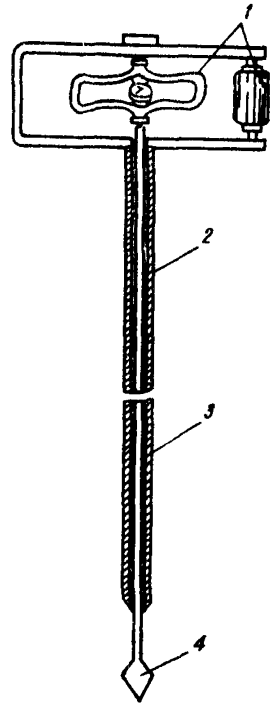


Рис. 9. Установка статического зондирования:
I - динамометры ДОСМ;
2 - защитные трубы;
3 - штанги; 4 - конус

24. Плотность и влажность намывных пород можно непосредственно определять в массиве гидроотвалов при помощи каротажа скважин радиоизотопными приборами. В практике инженерно-геологических изысканий широкое распространение получили серийно выпускаемые плотномеры и влагомеры типа ВПГР и ППГР, которые дают возможность организовать систематические наблюдения за изменением плотности и влажности в гидроотвалах в процессе их консолидации. Методика радиометрических замеров плотности - влажности определяется типом и конструкцией используемых для этой цели приборов. Рассмотрим основные требования, предъявляемые к радиоизотопным определениям.

Определение плотности и влажности грунтов с помощью радиоизотопов на глубинах более 0,5 м следует проводить в скважинах, обсаженных буровыми трубами. Отметим, что параметры труб, используемых при испытаниях, должны быть близкими к принятым при градуировке и поверке приборов. Градуировку и поверку радиоизотопных приборов следует осуществлять в лаборатории - на основе аттестованных образцов; в полевых условиях - на основе сопоставления с результатами определения влажности и плотности соответственно по ГОСТам 5180-75 и 5182-78 в точках измерения (для этого в непосредственной близости от мест испытания проходят скважину и отбирают образцы).

25. Особо важное значение среди полевых методов имеют измерения порового давления в массиве гидроотвалов. Данные этих натур-

ных замеров позволяют наблюдать за ходом фильтрационной консолидации, в результате существенно повышается достоверность определения параметров консолидации и эффективность расчетов устойчивости откосов техногенных массивов.

Для замеров порового давления в намывных породах рекомендуются специальные датчики, принцип действия которых основан на том, что давление жидкости через мембрану передается на предварительно напряженную струну, вызывая либо ее удлинение (датчики 9Т09 и ДС-13 конструкции ВНИМИ), либо укорачивание (датчики НИС Гидропроекта и ДДС конструкции ПО Спецэнергоавтоматика)и соответствующее увеличение или уменьшение частоты возбуждаемых колебаний струны. Давление с помощью датчика измеряют следующим образом: с частотомера снимают показания частоты колебания струны. Количественную зависимость между измеренной частотой колебания струны и поровым давлением определяют с помощью индивидуальной тарировки датчика.

В зависимости от целей и задач инженерно-геологических исследований на гидроотвалах, а также конструкции датчиков возможны два варианта их установки в грунтовой массив: а) в предварительно пробуренную скважину; б) способом задавливания.

При установке датчиков в предварительно пробуренную скважину особо высокие требования необходимо предъявлять к тампонажным работам, которые следует направлять на максимально возможное сохранение "естественного" гидродинамического режима зоны заложения датчика. Лучшие результаты дает размещение датчика в перфорированной капсуле с таким же диаметром, как у скважины. После установки датчика в скважину приступают к выполнению тампонажных работ. В качестве тампонажных смесей можно использовать материалы, проницаемость которых меньше, чем у пород, вскрытых буровой скважиной. Однако намывные отложения, находящиеся в текучем и мягкопластичном состоянии, неустойчивы в скважинах, поэтому выполнение тампонажных работ для них не всегда обязательно.

Постановка датчиков способом задавливания (например, типа ДДС диаметром 32 мм) осуществляется как для стационарных наблюдений, так и для эпизодического поинтервального зондирования. Отличие в выполнении работ заключается в том, что в первом случае датчики ставятся на длительный срок и обычно не требуют извлечения, тогда как во втором их поинтервально задавливают и извлекают на поверхность. Поэтому при зондировании датчики порового давления должны быть жестко соединены с буровыми трубами.

Датчики давления обладают инерционностью, так как после постановки в намывной массив давление в них постепенно уравнивается

с давлением окружающей среды. Время выхода датчика на рабочий режим рекомендуется находить из выражения:

$$P = P_0 \, I_1(\mu^*, \tau) \approx 0, \qquad (16)$$

где P – разница в давлении воды в порах породы и в полости вблизи мембраны на определенный момент времени, м вод.ст.; P_0 – давление воды в порах породы, м вод. ст.; $I_I(\mu^*, \tau)$ – табулированная функция /2/, определяемая по графику (рис. 10).

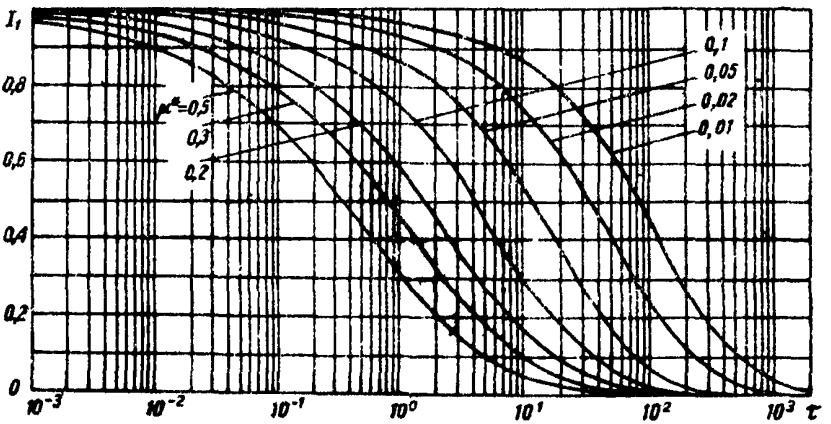


Рис. 10. График $I_1(\mu^*, \tau)$ при μ^* =0,5 – 0,01

$$\tau = \frac{C_v t}{r_c^2}; \quad \mu^* = \frac{K}{C_v},$$

где μ^* – коэффициент водоотдачи; K – коэффициент фильтрации, м/сут; C_v – коэффициент консолидации, $м^2$/сут; r_c – приведенный радиус.

Время выхода датчиков на рабочий режим определяем следующим образом. По известным значениям τ и графику (см. рис. 10) находим значение τ при котором $I(\mu^*, \tau) \approx 0$. Затем из выражения ($\tau = \frac{C_v t}{r_c^2}$) по значениям τ, C_v, r_c получаем время релаксации t^*.

---

[x] Время релаксации для песчано-супесчаных пород обычно минимально и не превышает 2-3 ч; для суглинистых и глинистых отложений оно может достигать 15-20 ч.

Результаты замеров порового давления подвергаются графической и аналитической обработке. Графическая обработка заключается в построении эпюр распределения избыточного порового давления по результатам комплексных замеров, аналитическая – в определении эффективных напряжений в точке наблюдения и расчете коэффициента консолидации пород. На основании эпюр распределения избыточного порового давления с глубиной делают заключение об условиях дренирования массива (рис. II), степени однородности его строения, напряженном состоянии. Эффективные напряжения определяют из выражения:

$$P_{эф} = P_{пол} - P_{и} , \qquad (I7)$$

где $P_{пол}$ – полное напряжение, МПа; $P_{и}$ – поровое давление, МПа.

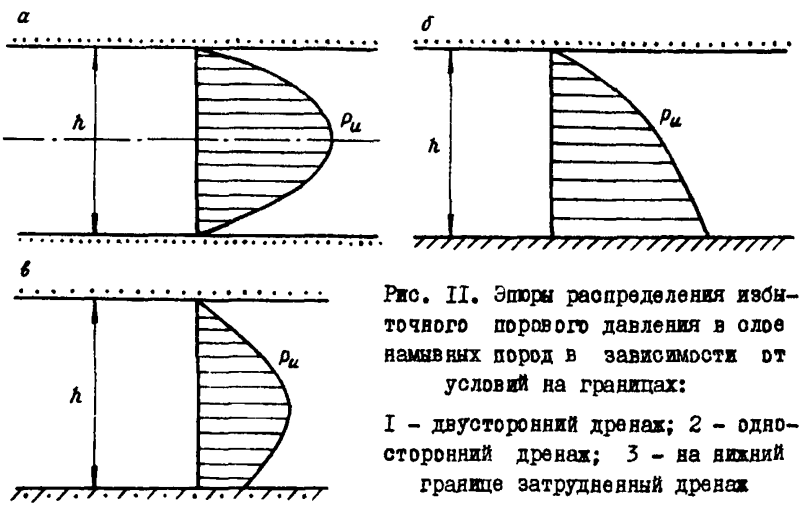


Рис. II. Эпюры распределения избыточного порового давления в толще намывных пород в зависимости от условий на границах:

I – двусторонний дренаж; 2 – односторонний дренаж; 3 – на нижней границе затрудненный дренаж

Коэффициент консолидации определяют методом обратных расчетов по решениям теории фильтрационной консолидации. Теоретические решения выбирают в зависимости от условий формирования напряженно-деформированного состояния массива намывных отложений.

Для расчетов консолидации гидроотвалов, имеющих переменную во времени мощность, можно использовать решения В. М. Малышева /22/.

При размещении слоя на водоупоре избыточное поровое давление определяют согласно зависимости:

$$\frac{P}{\gamma h} = \frac{(1-K)\left[2\left(1-\exp\left(-\frac{K\mu}{2}\right)\right)+\mu\right]}{2+\mu}, \qquad (18)$$

а при размещении на дренирующем основании

$$\frac{P}{\gamma h} = (1-K)\left[1-\exp\left(-\frac{K\mu}{2}\right)\right], \qquad (19)$$

где $K = \frac{Z}{h}$ – относительная координата точки в слое; Z – расстояние от нижней границы слоя до расчетной точки; h – мощность слоя; $\mu = \frac{v^2 t}{c_v}$; v – скорость намыва; t – продолжительность намыва; c_v – коэффициент консолидации.

Коэффициент консолидации в этом случае можно рассчитывать по графикам (рис. 12) /3/.

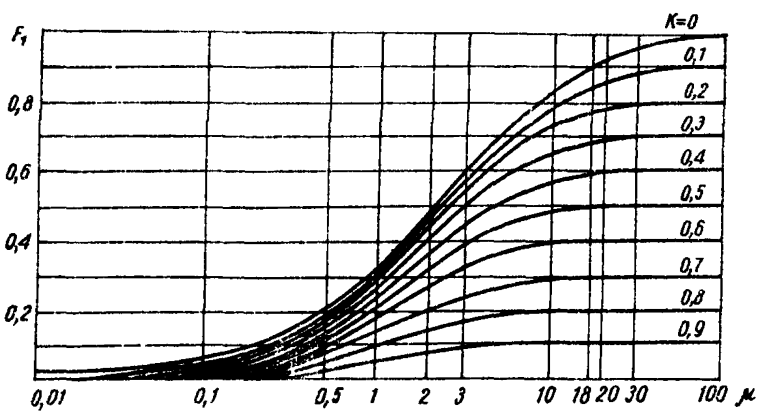


Рис. 12. График функции $F_1(K,\mu) = \frac{P}{\gamma h}$

Если период после окончания намыва гидроотвала до момента замера порового давления соизмерим со временем намыва, то определение коэффициента консолидации усложняется и в общем случае требует математического моделирования.

Параметры консолидации намывных пород рекомендуется находить, применяя полевые и лабораторные методы исследований. Сравнение результатов этих опытов, выполненное для конкретных объектов Кузбасса, позволяет сделать вывод о том, что лабораторные данные примерно на порядок ниже значений, полученных в поле. Следует отме-

тить, что максимальные нормальные напряжения, моделируемые при полевых исследованиях, значительно ниже напряжений от нагрузок проектируемых отвалов. Поэтому параметры консолидации следует определять комплексно в целенаправленном сочетании натурных и лабораторных методов, при этом полевые исследования необходимы, чтобы получить начальные коэффициенты консолидации, а лабораторные – чтобы установить характер их изменения с ростом эффективных напряжений.

Наблюдения за деформациями откосов отвалов, оценка напряженного состояния гидроотвалов и интерпретация результатов

26. Детальные и дополнительные инженерно-геологические изыскания при проектировании и строительстве отвалов на гидроотвалах должны включать изучение условий их устойчивости и консолидации; при этом на этапе детальных исследований обычно проводят опытно-промышленные отсыпки отвалов, а на этапе дополнительных исследований – инженерно-геологический контроль за отвалообразованием. Следует отметить, что методические приемы, используемые в обоих случаях, практически одинаковы, поэтому два вида работ рассматриваются в данном разделе совместно.

27. Опытное нагружение заключается в отсыпке блока пород "сухой" вскрыши на поверхность гидроотвала, сопровождаемой наблюдениями за динамикой развития избыточного порового давления в намывном массиве и осадкой блока.

Проведение опыта сводится к условиям плоской задачи уплотнения с загружением основания "мгновенно" приложенной равномерно распределенной полосовой нагрузкой – наиболее простой для интерпретации расчетной схеме. В соответствии с этим длина отсыпаемого блока должна в несколько раз (не менее трех) превышать ширину, а продолжительность отсыпки блока должна быть минимальной. Высоту и ширину блока выбирают в зависимости от решаемой задачи и инженерно-геологических условий в месте проведения опыта. Если кратковременное нагружение невозможно, то следует организовать контроль за изменяющимся поровым давлением в основании отсыпаемого блока.

28. Нагружение должно проводиться без оползневых деформаций откоса отсыпаемого блока; чтобы выполнить это условие, параметры отсыпаемого блока определяют предварительным расчетом его устойчивости. Корректировку выбранной ширины производят в процессе опыта по результатам маркшейдерских наблюдений за деформациями откоса.

Наблюдения за характером развития порового давления осуществляют с помощью датчиков струнного типа (см. п. 24 разд. II). Пьезометры устанавливаются в плоскости перпендикулярной фронту отсыпки по всей мощности намывных отложений. Количество точек наблюдения и их взаимное расположение определяется необходимостью оценки двумерного поля избыточного порового давления в основании призмы и инженерно-геологическими особенностями строения массива (прил. 5). Выбор мест заложения датчиков контролируется предварительным расчетом величин избыточного порового давления, так как они должны быть достаточными для замера датчиками с определенной точностью измерения.

29. К отсыпке приступают после стабилизации замеренных по датчикам "фоновых" величин давления, характеризующих напряженно-деформированное состояние массива до начала эксперимента.

Частота замеров в процессе отсыпки и после ее окончания зависит от скорости изменения избыточного порового давления и сохраняется по мере выполаживания графика.

Ориентировочный регламент замеров:

в процессе отсыпки - каждый 1-2 ч;

в первые сутки после завершения осыпки - через 2-3 ч;

последующие 5 сут - через 6 ч;

последующие 10 сут - через 24 ч;

затем через 5 - 10 сут.

В зависимости от решаемой задачи и скорости рассеивания избыточного порового давления замеры производятся до полного или существенного (до 90%) рассеивания последнего.

30. Наблюдения за осадкой толщи осуществляются с помощью специального репера, устанавливаемого в центре основания отсыпаемого блока в створе с реперами маркшейдерской станции и датчиками порового давления.

Репер представляет собой металлический стержень (трубу), жестко закрепленную на металлической плите, служащей для обеспечения связи репера с поверхностью намывного массива. Длину стержня выбирают так, чтобы она превышала высоту отсыпаемого блока на 0,4-0,5 м.

Исходное положение репера определяют одновременно с привязкой и начальными наблюдениями на маркшейдерской станции. Систематические наблюдения представляют собой инструментальное определение величин сдвижения репера в горизонтальной и вертикальной плоскостях; приступают к ним после окончания отсыпки. Частота серий маркшейдерских наблюдений соответствует замерам порового давления.

31. По мере получения результатов наблюдений за развитием порового давления и ходом осадки строят графики $P_u = f(t)$ и $S = f(t)$. Анализ характера изменения порового давления и осадки во времени позволяет судить об общих закономерностях процесса консолидации массива на данном участке и определить параметры процесса.

При достаточной длине отсыпаемой призмы процесс уплотнения отвечает двумерной схеме консолидации пород и описывается дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{\partial^2 P(z,y)}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 P(z,y)}{\partial^2 y^2} = \frac{1}{C_v} \cdot \frac{\partial P(z,y)}{\partial t}, \qquad (20)$$

где $P(z,y)$ - поровое давление в точке с координатами z, y в момент времени t; C_v - коэффициент консолидации.

Решение уравнения для случая мгновенно приложенной равномерно распределенной полосовой нагрузки в качестве начального условия предполагает мгновенное повышение порового давления в массиве в соответствии с увеличением полных напряжений.

Ориентировочная оценка коэффициента консолидации может быть проведена аналитически исходя из одномерной схемы "мгновенно" приложенной и сразу же снятой нагрузки /7/ по выражению:

$$C_v = \frac{z^2\left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2}\right)}{2 \ln \frac{t_1}{t_2} - 4 \ln \frac{P(z,t_1)}{P(z,t_2)}}, \qquad (21)$$

где z - расстояние от центра приложения нагрузки до точки пласта, в которой установлен датчик; $P(z,t)$ - поровое давление, зафиксированное в точке с координатой z в моменты времени t_1 и t_2 (от момента приложения нагрузки).

Выявленные в результате экспериментов изменения граничных условий и нелинейность процесса консолидации в основании призмы затрудняют интерпретацию получаемых результатов аналитическими методами и вынуждают обращаться к математическому моделированию. Для учета двумерности поля порового давления и его неоднородности по величине коэффициента консолидации, анализ результатов опытных отсыпок целесообразно вести на электрических моделях. С этой целью можно применять сеточные модели, реализующие уравнение (20) в конечно-разностной форме по схеме Либманна /24/. Эта схема позволяет учитывать любой характер приложения внешней нагрузки во времени. Моделирование сводится к подбору параметров модели, отвечающих коэффициентам консолидации отдельных зон поля давлений. С этой же целью можно использовать и сеточные модели

емкостного типа /4/. Неоднородность поля давлений, выявленная на моделях по коэффициенту консолидации, позволяет судить о напряженно-деформированном состоянии той или иной части массива намывных пород /28/.

32. По результатам наблюдений за осадкой можно определить модуль деформации из выражения /18/:

$$E = (1-\mu^2)\,\frac{\omega P\sqrt{F}}{S}, \qquad (22)$$

где F - площадь основания отсыпаемого блока; P - нагрузка от отсыпаемого блока; S - осадка блока; ω - коэффициент, зависящий от формы основания блока (для прямоугольника с соотношением сторон 5 $\omega = 0{,}82$); μ - коэффициент поперечного расширения (для песков и супесей 0,3; для суглинков 0,35; для глин 0,42).

33. Контроль за отвалообразованием является важнейшей составной частью технологического процесса. Он обеспечивает безопасность работ, их высокую технико-экономическую эффективность и осуществляется в течение всего периода возведения отвала. Отдельные виды контроля могут продолжаться и после завершения строительства отвала. В число задач контроля входят: а) оценка устойчивости сооружения с учетом процессов фильтрационной консолидации; б) оценка характера величин и скоростей деформирования откосов отвалов; в) установление соответствия действительных условий отвалообразования проектным решениям.

34. Оценку устойчивости инженерного сооружения в целом (отвал + гидроотвал) необходимо осуществлять по станциям, заложенным по известной методике /5/ в наиболее ответственных местах, перпендикулярно простиранию откоса отвала в предельном положении. Наблюдения за деформациями отвалов при их отсыпке на слабое основание отличаются рядом особенностей, связанных с тем, что процесс деформирования зависит от способа и условий отвалообразования, состава пород отвалов и гидроотвалов, их уплотнения и изменения напряженно-деформированного состояния намывных пород за счет избыточного порового давления.

К специфике наблюдений на отвалах, отсыпаемых на гидроотвалах, относится изучение напряженно-деформированного состояния намывных отложений с помощью датчиков порового давления, позволяющее уточнять параметры отвальных сооружений. Датчики порового давления следует закладывать в тело гидроотвала вблизи расчетной поверхности скольжения по ранее изложенной методике (п. 25, разд. II).

35. Целями маркшейдерских наблюдений за деформациями отвалов являются: а) установление границ распространения и вида деформаций; б) определение абсолютных величин и скорости смещения оползающей массы; в) определение критических величин и скорости смещения, предшествующих разрушению откоса отвала. На основе маркшейдерских наблюдений уточняют технологию отвалообразования на деформирующихся отвалах и осуществляют управление отвалообразованием.

36. При контроле за деформациями отвалов, отсыпаемых на гидроотвалах, используют два вида наблюдений: инструментальные и визуальные. Первые выполняет, как правило, маркшейдерская служба разреза или сектор по наблюдению за сдвижением пород производственного объединения. Визуальные наблюдения могут выполнять производственные службы разреза, ИТР и рабочие горных участков, обслуживающих отвал.

В задачи маркшейдерского инструментального контроля входят наблюдения за общей устойчивостью отвального сооружения, возведенного на гидроотвале. Маркшейдерская служба осуществляет также наблюдения за затуханием деформаций на блоке с момента переноса отвальных работ на другой блок /5I/. На основе этих наблюдений устанавливается характер, скорость и время затухания оползневого процесса, величины деформаций и решается вопрос о возобновлении работ на блоке.

37. Наблюдения на отвальных блоках осуществляют по маркшейдерским станциям, состоящим из одной-двух профильных линий. Последние закладываются на верхней площадке и состоят обычно из опорных и рабочих реперов. Опорные реперы следует располагать вне зоны деформации, при этом расстояние от бровки откоса до ближайшего опорного репера должно быть не менее 3Н (где Н - высота яруса). Расстояние между рабочими реперами на участке призмы возможного оползания рекомендуется принимать 5-I5 м, но не более половины ширины отвального блока.

Для инструментальных маркшейдерских наблюдений на отвальных заходках обычно закладывают рабочие реперы, представляющие собой металлические штыри длиной 0,5 - 0,7 м, диаметром I0 - I8 мм и выступающие на 0,2 - 0,4 м над поверхностью отвала после их забивки; поверхность отвала вдоль наблюдательного профиля необходимо предварительно выравнивать.

38. Наблюдения на маркшейдерских станциях состоят из нивелирования реперов и промера расстояний между ними с помощью рулетки. Интервалы между сериями наблюдений принимают в зависимости от скорости деформирования /5/. По мере накопления результатов

наблюдений за деформациями отвалов проекты наблюдательных станций и периоды наблюдений могут изменяться в соответствии с условиями отвалообразования.

39. Особенностью наблюдений за деформациями в процессе формирования бульдозерного отвала на гидроотвале является постоянное смещение откоса, оседание верхней площадки яруса, шириной (I-2)H (где H - высота яруса), которую необходимо поэтому периодически подсыпать, а это влечет за собой ликвидацию рабочих реперов. Таким образом, использование реперных наблюдательных станций во время отсыпки отвалов нецелесообразно. Наиболее приемлемым способом контроля за отвалообразованием в этот период являются визуальные наблюдения, заключающиеся в периодических измерениях линейных и угловых деформаций по раскрытию трещины отрыва (между двумя реперами, забитыми по краям трещины) с использованием простейших измерительных инструментов (деревянные маркированные рейки, линейки, рулетки) и угломерных устройств (эклиметра, горного компаса). Периодичность наблюдений определяется характером деформирования, зависящим от интенсивности отвалообразования. При скорости подвигания отвального фронта до I м/сут достаточно трех-четырех наблюдений в смену, при большей скорости подвигания необходимы ежечасные наблюдения. Такие наблюдения выполняют работники горного надзора участка и технический персонал, назначенные приказом по разрезу и несущие ответственность за достоверность и периодичность наблюдений.

40. Накопление и систематизация результатов наблюдений позволяет определить для данных условий динамику развития оползневого процесса, величину призмы возможного оползания и время переноса работ с одного отвального блока на другой, уточнить порядок и параметры отвалообразования и периодичность последующих наблюдений.

4I. Аналогичные наблюдения следует вести на экскаваторных отвалах. Поскольку отвальный механизм и транспортная коммуникация находятся в этом случае вне призмы возможного оползания, то определяют лишь величину деформации верхней площадки вновь отсыпанной заходки и скорость оседания площадки, чтобы установить, возможно ли расположить на ней отвальный механизм. Кроме того, инструментальные наблюдения проводят также за деформациями внешнего откоса отсыпаемого яруса (отвала) по реперам наблюдательных станций, которые закладывают на участках наибольшей высоты.

Принципы инженерно-геологического районирования территорий гидроотвалов

42. Решение технических задач, рассматриваемых в последнее время на гидроотвалах (устойчивость при нагружении породами отвалов "сухих" пород, ликвидация гидроотвалов с помощью сухопутных механизмов, подработка намывных сооружений и др.), требует знания инженерно-геологических свойств по всей площади и на всю глубину. Итогом исследований на гидроотвалах должна являться инженерно-геологическая схема, учитывающая с достаточной степенью детальности физико-механические свойства пород в связи с целевым назначением намывного сооружения. В основу районирования гидроотвала, т.е. его разделения на участки по степени аналогичности инженерно-геологических условий, должны быть положены определенные признаки и критерии. Основным показателем при оценке устойчивости намывных пород в откосах отвалов и гидроотвалов является сопротивление сдвигу этих пород. Однако породы с одинаковой сдвиговой прочностью под нагрузкой могут себя вести не одинаково в зависимости от их деформационных свойств. Так, при отсыпке отвалов на водонасыщенные рыхлые пески практически не наблюдается деформаций откосов (при существующей интенсивности ведения отвальных работ), - это связано с быстрым уплотнением пород и, следовательно, переходом в новое напряженное состояние, определяющее их прочность. В переходной и прудковой зонах в процессе уплотнения, как уже отмечено, возникает избыточное поровое давление, которое, снижая эффективные напряжения в скелете породы, вызывает оползневые деформации на откосах отсыпаемых отвалов. В основу инженерно-геологического районирования гидроотвалов должны быть заложены факторы, учитывающие различие в составе, в состоянии и соответствующих прочностных и деформационных показателях намывных пород.

43. Основным фактором, определяющим изменчивость прочностных и деформационных свойств пород гидроотвалов, является состав (минеральный и гранулометрический), поэтому его наиболее целесообразно считать главным критерием. На графиках фракционирования (прил. 2) можно выделить три участка, характеризующихся определенным режимом изменчивости гранулометрического состава. В пределах первого резко уменьшается песчаная фракция и увеличивается пылеватая, а глинистая изменяется незначительно.

Второй участок характеризуется плавным изменением всех трех фракций, а в пределах третьего изменения носят еще более плавный характер и отмечается тенденция к постоянству гранулометрического состава.

Выделенные три участка по гранулометрическому составу соответствуют песчано-супесчаным отложениям, суглинкам и глинам, поэтому и при разделении гидроотвалов на зоны наиболее целесообразно применять эти названия зон. На гидроотвалах небольшой площади ввиду незначительной длины пути раскладки частиц не выявляется характерная для других намывных сооружений зона глинистых пород. По гранулометрическому составу такие отвалы рекомендуется разделять на две зоны: песчано-супесчаную и суглинистую.

В вертикальном разрезе намывные отложения характеризуются различным физическим состоянием (плотность, влажность), зависящим от степени консолидации, которое для случая полностью водонасыщенных пород можно контролировать по показателю консистенции. В разрезе гидроотвалов в пределах зон глинистых и суглинистых пород можно выделить подзоны пород следующей консистенции: текучей, мягкопластичной ($0,5 < B < 0,75$), тугопластичной ($0,25 < B < 0,5$).

III. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЮ НА ТЕРРИТОРИИ ГИДРООТВАЛОВ

Прогноз изменения напряженного состояния пород гидроотвалов при их нагружении породами "сухой" вскрыши

1. Процесс отвалообразования на гидроотвалах сопровождается развитием в намывном массиве избыточного порового давления, которое со временем приводит к изменению напряженно-деформированного состояния массива и соответственно свойств намывных отложений. Это влияет на устойчивость сооружения. Следовательно, выбор параметров всего сооружения в целом и его отдельных ярусов требует прогнозирования изменений порового давления во времени. Для этого прогноза следует использовать решения одномерной задачи фильтрационной консолидации.

2. Отвалы формируются обычно либо сразу на всю высоту (одноярусные), либо последовательной отсыпкой нескольких ярусов (многоярусные). В обоих случаях для прогноза консолидации намывных пород можно использовать решение об уплотнении слоя под действием мгновенно приложенной нагрузки /22/. Поровое давление при этом определяется в рамках схемы одномерной фильтрации в пласте с "мгновенным" изменением давления на контуре дренажа при непроницаемом внешнем контуре (основание гидроотвала):

$$P_{z,t} = P_{z,0} + \gamma_{отв} h_{отв} \left[1 - T\left(\frac{z}{h_г}, \tau\right)\right], \qquad (23)$$

где $P_{z,t}$ – давление в расчетный момент времени в точке с координатой z, отсчитываемой от поверхности гидроотвала (в направлении к его основанию); $P_{z,0}$ – давление в точке с координатой z в момент t_0 приложения внешней нагрузки $\gamma_{отв} h_{отв}$ ($\gamma_{отв}$ – плотность пород "сухого" отвала, $h_{отв}$ – его высота); $T(z/h_г, \tau)$ – табулированная функция (рис. I3); $h_г$ – мощность гидроотвала; $\tau = (C_v t)/h_г^2$.

Аналогично поровое давление в гидроотвале, расположенном на фильтрующем основании, при мгновенном приложении внешней нагрузки может быть рассчитано по формуле:

$$P_{z,t} = P_{z,0} + \gamma_{отв} h_{отв}\left[1 - \frac{z}{h_г} - S\left(\frac{z}{h_г}, \tau\right)\right], \qquad (24)$$

где $S\left(\frac{z}{h_г}, \tau\right)$ – табулированная функция (рис. I4).

3. Развитие порового давления в намывных породах за счет приложения внешней постепенно возрастающей нагрузки при отсыпке многоярусных "сухих" отвалов можно оценить с помощью зависимости:

$$P_t = P_{z,0} + v t F_v(z, t), \qquad (25)$$

где $P_{z,0}$ – поровое давление в точке с координатой z в момент начала отсыпки сухих отвалов; v – скорость отсыпки отвалов; t – расчетный момент времени; $F_v(z, t)$ – специальная функция, значения которой зависят от граничных условий:

$$F_v(z,t) = R_0(\bar{z}, \tau) \quad - \qquad (26)$$

для гидроотвала на дренирующем основании ($\bar{z} = z/h_г$, $h_г$ – мощность гидроотвала, $\tau = (C_v t)/h_г^2$);

$$F_v(z,t) = R_0\left(\frac{\bar{z}}{2}; \frac{\tau}{4}\right) + R_0\left(1 - \frac{\bar{z}}{2}; \frac{\tau}{4}\right) - \qquad (27)$$

для гидроотвала на непроницаемом основании.

Значения функций $R_0(\bar{z}, \tau)$; $R_0(\bar{z}/2; \tau/4)$ и $R_0\left(1 - \frac{\bar{z}}{2}; \frac{\tau}{4}\right)$ /24/ определять по графику (рис. I5).

Расчет устойчивости отвалов и гидроотвалов

4. Решение вопроса нагружения гидроотвала породами "сухой" вскрыши требует обычно расчетов устойчивости для следующих конкретных задач:

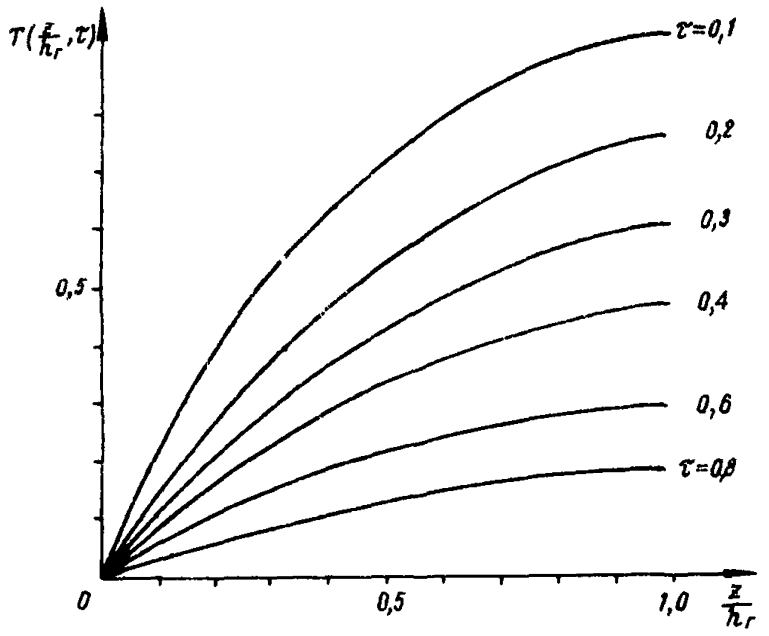


Рис. I3. График функции $T\ (\frac{z}{h_г}, \tau\ )$

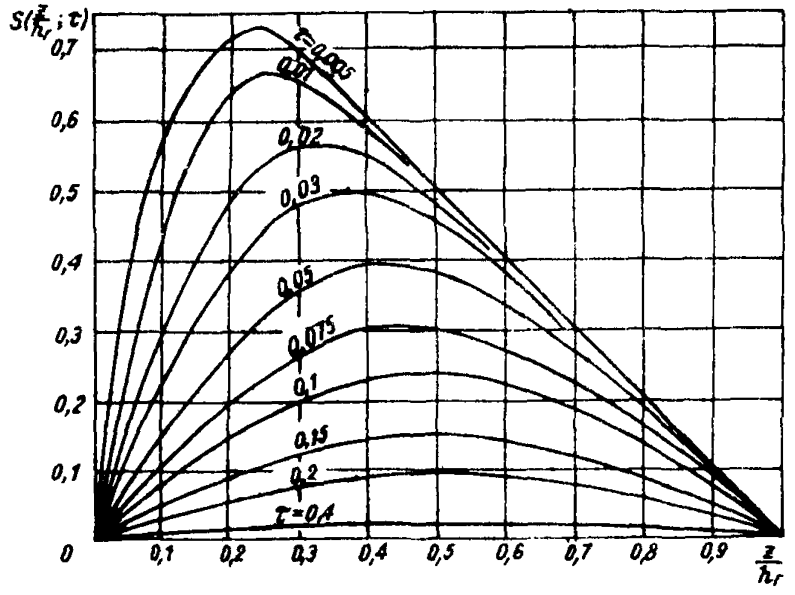


Рис. I4. График функции $S\ (\frac{z}{h_г}, \tau\ )$

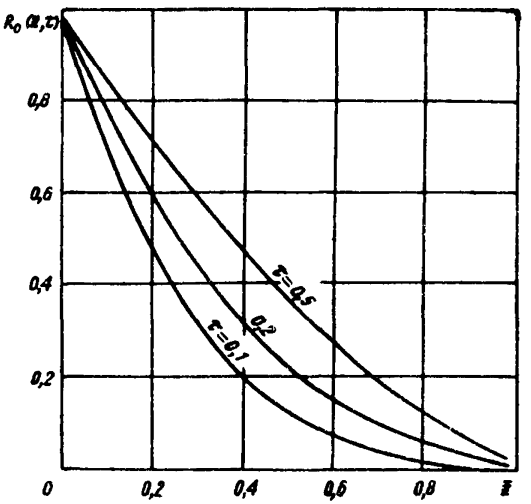


Рис. 15. График функции $R_0(\bar{z},\tau)$

а) определение оптимальных параметров нового сооружения (отвал + гидроотвал);

б) определение устойчивости первого яруса отвала;

в) то же системы ярусов отвала.

5. В качестве расчетного метода при решении перечисленных задач следует принять алгебраическое суммирование сил по наиболее слабой поверхности /13, 19/. Этот метод предпочтителен, так как позволяет учесть многообразие конкретных горно-геологических условий (наличие поверхностей или зон ослабления, гидростатических сил и т. д.), относительно прост в расчете и достаточно точен для практических целей.

6. Положение наиболее напряженной поверхности в откосе, по которой производится суммирование сил, сдвигающих и удерживающих откос, зависит от прочностных характеристик пород отвалов, гидроотвалов и их оснований. Так, при расчетах устойчивости откосов отвалов на участке пляжа намыва, сложенном песками и супесями, наиболее напряженная поверхность определяется следующими условиями:

а) в верхней части отвала поверхность проходит под углом $45^0 + \varphi/2$ к линии горизонта;

б) в нижней части гидроотвала она составляет с поверхностью откоса угол $45^0 - \varphi/2$.

7. Если в основании отвала находится слабый слой или контакт (при определении оптимальных параметров отвалов на участке пруда-отстойника, при расчете устойчивости ярусов отвала и т. д.), то наиболее напряженная поверхность проходит по этому слою, претерпевая излом при переходе из пород отвалов в породы слабого слоя соответственно под углами θ и Ψ (рис. I6, I7) и выходит в подошву откоса под углом $45^0 - \Psi/2$.
Углы θ и Ψ можно найти по формулам:

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}\left(\varphi - \varphi'\right) - \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\right); \qquad (28)$$

$$\Psi = \frac{\varphi - \varphi'}{2}, \qquad (29)$$

где φ и φ' – соответственно углы внутреннего трения пород отвала и слабого слоя.

8. При зафиксированном положении напряженной поверхности устойчивость откоса следует рассчитывать в таком порядке /I2/:

а) в серединах оснований столбиков, на которые разбивается призма, определяют касательные τ_c и нормальные σ_n напряжения по формулам:

$$\sigma_n = h_i \gamma \cos^2\alpha_i; \qquad (30)$$

$$\tau_c = \frac{1}{2} h \gamma \sin 2\alpha_i, \qquad (31)$$

где h_i – высота одного столбика, м; α_i – угол наклона основания столбика, градус; γ – плотность пород, т/м^3;

б) расчетную поверхность с отмеченными серединами оснований столбиков развертывают в горизонтальную прямую и в каждой отмеченной точке по оси ординат откладывают отрезки, соответствующие касательным напряжениям τ_c, концы которых соединяют; площадь, ограниченная осью абсцисс и этой кривой, выражает сумму сдвигающих сил, действующих по расчетной поверхности;

в) по графикам сопротивления сдвигу (см. разд. II, п. I3) пород при соответствующих нормальных напряжениях определяют сопротивления сдвигу τ_y, величины которых также откладывают по оси ординат и соединяют между собой; площадь полученной эпюры выражает сумму удерживающих сил $\Sigma\tau_y$, а отношение:

$$\frac{\Sigma\tau_y}{\Sigma\tau_c} = n, \qquad (32)$$

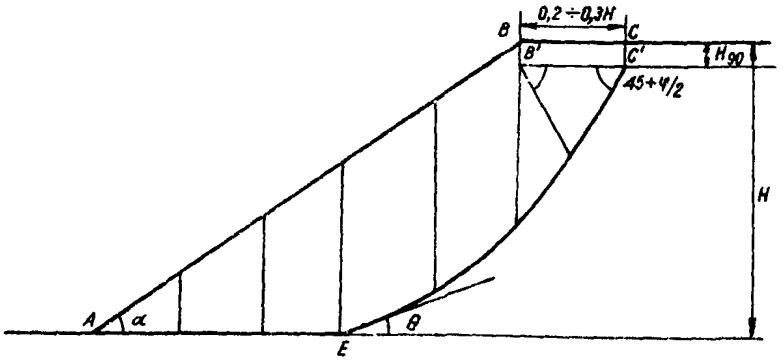


Рис. I6. Ориентировочное построение наиболее напряженной поверхности в откосе со слабым контактом в основании

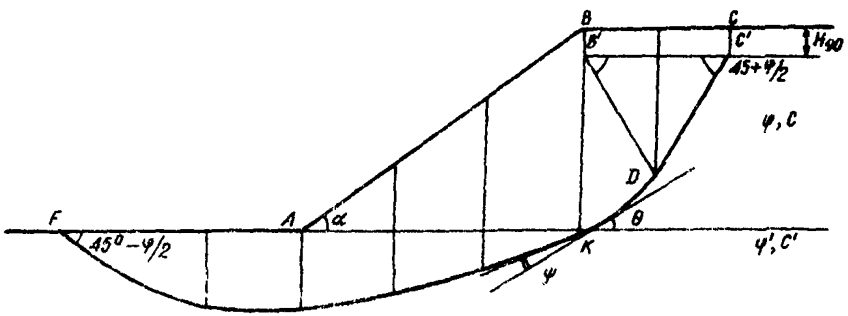


Рис. I7. Форма поверхности скольжения в откосе со слабым пластичным основанием, находящимся в предельном равновесии

где $\Sigma\tau_c$ – сумма сдвигающих сил, – представляет собой коэффициент запаса устойчивости.

9. Определение сил и их сложение можно производить следующим образом. На поперечном разрезе откоса отвала в соответствии с пп. 6, 7, разд. III строят одну из напряженных поверхностей. Затем блок, ограниченный ею и откосом, разбивают на ряд вертикальных столбиков произвольной ширины. Последующие вычисления вносят в таблицу (прил. 6). По чертежу определяют ширину a_i и высоту h_i столбика в метрах, угол наклона напряженной поверхности в пределах каждого блока α_i и вычисляют вес блока $P_i = a_i h_i \gamma_i$ в тоннах, функции $\sin\alpha_i$; $\cos\alpha_i$; $\cos^2\alpha_i$, а также нормальную $P_i \cos^2\alpha_i$ и тангенциальную $P_i \sin\alpha_i$ составляющие веса пород; сумма тангенциальных составляющих есть сумма сдвигающих сил $\Sigma\tau_c$. Нормальную составляющую веса пород в каждом столбике делят на его ширину, получая величину средних нормальных напряжений в пределах каждого столбика, по которым либо на графиках сопротивления сдвигу, либо по формуле (5) определяют соответствующие им удерживающие напряжения $\Sigma\tau_y$. Умножая τ_y на длину напряженной поверхности в каждом блоке и суммируя результат, получают сумму сил, удерживающих откос $\Sigma\tau_y$; коэффициент запаса устойчивости находят по формуле (32).

10. Гидростатические и гидродинамические силы в расчетах устойчивости отвалов на гидроотвалах учитывают следующим образом. На геологическом разрезе относят наиболее напряженную поверхность скольжения (рис. 18, прил. 7). Определяют положение депрессионной поверхности в обводненном массиве и положение изопьез, используя данные натурных измерений, аналитические и графические приемы или моделирование на ЭГДА. Призму, заключенную между откосом и наиболее напряженной поверхностью скольжения, разбивают на блоки. Результирующая сила, учитывающая совокупное влияние гидростатических и гидродинамических сил в пределах каждого блока, определяют по формуле /17/:

$$\Phi_i = \gamma_0 (H_i - y_i) \frac{a_i}{\cos\alpha_i}, \qquad (33)$$

где H_i – средний напор в пределах блока, м; y_i – средняя ордината скольжения в пределах блока, отсчитываемая от произвольно принятой горизонтальной плоскости, м; a_i – ширина блока, м; γ_0 – плотность воды, т/м^3; α_i – угол наклона касательной к поверхности скольжения в середине основания блока, градусы.

Аналогично учитывают влияние гидродинамических сил в относительных "водоупорах", перекрывающих напорные водоносные горизонты

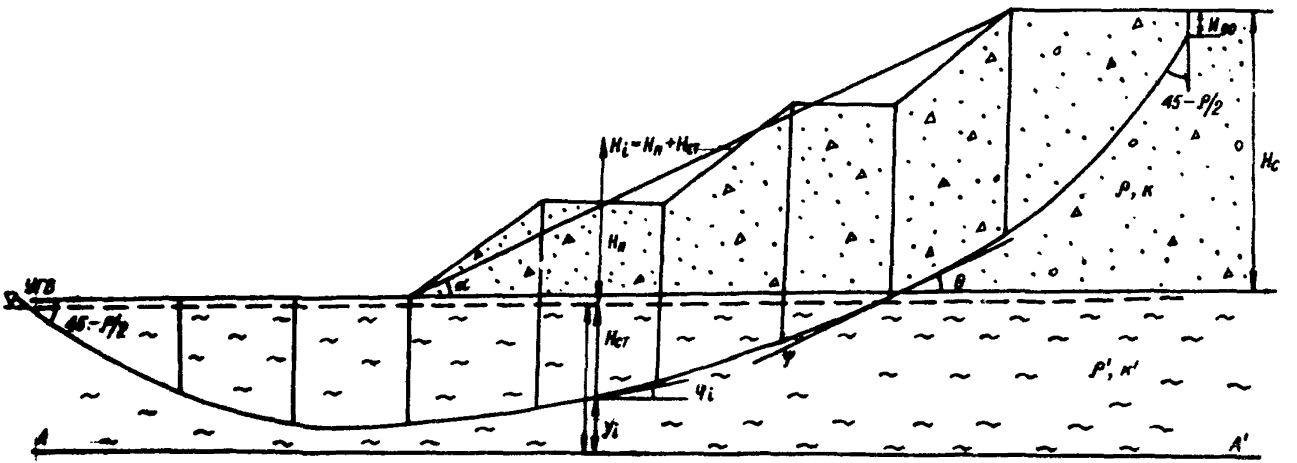


Рис. 18. Схема расчета устойчивости отвала на слабом водонасыщенном основании:
A-A' - условная поверхность отсчета; $H_{от}$ - статический уровень; $H_п$ - избыточное поровое давление; $H_{от}$ - высота отвала

в основании массива. В этом случае в формуле (33) H_i – напор в точке, соответствующей положению расчетной поверхности скольжения "в водоупоре". Эту величину определяют обычно линейной интерполяцией значений напоров в почве и подошве "водоупора".

Коэффициент запаса устойчивости откоса в этом случае находят по формуле:

$$n = \frac{\Sigma \left(P_i \cos \varphi_i - \Phi_i\right) \operatorname{tg} \varphi + C_i l_i}{\Sigma P_i \sin \alpha_i}, \qquad (34)$$

где P_i – вес пород блока вместе с заключенной в них водой; φ и C – угол внутреннего трения и сцепление; l_i – длина i-того участка кривой.

II. Величину коэффициента запаса устойчивости для расчета выбирают исходя из сложности инженерно-геологических условий. При размещении отвалов на гидроотвалах со сложными инженерно-геологическими условиями (см. табл. 2) величина коэффициента запаса должна составлять I,3; для гидроотвалов с простыми и средней сложности инженерно-геологическими условиями – I,2 .

I2. Для установления предельной мощности первого яруса отвала можно использовать аналитический способ /I4/, разработанный на основе метода многоугольника сил /I9/. Высоту отвала при этом определяют из выражения:

$$h_v = \frac{(c - a b_1) + \sqrt{(c + a b_1)^2 - c^2 (1 - b_1 b_2)}}{1 - b_1 b_2}. \qquad (35)$$

Коэффициенты a ; b_1 ; b_2 ; c вычисляют по формулам:

$$a = \frac{c}{\gamma} \cdot \frac{c}{\sin \xi \cdot \sin (\beta + \xi - \varphi)}; \qquad (36)$$

$$b_1 = \frac{\sin (\alpha - \beta) \sin \mu}{\sin (\mu + \alpha - \beta)} \left[1 + \frac{\sin (\varphi' - \beta) \cos \varphi}{\sin (\beta + \xi - \varphi) \sin (\mu - \varphi - \varphi')} \right]; \qquad (37)$$

$$b_2 = \operatorname{ctg} (\alpha - \beta) - \operatorname{ctg} \xi; \qquad (38)$$

$$c = \frac{\cos \varphi}{\sin (\beta + \xi - \varphi) \sin (\mu - \varphi - \varphi')} \left[\frac{c'}{\gamma} \cos \varphi' + \frac{K}{\gamma} \frac{\sin (\alpha - \beta) \cos (\mu - \varphi')}{\sin (\mu + \alpha - \beta)} \right], \qquad (39)$$

где α и β – соответственно углы наклона отвала и основания, градусы; c и c' – сцепления пород отвала и основания, т/м^3; φ и φ' – углы внутреннего трения пород отвала и основания, градусы;

$$\xi = \frac{\omega - \beta + \theta}{2}; \quad \omega = 45 + \frac{\varphi}{2}; \quad \mu = 45 + \frac{\varphi + \beta + \omega - \theta}{2};$$

θ вычисляют по формуле (28).

Предельную высоту отвалов при их отсыпке на наклонное основание следует находить из выражения:

$$H = h \frac{\sin\alpha}{\sin(\alpha - \beta)}. \qquad (40)$$

I3. Прогнозирование на отвалах деформаций оседания (разд. I, п. I0), вызванных выдавливанием из-под них намывных пород, осложнено отсутствием строгих теоретических схем и решений. Прогнозировать деформации подобного типа следует эмпирически на основании опыта отвальных работ на территориях, сложенных "слабыми" породами. Отметим горно-геологические условия оседания отвалов:

– основание отвалов предоставлено глинистыми отложениями текучей и текучепластичной консистенции, характеризующимися низкими значениями коэффициентов консолидации и сопротивления сдвигу;

– отвалообразование ведется с высокой интенсивностью подвигания отвального фронта (более 5 м/сут);

– на отвалах работает тяжелое горно-транспортное оборудование, динамическое и статическое влияние которого значительно.

В таких случаях проявление деформаций оседания возможно при условии:

$$H_{отв} = \frac{5\tau}{\gamma}, \qquad (41)$$

где τ – сопротивление сдвигу намывных пород, т/м^2; γ – плотность пород отвала, т/м^3.

При отвалообразовании на гидроотвалах Кузбасса, прудковые зоны которых сложены преимущественно глинистыми отложениями текучей и текучепластичной консистенции ($C_v < 0{,}01$ м^2/сут; $\tau < 1{,}5$ т/м^2), высота первого яруса, с учетом условия (41), не должна превышать 4 м. Поскольку удельные нагрузки от веса технологического оборудования и 4-метрового отвала соизмеримы, то отвальные работы в этом случае невозможно организовать без деформаций (см. п. I2 разд. I).

Схемы отвалообразования на территориях гидроотвалов и мероприятия по безопасному ведению отвальных работ

I4. Процесс отвалообразования является завершающим этапом вскрышных работ и при транспортных системах разработки характеризуется жесткой взаимосвязью работы транспорта и отвального оборудования.

Отвалы, отсыпаемые на гидроотвалах, как и другие внешние, формируются с применением бульдозеров, экскаваторов-драглайнов и консольных отвалообразователей, отсюда названия схем. Основной отличительной особенностью использования той или иной схемы является тип и условия работы горно-транспортного оборудования при постоянных оползневых деформациях откосов отвалов. Бульдозерное отвалообразование в сочетании с автомобильным транспортом предопределяет работу оборудования в призме возможного оползания (оседания), в то время как значительные линейные параметры драглайнов и консольных отвалообразователей позволяют размещать их вне призмы возможного оползания. На консолидированных гидроотвалах с небольшой мощностью намывных отложений, а также в отдельных зонах гидроотвалов (например, песчано-супесчаной), породы которых имеют значительную прочность, могут применяться схемы с использованием мехлопат. Возможно также гидравлическое складирование скальных и полускальных пород. Такой способ апробирован в Кузбассе на разрезах ПО Кемеровоуголь /IO/ . Однако мехлопаты и гидравлическая укладка скальных и полускальных пород на гидроотвалах применяются ограниченно; в Кузбассе, в частности, наиболее распространены схемы отвалообразования, предусматривающие сочетание бульдозеров с автомобилями или драглайнов с железнодорожным транспортом.

I5. При горных работах на гидроотвалах следует учитывать возможность развития оползневых деформаций, приводящих к частичному или полному выдавливанию намывных отложений из-под отвала. Полное выдавливание слабых пород в краевых частях гидроотвалов приводит к их удалению из-под откосных частей отвалов и, тем самым, появляется возможность повысить оптимальные параметры сооружений (рис. I9).

I6. Работа по схеме с применением автомобилей и бульдозеров начинается с формирования пионерной насыпи на породах естественного основания и у дамбы обвалования. Важным параметром при этом является высота первого яруса. Оптимальной высоты яруса в общем случае достигают минимизацией затрат на транспортирование, бульдозерные и дорожные работы /I/. При отсыпке отвалов на гидроотвалы выбор высоты яруса требует учета следующих моментов. Если необходимо обеспечить полное выдавливание, то высоту отвального

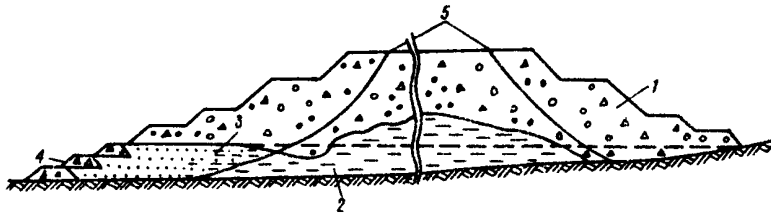


Рис. 19. Отвалообразование на гидротвалах с частичным и полным выдавливанием намывных пород из-под отвала:

1 -отвал "сухих" пород; 2 - намывные породы; 3 - поверхность гидротвала до ведения на нем отвальных работ; 4 - дамбы обвалования гидротвала; 5 - расчетная поверхность скольжения

яруса рекомендуется выбирать, как минимум, вдвое превышающей мощность намывных пород. Отметим, что увеличение мощности пород гидротвалов у нижней бровки движущегося откоса за счет поступления отжатых из-под отвала грунтов потребует постепенного увеличения высоты отвального яруса. Если же не требуется полное выдавливание намывных пород из-под отвала, его высоту выбирают, исходя из следующих условий: 1) на динамику оползневых процессов и явлений, возникающих на откосах отвалов при их отсыпке на гидротвалах, не должен влиять вес технологического оборудования; 2) скорость подподошвенных оползней должна быть минимальной, характер протекания - плавным. Так, для автосамосвалов весом до 120 т оптимальная высота яруса составляет 10-20 м. При такой высоте деформирование откосов происходит сравнительно медленно (v = 0,2 м/ч) и плавно, величина абсолютных деформаций сдвига не превышает 2-3 м.

17. Отсыпку первого яруса ведут на последовательно сменяемых блоках, на которые разбивают фронт отвала. Ширина блока зависит от параметров автосамосвалов и производительности участков по вскрыше и составляет обычно 60-100 м. Каждый отвальный блок разбивают на две части: зону разгрузки автосамосвалов и зону планировки бульдозеров, работы на которых ведут раздельно (рис. 20).

По мере развития оползневых деформаций на отсыпаемом блоке, работы следует переносить на соседний. Последовательное перемещение рабочих блоков по периметру гидротвала обеспечивает необходимый фронт работ и запас времени для затухания оползневых деформаций.

Критическое состояние, при котором необходимо переносить отвалообразование на соседний участок, определяется следующими условиями:

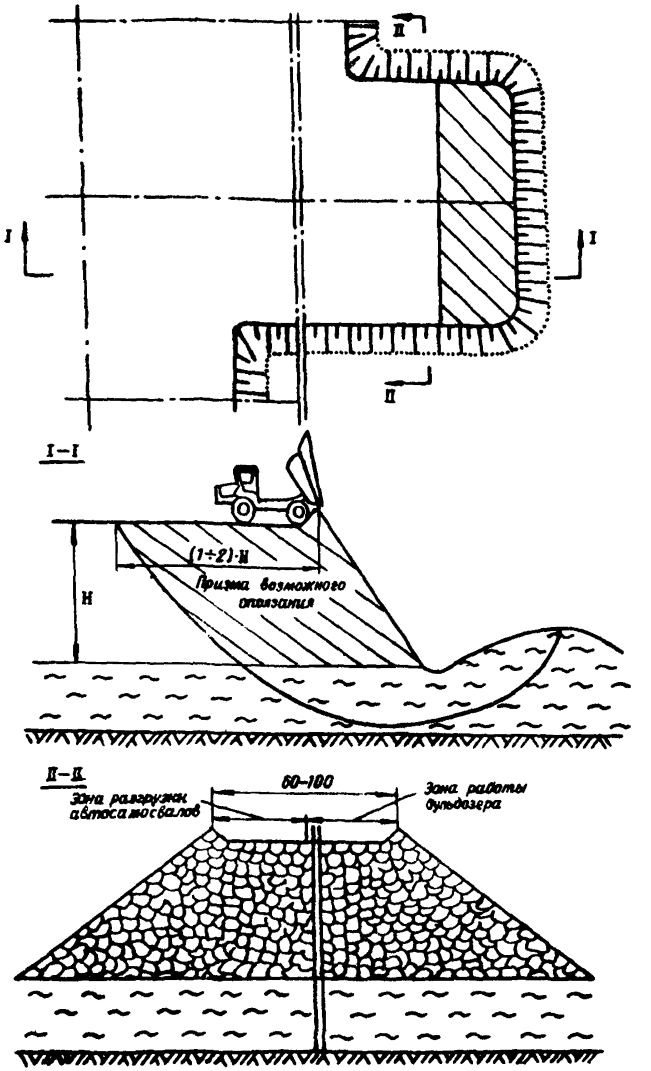


Рис. 20. Схема отсыпки отвального блока

а) прогрессирующим характером деформирования откосов (значительно нарастают скорости смещения);

б) полным оконтуриванием оползневого тела трещиной отрыва на верхней площадке и образованием вала выпирания у нижней бровки откоса.

Работы на данном блоке могут быть возобновлены при затухании деформаций.

I8. При формировании первого яруса бульдозерного отвала необходимо соблюдать следующие правила безопасности:

а) бульдозер, выполняя планировочные работы, передвигается лишь перпендикулярно верхней бровке яруса;

б) на верхней площадке отвального блока должны быть буксировочные средства (канаты) для аварийной транспортировки автосамосвалов , попавших в зону распространения оползня;

в) допускается одновременная разгрузка не более трех автосамосвалов для уменьшения их динамического воздействия;

г) на отвале обязательна телефонная или радиосвязь с начальниками горного участка или смены разреза.

I9. После завершения строительства первого формируются второй и последующий ярусы. Они могут отсыпаться одновременно, но для исключения статического и динамического влияния ярусов друг на друга между ними сохраняется берма, определяемая устойчивым результирующим углом системы двух ярусов. Высота второго яруса, исходя из условий устойчивости и консолидации намывных пород, может составлять 20-30 м. Направление развития фронта работ второго яруса может быть аналогичным первому. При возведении третьего (в некоторых случаях - второго) и последующих ярусов направление подвигания отвального фронта не играет роли и может быть параллельным, веерным, криволинейным. Общая высота и результирующие углы внешних откосов отвала определяются расчетами устойчивости с учетом процессов консолидации.

20. Основным достоинством и отличительной особенностью схемы отвалообразования на гидроотвалах с применением драглайнов (консольных отвалообразователей) является то, что отвальный механизм, благодаря большим линейным параметрам, находится вне призмы возможного оползания. Отвальные работы при этом также начинаются с формирования оконтуривающей по периметру на участках примыкания гидроотвала к естественным повышениям рельефа пионерной насыпи. Ширина последней (при высоте I5-20 м) должна быть достаточной, чтобы разместить на верхней площадке отвальный механизм и транспортную магистраль.

Высоту первого яруса для условия обеспечения полного выдавливания выбирают, как указано ранее. Если нет необходимости добиваться полного отжатия намывных пород из-под отвала, то высота последнего определяется типом и параметрами применяемого экскаватора и обычно рекомендуется 15-20 м.

21. Работу по данной схеме обычно выполняют следующим образом. Драглайн, располагаясь на устойчивом основании, отсыпает вскрышные породы на максимальном радиусе разгрузки и смещается по периметру гидроотвала. Оползни, сопровождающие отвалообразование, приводят к проседанию верхней площадки заходки, выполаживанию угла откоса и одновременно к увеличению приемной способности. После завершения прохода драглайна отвальные работы можно продолжить без переноса железнодорожных путей. Подобная отсыпка заходки может повторяться несколько раз до тех пор, пока не установится равновесие оползающих породных масс. После этого драглайн смещается в новое положение, производится переукладка железнодорожного пути и цикл работ повторяется. Для интенсификации отвальных работ может быть организовано несколько отвальных тупиков одновременно.

По завершении отсыпки первого яруса на всей площади гидроотвала приступают к формированию последующих. Порядок развития отвального фронта второго яруса рекомендуется аналогичным порядку первого. Направление же развития третьего и последующего ярусов может быть параллельным, веерным или криволинейным.

Результирующие углы внешних откосов и общая высота отвала определяются расчетами устойчивости с учетом консолидации намывных отложений во времени под нагрузкой от отвала.

Контроль за деформациями при работе по этой схеме значительно проще (см. разд. П, пп. 33-40).

Рекультивация гидроотвалов, нагруженных отвалами "сухих" пород

22. Рекультивация земель, нарушенных при добыче и переработке полезных ископаемых, является важной составной частью проблемы рационального использования земельных ресурсов. В соответствии с установленными требованиями комплекс работ по технической и биологической рекультивации должен осуществляться при любых нарушениях земель горными предприятиями /25, 26/. Обоснованное в правовом отношении включение рекультивации нарушенных земель в качестве обязательного элемента в деятельность горных предприятий определяет рациональную последовательность выполнения (во многих

случаях – совмещения) технологических операций и рекультивационных работ. Для таких земляемких сооружений, как гидроотвалы угольных разрезов, эта последовательность выбирается, исходя из требований максимальной технико-экономической эффективности разработки месторождений и рационального использования природных (в том числе земельных) ресурсов. При этом необходим постоянный учет задач рекультивации земель на всех стадиях эксплуатации месторождения – от проектирования до погашения работ. Технологические операции технического и биологического этапов рекультивации производятся преимущественно на заключительных стадиях эксплуатации предприятия или отдельных его объектов, однако требования рекультивации следует учитывать постоянно.

23. Выполнение указанных требований позволяет управлять процессами нарушения и восстановления продуктивности земель наравне с оперативно управляемыми процессами технологического звена разработки месторождения, а также дает возможность получить следующие преимущества по сравнению с традиционно рассматриваемыми и выполняемыми операциями горно-технологического цикла и технического этапа рекультивации:

своевременное получение и использование основных исходных данных и проведение исследований для проектирования и совершенствования технологических процессов с учетом рационального использования земель и повышения технико-экономической эффективности разработки месторождения;

своевременное инженерно-геологическое обоснование параметров техногенных массивов, технологических операций, последовательности их выполнения и типа применяемых машин и механизмов;

выбор наиболее рационального способа производства основных технологических процессов;

повышение эффективности использования наиболее подвижного технологического звена в многообразных и изменчивых условиях разработки (отметим, кстати, что технологию разработки изменить легче, нежели восстановить природные условия);

возможность оптимального совмещения вскрышных, добычных и рекультивационных работ и т. д.

24. Особое внимание на всех стадиях эксплуатации месторождений следует уделять инженерным мероприятиям по рекультивации земель, базирующимся на комплексном подходе, при котором одновременно и постоянно учитывается зависимость продуктивности земель и эффективности эксплуатации месторождения от состояния всех природных ресурсов (водных, минеральных и др.), а также многообразные (природные, технологические, инженерно-геологические и др.),

меняющиеся подчас во времени и пространстве факторы, определяющие эффективность разработки, отвалообразования и рекультивации. К таким мероприятиям относятся рассмотренные способы нагружения гидроотвалов (хвостохранилищ, шламоотстойников) отвалами "сухих" пород, обеспечивающие рациональное использование земель и ускоренную рекультивацию труднодоступных зон гидротехнических сооружений при высокой технико-экономической эффективности способа производства работ. Сюда же относятся используемые для рекультивации нарушенных земель многочисленные способы, основывающиеся на учете физико-механических свойств слабых намывных пород (выбор порядка заполнения гидроотвала вскрышными породами, выполаживание откосов отвалов в результате развития управляемых оползней откосов до величин, определяемых требованиями последующей рекультивации и т. д.).

25. Из установленных ГОСТом 17.5.1.01-78 семи направлений рекультивации нарушенных земель (сельскохозяйственное, лесохозяйственное, водо- и рыбохозяйственное, санитарно-гигиеническое, рекреационное и строительное) на гидроотвалах после их полного или частичного нагружения вскрышными породами возможно внедрение любого из этих направлений. В целом выбор направления рекультивации для каждого нагруженного гидроотвала сугубо индивидуален и предоставляет трудности по следующим причинам: 1) количественной оценке подлежат многие связи между различными переменными факторами; 2) социальные факторы трудно поддаются количественной оценке; 3) исходные данные недостаточны для расчета эффективности работ по рекультивации земель. Несмотря на известное вполне обоснованное предпочтение сельскохозяйственному направлению, рекультивация гидроотвалов после их нагружения имеет преимущественно комплексный характер: откосы дамбы рекультивируются в большинстве случаев в санитарно-гигиеническом или лесохозяйственном направлениях, пляж намыва и переходная зона после их нагружения вскрышными породами – в сельскохозяйственном, пруд-отстойник (если он не заполняется породами) – в водо- или рыбохозяйственном направлении. Восстановление продуктивности земель носит, таким образом, многоцелевой характер.

26. На техническом этапе рекультивации первостепенное значение имеют виды работ, обеспечивающие создание высокопродуктивных угодий. К ним относится, в частности, создание рекультивационного слоя, состоящего в самом общем случае из экранирующего (капилляропрерывающего) слоя, потенциально плодородных и плодородных пород. Отсыпка экранирующего слоя необходима в тех случаях, когда рекультивируемая поверхность представлена непригодными по химическим

свойствам породами (породами угленосной толщи, например, содержащими пирит, марказит и т. д.). В некоторых случаях рекультивационный слой может состоять только из потенциально плодородных пород. Заданный уровень продуктивности таких земель обеспечивается мелиорацией и методами биологического освоения. Исследованиями установлена возможность получать на нарушенных и рекультивированных землях урожаи сельскохозяйственных культур не ниже (а иногда выше), нежели на зональных ненарушенных землях.

27. Отличительными особенностями нагруженных гидроотвалов в связи с их рекультивацией является зональность в их строении (см. пп. 42, 43 разд. П), неравномерная осадка по выделенным ранее зонам ввиду различных деформационных свойств намытых отложений, длительность процесса консолидации, измеряемая годами и десятилетиями, возможность появления в техногенном рельефе в результате неравномерности осадки замкнутых понижений, способствующих застаиванию атмосферных вод и снижению продуктивности рекультивируемых земель. Эти особенности требуют разработки и внедрения на всех стадиях эксплуатации гидроотвалов, а особенно при их заполнении вскрышными породами, разработки и внедрения инженерных мероприятий, способствующих скорейшему восстановлению и постоянству высокой продуктивности рекультивируемых земель.

28. Для рекультивации нагруженных гидроотвалов применяют широкий круг инженерных мероприятий на основе изложенных общих положений. В каждом конкретном случае он требует обоснования и разработки с учетом инженерно-геологических, горно-технологических, природных и иных данных. Наиболее важны мероприятия в связи с рекультивацией намытой поверхности гидроотвала ввиду возможности использования этой площади в сельском хозяйстве, а также в связи с рекультивацией внешних откосов дамбы гидроотвала.

29. Важнейшим мероприятием, обеспечивающим ускорение рекультивации намытой поверхности (пляжа намыва, переходной зоны, пруда-отстойника) следует считать уже рассмотренное заполнение намытой территории вскрышными породами. Помимо ускорения рекультивации, это мероприятие уменьшает площади земель, занятых отвалами, способствует изменению структуры земельных угодий района. Рельеф заполняемой вскрышными породами поверхности создается с таким расчетом, чтобы к моменту завершения осадки рекультивируемая поверхность соответствовала биологическому направлению рекультивации. Выполнение этого требования может быть обеспечено изложенными методами прогноза и контроля осадки техногенного массива. Технология заполнения гидроотвала вскрышными породами достаточно подробно приведена в пп. I4–2I этого раздела.

30. Очередность и последовательность работ по рекультивации различных зон нагруженного гидроотвала устанавливают для конкретного сооружения. В самом общем случае методы и средства рекультивации выбирают применительно к поверхности размещенного на гидроотвале отвала вскрышных пород, приоткосной зоне пляжа намыва, которая по различным соображениям может не заполняться вскрышными породами, откосам дамбы гидроотвала и откосам отвала, отсыпанного на намытой территории.

31. Мощность и структура рекультивационного слоя, отсыпаемого на верхней площадке отвала на гидроотвале, должна соответствовать направлению биологической рекультивации и химическому составу пород отвала в его верхней части. Если породы непригодны, необходима отсыпка капиллярообрывающих пород (см. п. 26, разд. Ш) или химическая мелиорация. Мощность отсыпаемого экрана должна превышать высоту капиллярного поднятия в этих породах. Потенциально плодородные породы и плодородный слой почвы при необходимости наносят обычными способами /27/. Заслуживает внимания редко применяющийся гидромеханизационный способ нанесения потенциально плодородных пород.

32. Пляж намыва на участке между верхней бровкой гидроотвала и нижней отсыпанного отвала представлен в условиях Кузбасса, как правило, потенциально плодородными породами. Поэтому работы биологического этапа рекультивации в данной зоне возможны, как с нанесением плодородного слоя почвы, так и непосредственно на намытых породах (лессовидных суглинках).

33. Состав работ технического этапа рекультивации на дамбе гидроотвала определяется при наиболее распространенном, санитарно-гигиеническом, направлении составом пород на откосах дамбы и величиной угла откоса. Выполаживание угла откоса при необходимости производится в соответствии с Временными методическими указаниями по рекультивации земель в угольной промышленности, (Пермь: ВНИИСуголь, 1980). При формировании откоса из намытых потенциально плодородных пород дополнительно наносить такие породы обычно не требуется.

34. Откосы отвала, размещенного на намытой поверхности гидроотвала, также обычно рекультивируются в санитарно-гигиеническом направлении. Комплекс работ технического этапа рекультивации в таком случае предусматривает меры по снижению или устранению эрозии откосов. В большей степени это достигается их выполаживанием, нанесением потенциально плодородных пород, а если необходимо, то экранирующего слоя и посевом трав и кустарников. Важную роль в этом случае играет создание отока и отвод атмосферных вод с по-

верхности откоса. Противоэрозионные мероприятия имеют бо́льшую эффективность на террасированных откосах, нежели на сплошных. Озеленение откосов может быть успешно осуществлено с помощью гидропосева.

35. Рассмотренные виды работ могут также успешно применяться при рекультивации хвостохранилищ, шламоотстойников и других гидротехнических сооружений в горном деле. Естественно при этом, что определение видов и объемов работ зависит от направления рекультивации и требует привязки к конкретному объекту.

Приложение I

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРООТВАЛОВ КУЗБАССА

Наименование гидроотвала	Годы эксплуатации	Площадь, тыс. $м^2$	Высота, тыс. $м^3$	Емкость, тыс. $м^3$	Способ намыва	Тип гидроотвала
Кедровский разрез						
Гидроотвал № I	I955-I962	73I,3	I5	7I63	Сосредоточ.	Овражно-балочный
-"- № 2	I957-I968	76,0	23	8577	-"-	-"-
-"- № 3	с I958 по настоящее время	2920	53	40397	-"-	-"-
-"- № 4	I959-I977	2520	40	26042	-"-	-"-
-"- № 5	I962-I966	544,8	25	5250	-"-	-"-
Басаланха	с I974 по настоящее время	6I2	30,5	2372	-"-	-"-
Моховский разрез						
Гидроотвал № I	I969-I977	3950	35	39700	-"-	Овражно-балочный с 2-сторонним обвалованием
-"- № I8	I967-I977	I600	I2	I3000	-"-	На косогоре с 3-сторонним обвалованием
-"- № 22	I97I-I977	360	II,7	48I8	-"-	В выработке с 4-сторонним обвалованием

Продолж. прил. I

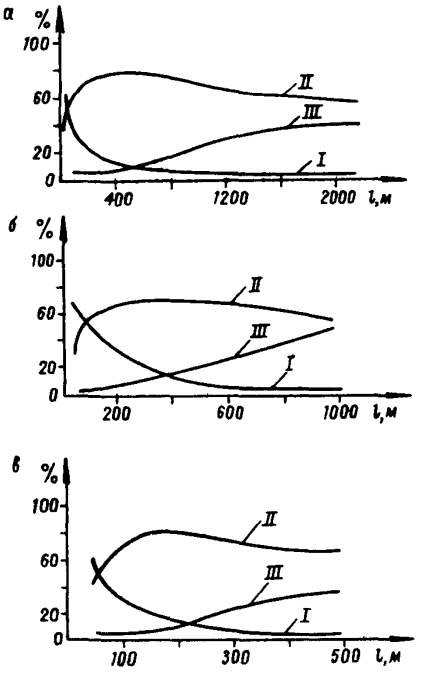
Наименование гидроотвала	Годы эксплуатации	Площадь, тыс. $м^2$	Высота, тыс. $м^3$	Емкость, тыс. $м^3$	Способ намыва	Тип гидроотвала
Колмогоровский разрез						
Гидроотвал в пойме р. Иня	I96I-I968	I520	I4	I6I00	Рассредоточенный безэстакадный	Равнинный с 4-сторонним обвалованием
Гидроотвал на р. Черновой Уроп	с I97I по настоящее время	4600	I8	I0000	То же	Овражно-балочный с 2-сторонним обвалованием
Разрез им. 50-летия Октября						
Сагарлыкский	I957-I975	6000	40	I0600	Сосредоточенный	Овражно-балочный
Свободный	I955-I960	420	25	6000	То же	-"-
Бековский	с I97I по настоящее время	I000	25	8000	Рассредоточенный безэстакадный	-"-
Западный	I954-I962	2700	4-6	I3600	Сосредоточенный	На косогоре с 3-сторонним обвалованием
Краснобродский разрез						
Новобачатский	-	2600	27	-	То же	Овражно-балочный
Новоалександровский	-	4I2	23	4000	-"-	-"-
Новосергеевский разрез						
Безымянный	I96I-I962	280	6	700	-"-	Овражно-балочный с односторонним обвалованием

Продолж. прил. I

Наименование гидроотвала	Годы эксплуатации	Площадь, тыс. $м^2$	Высота, тыс. $м^3$	Емкость, тыс. $м^3$	Способ намыва	Тип гидроотвала
Бахтыхта	I956–I966	I2I0	25	II700	Сосредоточенный	Овражно-балочный с односторонним обвалованием
Змеиногский	I960–I96I	270	I0	I000	То же	То же
Шакровский	I962	70	4	–	–"–	–"–
Прямой Ускат	с I967 по настоящее время	I450	35	2353I	–"–	Овражно-балочный с 3-сторонним обвалованием
Киселевский разрез						
Гидроотвал № I	I959–I966	I78	36	I5I7	–"–	Овражно-балочный, равнинный с 4-сторонним обвалованием
Разрез им. Вахрушева						
Акташский	I963–I975	I600	60	25586	Сосредоточенный, рассредоточенный	Овражно-балочный
Абинский	I966–I968	350	35	3585	Сосредоточенный	–"–
Разрез № 8						
Прокопьевский	I959–I964	I55	I6–30	3800	То же	Равнинный с 4-сторонним обвалованием

Приложение 2

ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФРАКЦИЙ
ПО УДАЛЕНИЮ ОТ ФРОНТА НАМЫВА



а - для гидроотвала "Саргалыкский"; б - "Акташский"; в - "Киселевский"; I - песчаная фракция (> 0,05 мм); II -пылеватая фракция (0,002-0,05); III - глинистая фракция (< 0,002 мм)

Приложение 3

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАМЫВНЫХ ПОРОД КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Зоны и подзоны		Влажность, %	Плотность, 10^3 кг/м^3	Плотность минеральной части, 10^3 кг/м^3	Пористость, %	φ, градус	С, МПа	Коэффициент сжимаемости, МПа$^{-1}$	Коэффициент фильтрации, м/с
Песчано-супесчаная		14–30	1,7–2,1	2,65–2,72	33,7–43,7	25–32	0,013–0,035	σ = 0,05–0,7 МПа 0,6–0,08	10^{-4} – 10^{-8}
Суглинистая	текучих пород	27–40	1,8–1,92	2,66–2,72	44–52,5	14–23	0,015–0,026	σ = 0,025–0,2 МПа 1,4–0,4	10^{-8} – 10^{-9}
	мягко-пластичных пород	24,5–31,4	1,9–2,0		38,5–46,6	19–25	0,023–0,043	σ = 0,1 – 0,3 МПа 0,8–0,2	
	туго-пластичных пород	22,1–26,3	2,0–2,02		40–41,6	22	0,063	σ = 0,3 – 0,5 МПа 0,2–0,09	
Глинистая	текучих пород	37–100	1,61–1,88	2,67–2,72	50–71	0,005–0,015 (общее сопротивление сдвигу, МПа)		σ = 0,01–0,15 МПа 9,0–1,0	10^{-10} – 10^{-11}
	мягко-пластичных пород	31–38	1,88–1,96		44,5–50	8–16	0,015–0,035	σ = 0,15–0,2 МПа 1,0–0,3	
	туго-пластичных пород	28–31	1,96–2,01		41–44	8–16	0,05–0,06	σ = 0,2 – 0,6 МПа 0,3–0,1	

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОСТАВА, СОСТОЯНИЯ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАМЫВНЫХ ГРУНТОВ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

№ п/п	Показатели	Обозначение и размерность	Методы определения показателей	Формулы для вычисления показателей	Количество испытаний в лабораторных условиях
I	Плотность минеральной части	$\gamma_у$, г/см^3	В соответствии с ГОСТом 7465-67	$\gamma_у = \frac{q_1}{V_1}$	I0-I5% от пп. I3-I6
2	Плотность	γ, г/см^3	В соответствии с ГОСТом 6427-75	$\gamma = \frac{q_I + q_2}{V_I + V_2}$	Все образцы, испытываемые по пп.I3-I6
3	Плотность скелета	$\gamma_с$, г/см^3	Вычисляется по формуле	$\gamma_с = \frac{q_I}{V_I + V_2} = \frac{\gamma}{I + 0{,}0IW}$	-
4	Плотность с учетом гидростатического взвешивания	γ', г/см^3	То же	Для глинистых пород: $\gamma' = \gamma - I$; для песчаных: $\gamma' = (I-n)(\gamma_у - I)$	-
5	Влажность	W, %	В соответствии с ГОСТом 5I80-75	$W = \frac{q_2}{q_I} = \frac{\gamma - \gamma_с}{\gamma_с}$	Все образцы, испытываемые по пп. I0-I6
6	Полная влагоемкость	W_n, %	Вычисляется по формуле	$W_n = \frac{I}{\gamma_с} - \frac{I}{\gamma_у} = \frac{n}{\gamma_у(I-n)}$	-

№ п/п	Показатели	Обозначение и размерность	Методы определения показателей	Формулы для вычисления показателей	Количество испытаний в лабораторных условиях
7	Коэффициент водонасыщения	G, безразмерный	Вычисляется по формуле	$G = \frac{W}{W_n} = \frac{W \cdot \gamma_y (1-n)}{n} = \frac{W \cdot \gamma_y}{e \cdot \gamma_c}$	-
8	Пористость	n, %	То же	$n = 1 - \frac{\gamma_c}{\gamma_y}$	-
9	Коэффициент пористости	e, безразмерный	-"-	$e = \frac{n}{1-n} = \frac{\gamma_y - \gamma_c}{\gamma_c}$	-
10	Пределы пластичности	W_p, $W_т$, %	В соответствии с ГОСТом	-	2-4 для каждого слоя
11	Число пластичности	J, %	Рассчитывается по формуле	$J = W_т - W_p$	-
12	Показатель консистенции	B	То же	$B = \frac{W - W_p}{W_т - W_p}$	-
13	Сопротивление сдвигу	τ, МПа	В соответствии со схемами, моделирующими работу грунта в массиве, а также		От 12 до 48 испытаний для каждого однородного слоя

№ п/п	Показатели	Обозначение и размерность	Методы определения показателей	Формулы для вычисления показателей	Количество испытаний в лабораторных условиях
			с помощью крыльчатки, прессиометрии, статического зондирования и т. д.		
I4	Деформационные характеристики:				
	модуль деформации	E_0, МПа	Компрессионные испытания, прессиометрия	$E_0 = \beta \frac{I+e}{a}$	2–4 для каждого слоя
	коэффициент сжимаемости	a, $МПа^{-I}$	То же	–	То же
I5	Коэффициент консолидации	C_v, $м^2/с$	Рассчитывается по формуле, определяется из компрессионной кривой, а также по обратным расчетам замеров избыточного порового давления в массиве гидроотвала	$C_v = \frac{K_\phi (I+e)}{a \cdot \gamma_в}$	–"–

Продолж. прил. 4

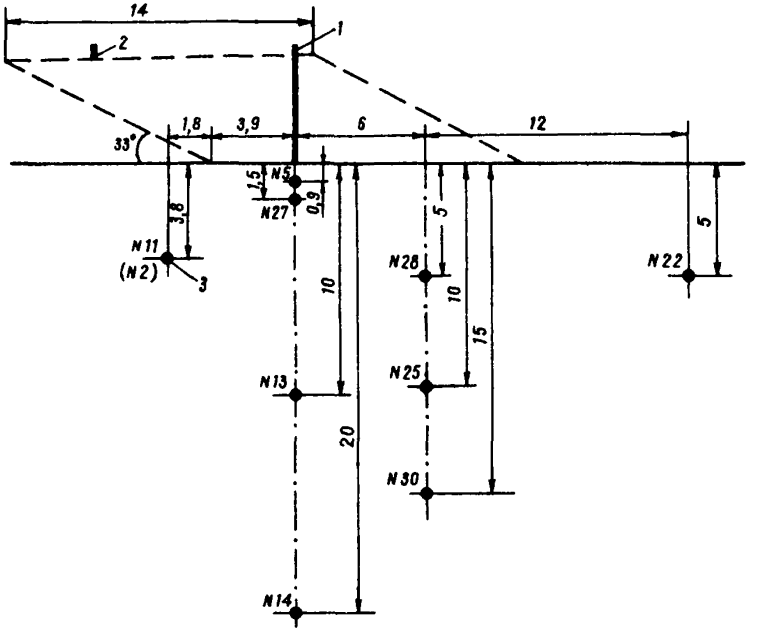
№ п/п	Показатели	Обозначение и размерность	Методы определения показателей	Формулы для вычисления показателей	Количество испытаний в лабораторных условиях
I6	Коэффициент фильтрации	$K_ф$, м/с	Для песчано-глинистых грунтов определяется в лабораторных условиях на компрессионно-фильтрационных установках. Для песчаных грунтов рекомендуется определять в полевых условиях опытными наливами в шурфы и скважины		2-4 для каждого слоя
I7	Гранулометрический состав		Ситовый, пипеточный, ареометрический (в соответствии с ГОСТом I2536-79)		То же

Примечание. V_1 – объем минеральной части; V_2 – объем пор в породе; q_1 – вес минеральной части; q_2 – вес воды, полностью или частично заполняющей поры в породе; $\gamma_в$ – плотность воды; β – коэффициент перехода от сжатия без возможности бокового расширения к сжатию, имеющему место в натуре, численно он принимается равным для песков 0,26; для супесей 0,72; для суглинков 0,57; для глин 0,43.

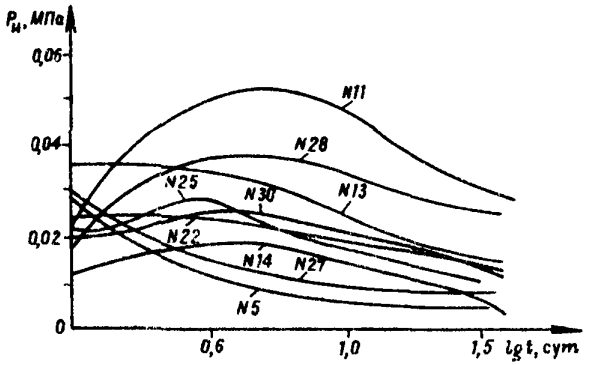
Приложение 5

ОПЫТНАЯ ОТСЫПКА НА ГИДРОУЗЛЕ "НОВОБАЧАТСКИЙ"

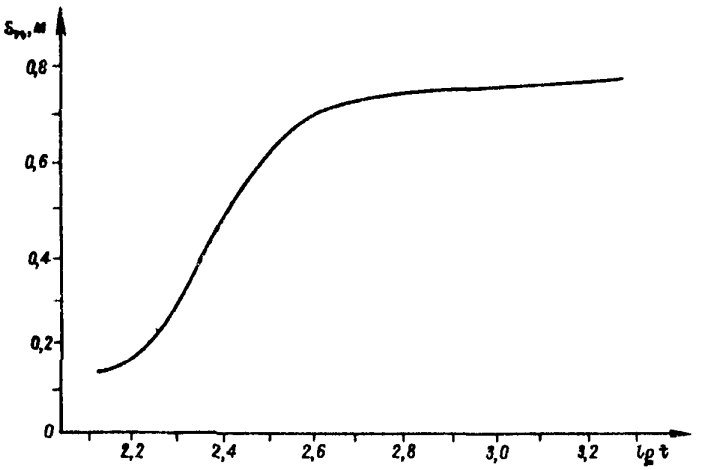
I. Схема опытной отсыпки: I – глубинный репер; 2 – репер марк-шейдерской станции; 3 – датчики порового давления.



2. Результаты наблюдений за избыточным поровым давлением



3. Осадка отвала при нагружении (по глубинному реперу)



4. Результаты интерпретации опытной отсыпки

Номера датчиков	5	27	II	28	I3	25	30	I4,22
Расстояние x, м от источника возмущения	0,9	I,5	3,8	6,0	I0	I2	I6	20
Поровое давление в момент t_I, МПа	0,0I4	0,0I4	0,052	0,038	0,0I8	0,023	0,025	0,020
Поровое давление в момент t_2, МПа	0,005	0,009	0,032	0,025	0,0I	0,009	0,0I4	0,0I0
Рассчитанное значение коэффициента консолидации C_v, $м^2$/сут	0,2	0,I5	I,0	4,0	I0,0	25	25	40

Примечание. Расчеты проведены при t_I = 4 сут и t_2 = 45 сут.

3. Расчет устойчивости

Номер	a, м	h, м	P, т	α, градусов	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\cos^2\alpha$	$P\sin\alpha$, т	$P\cos^2\alpha$, т	σ, т/м^2	τ, т/м^2	l, м	τe, т/м
I	50,0	39,5	3555,0	47	0,73	0,68	0,46	2395,0	I644,0	32,9	20,6	80,0	I648,0
2	52,5	57,5	5434,0	28	0,47	0,88	0,77	2554,0	4208,0	80,2	47,3	60,0	2838,0
3	43,5	55,0	4307,0	20	0,34	0,94	0,88	I464,0	3790,0	87,I	5I,3	45,0	2308,5
4	I9,0	55,0	I88I,0	I8	0,3I	0,95	0,90	583,0	I692,0	89,0	42,8	20,0	856,0
5	22,5	42,5	I72I,0	9	0,I6	0,99	0,98	275,0	I687,0	75,0	36,3	22,5	8I7,0
6	I7,5	32,5	I024,0	0	0	I	I	0	I024,0	58,5	I7,8	I7,5	3II,5
7	30,0	23,0	I242,0	0	0	I	I	0	I242,0	4I,4	I6,4	30,0	492,0
8	I3,0	I3,0	304,2	0	0	I	I	0	304,2	23,4	I3,2	22,5	297,0
9	I5,0	8,5	230,0	0	0	I	I	0	230,0	I5,3	I0,0	I5,0	I50,0
I0	I2,0	3,5	75,6	I8	-0,3I	0,94	0,88	-23	66,5	3,0	5,2	I4,0	72,8
								Σ 7248				n=I,35	9790,8

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРООТВАЛА "НОВОБАЧАТСКИЙ" ПРИ НАГРУЖЕНИИ ЕГО ПОРОДАМИ "СУХОЙ" ВСКРЫШИ

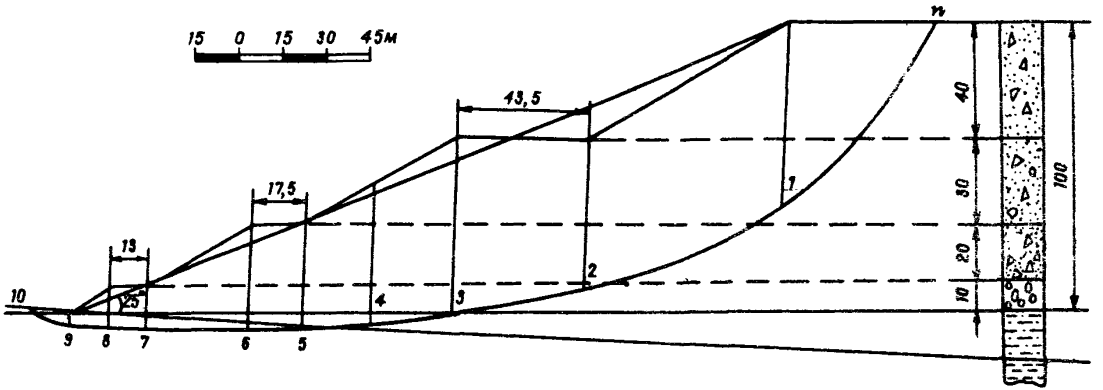
I. Исходные данные для расчета по породам:

а) "сухой" вскрыши – $\varphi = 30^0$; $C = 1$ т/м^3; $\gamma = 1{,}8$ т/м^3;

б) гидроотвалов – $\varphi = 25^0$; $C = 1{,}3$ т/м^3; $\gamma = 1{,}8$ т/м^3;

в) естественного залегания – $\varphi = 21^0$; $C = 3$ т/м^3; $\gamma = 1{,}8$ т/м^3.

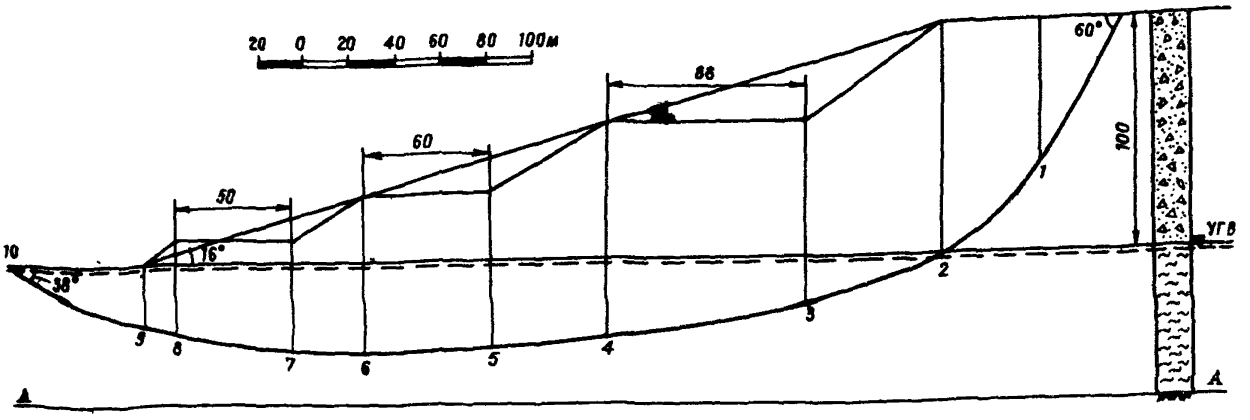
2. Расчетная схема



ПРИМЕР РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТВАЛА, ОТСЫПАННОГО НА СЛАБОЕ ВОДОНАСЫЩЕННОЕ ОСНОВАНИЕ

Рассчитать устойчивость отвала, показанного на рисунке, при следующих параметрах:

плотность пород отвала $\gamma = 1,8$ т/м^3;
то же основания $\gamma' = 1,8$ т/м^3;
угол внутреннего трения пород отвала $\rho = 30^0$;
сцепление пород отвала $K = 1$ т/м^2;
угол внутреннего трения пород основания $\rho' = 16^0$;
сцепление пород основания $K' = 2$ т/м^2;
коэффициент консолидации пород основания $C_v = 0,1$ м^2/сут
скорость возведения отвала $V_н = 2,5$ м/год;
высота отвала $H_{от} = 100$ м;
время формирования отвала $t_н = 40$ лет.

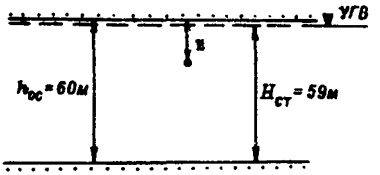


I. Определяем положение наиболее слабой поверхности скольжения. Часть сооружения, заключенного между линией откоса и поверхностью скольжения, разбиваем на блоки (рис. I6).

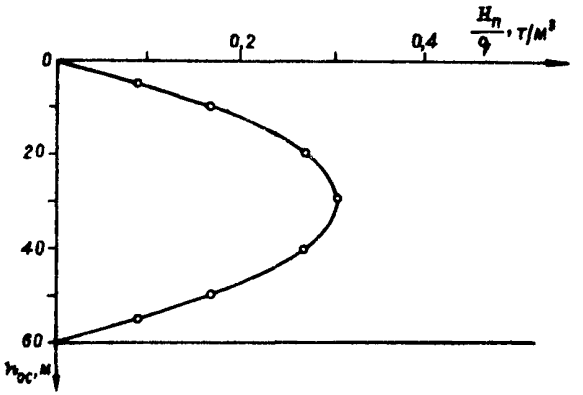
II. Определяем результирующую силу гидростатического и гидродинамического давлений.

А. Рассчитываем консолидацию пород основания отвала по схеме уплотнения слоя под действием постепенно возрастающей нагрузки (см. III, п. 3).

I. Расчетная схема



2. По результатам расчета строим эпюру распределения избыточного напора от единичной нагрузки.



Б. В пределах каждого выделенного блока определяем величины гидростатического и гидродинамического давлений; находим их результирующую силу (табл. 5).

III. Коэффициент запаса устойчивости отвала определяем в соответствии с выражением (34). Результаты расчетов приведены в табл. 6 .

Таблица 5

Номер блока	y_i, м	$h_{DC}-y_i$, м	$H_п/q$ т/м³	$h-(h_{DC}-y_i)$, м	q, т/м²	$H_п$, м	H_i, м	H_i-y_i, м	a_i, м	φ_i, градусы	$\cos\varphi_i$	$\frac{a_i}{\cos\varphi_i}$, м	Φ_i, т/м
3	5I	9	0,I60	95	I7I,0	27,4	86,4	34,4	30	25	0,9I	33,0	II35,2
4	44	I6	0,245	74	I33,2	32,6	9I,6	49,6	40	I2	0,98	40,8	2023,7
5	32	28	0,300	60	I08,0	32,4	9I,4	59,4	88	7	0,99	88,9	5280,7
6	30	30	0,305	50	90,0	27,4	86,4	60,4	46	4	I,0	46,0	2778,4
7	24	36	0,290	30	54,0	I5,7	74,7	50,7	60	2	I,0	60,0	3042,0
8	24	36	0,290	22	39,6	II,5	70,5	47,5	3I	2	I,0	3I,0	I472,5
9	25	35	0,295	I0	I8,0	5,3	64,3	39,3	50	7	0,99	50,5	I984,7
I0	29	3I	0,305	5	9,0	2,7	6I,7	3I,7	I6	I4	0,97	I6,5	523,0
II	33	-	-	-	-	-	59,0	I6,0	60	25	0,9I	65,9	I054,4

Таблица 6

Номер блока	a, м	h, м	P, т/м	φ, градусы	$\sin\varphi$	$\cos\varphi$	$P\sin\varphi$, т/м	$P\cos\varphi$, т/м	Φ_i, т/м	$P\cos\varphi - \Phi_i$, т/м	N_i $(P\cos\varphi - \Phi_i)\operatorname{tg}\rho$, т/м	l, м	Kl, т/м	$N_i + Kl$, т/м
I	40	34	2448,0	60	0,87	0,50	2129,8	1224,0	–	1224,0	709,9	78	78	787,9
2	34	86	5263,2	45	0,71	0,71	3736,9	3736,9	–	3736,9	2167,4	46	46	2213,4
3	30	104	5616,0	25	0,42	0,91	2358,7	5110,6	1135,2	3975,4	1152,9	32	64	1216,9
4	40	90	6480,0	12	0,21	0,98	1360,8	6350,4	2023,7	4326,7	1254,7	40	80	1334,7
5	88	88	13939,2	7	0,12	0,99	1672,7	13799,8	5280,7	8519,1	2470,5	86	172	2642,5
6	46	80	6624,0	4	0,07	1,0	463,7	6624,0	2778,4	3845,6	1115,2	48	96	1211,2
7	60	66	7128,0	2	0,03	1,0	213,8	7128,0	3042,0	4086,0	1184,9	58	116	1300,9
8	31	58	3236,4	2	0,03	1,0	97,1	3236,4	1472,5	1763,9	511,5	30	60	571,5
9	50	45	4050,0	7	0,12	0,99	486,0	4009,5	1984,7	2024,8	587,2	50	100	687,2
10	16	36	1036,8	14	0,24	0,97	248,8	1005,7	523,0	482,7	140,0	16	32	172,0
11	60	17	1836 0	25	0 42	0,91	771,1	1670,8	1054,4	616,4	178,8	70	140	318,8
							Σ 10527,6							Σ 12457,0

$$n = \frac{12457,0}{10527,6} = 1,18$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев М. В. и др. Экономика бульдозерного отвалообразования на рудных карьерах. М: Цветметинформация, 1966, с. 51-58.

2. Веригин Н. Н. и др. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. М., Недра, 1977. 269 с.

3. Гальперин А. М. Специальные вопросы инженерной геологии при гидромеханизации открытых работ. М.: МГИ, 1974. 70 с.

4. Керимов И. Е., Шестаков В. М. Моделирование фильтрации подземных вод. М., Недра, 1971. 224 с.

5. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработка мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. 187 с.

6. Иванов И. П. Определение показателей сопротивления сдвигу грунтов, характеризующих их естественную прочность. - Вест. ЛГУ, 1975, № 6, с. 73-79.

7. Корчагин Г. П., Коренева С. П. Прессиометрия и вращательный срез. М.: Недра, 1976. 182 с.

8. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.

9. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований свойств горных пород. Л.: Недра, 1972. 312 с.

10. Марченко С. М. Исследование параметров намыва дробленых полускальных пород. - В сб.: Открытая угледобыча в Кузбассе (опыт, проблемы, перспективы). Кемерово, 1976, с. 231-236.

11. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, подлежащих разработке открытым способом. Л.: ВНИМИ, 1965. 122 с.

12. Методические указания по определению параметров гидроотвалов угольных разрезов. Л.: ВНИМИ, 1975. 100 с.

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

14. Мочалов А. М., Хашин В. Н. Расчет устойчивости отвалов на наклонном основании. - Тр. ВНИМИ, 1973, сб. 89, с. 130-138.

15. Нурок Г. А., Дутовников А.Г., Шерстюков А. Д. Гидроотвалы на карьерах. М.: Недра, 1977. 311 с.

16. Рекомендации по проектированию сооружений шламохранилищ металлургической промышленности. М.: ВОДГЕО, 1965, 144 с.

17. Руководство по дренированию карьерных полей. Т. I и II, Л.: ВНИМИ, 1968. 170 с.

18. Трофименков Ю. Г. Полевые методы исследований строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1974. 176 с.

19. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и откосов отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.

20. Флорин В. А. Основы механики грунтов. Т. 2, Л.-М.: Госстройиздат, 1961. 543 с.

21. Цвирко П. П., Славутский С. О., Антонов В. А. Открытые горные работы гидравлическим способом. М.: Недра, 1965. 227 с.

22. Цытович Н. А., Зарецкий Ю. К., Малышев М. В., Абелев М. Ю., Тер-Мартиросян З. Г. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. М.: Стройиздат, 1967. 239 с.

23. Шуклье П. Реологические проблемы механики грунтов. М., Стройиздат, 1973. 485 с.

24. Шестаков В. М. Опытно-фильтрационные работы. М.: Недра, 1974. 202.с.

25. ГОСТ 17.5.1.01-78. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. М.: Изд-во Госкомстандартов Совмина СССР, 1978. 9 с.

26. ГОСТ 17.5.3.04-83. Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель. М.: Изд-во Госкомстандартов Совмина СССР, 1983. 10 с.

27. Временные методические указания по рекультивации земель в угольной промышленности. Пермь: ВНИИОСуголь, 1980. 300 с.

28. Годлевская Г. И., Кутепов Ю. И., Норватов Ю. А. Определение в натурных условиях показателей фильтрационной консолидации пород гидроотвалов. – Инженерная геология, 1985. № 2, с. 109-114.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение 3

I. Инженерно-геологическая характеристика гидроотвалов как оснований для отвалов сухих пород 4

Классификация отвалов и гидроотвалов 4

Факторы, определяющие состав, состояние и свойства пород гидроотвалов 6

Специфика деформаций отвалов при их отсыпке на территориях гидроотвалов 8

Типизация гидроотвалов при обосновании направления инженерно-геологических исследований I2

II. Инженерно-геологические исследования и интерпретация их результатов I4

Состав и объем инженерно-геологических исследований I4

Изучение состава и физико-механических свойств пород отвалов, гидроотвалов и их оснований в лабораторных условиях I7

Изучение состояния и свойств пород отвалов, гидроотвалов и их оснований в полевых условиях 25

Наблюдения за деформациями откосов отвалов, оценка напряженного состояния гидроотвалов и интерпретация результатов 36

Принципы инженерно-геологического районирования территорий гидроотвалов 42

III. Инженерно-геологическое обоснование мероприятий по отвалообразованию на территории гидроотвалов 43

Прогноз изменения напряженного состояния пород гидроотвалов при их нагружении породами "сухой" вскрыши 43

Расчет устойчивости отвалов и гидроотвалов 44

Схемы отвалообразования на территориях гидроотвалов и мероприятия по безопасному ведению отвальных работ 53

Рекультивация гидроотвалов, нагруженных отвалами "сухих" пород 57

Приложения 63

Литература 8I

С о с т а в и т е л и

от ВНИМИ: Кутепов Ю. И. (I, II, III), Норватов Ю. А. (II, III), Костин Е. В. (II), Дяхов В. Д. (III) Годлевская Г. И. (II), Кутепова Н. А. (I, II);
от ЛПИ: Крячко О. Ю. (III);
от ПО Кемеровоуголь: Демченко А. В. (III)

Редактор Е. М. Платонова
Технический редактор Е. Н. Потоцкая
Художественный редактор Н. С. Соколова
Корректор Ю. Б. Есельсон

Подписано к печати 30.12.85 г. М28428. Формат бумаги 60x90/16.
Объем 5,25 п.л. Тираж 150. Заказ 156. Цена 20 к.
Печатный цех ВНИМИ

УДК 622.271.46.624.134.4

Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. Л., 1985. 84 с. (М-во угольной пром-сти СССР. Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела).

ГИДРООТВАЛЫ, ОТВАЛЫ СУХИХ ПОРОД, ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ ОТКОСОВ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ПОРОВОЕ ДАВЛЕНИЕ, РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ И КОНСОЛИДАЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

Даны классификации отвалов и гидроотвалов. Выявлены факторы, определяющие состав, состояние и свойства пород гидроотвалов. Проанализированы оползневые деформации, возникающие при отвальных работах на территориях гидроотвалов. Предложена типизация гидроотвалов по степени сложности инженерно-геологических условий для выбора состава и объема исследований. Изложена методика изучения состояния и физико-механических свойств намывных отложений в полевых и лабораторных условиях. Предложена методика расчетов устойчивости и консолидации гидроотвалов при их нагружении породами сухих отвалов. Рассмотрена технология ведения отвальных работ на намывных территориях с контролируемыми оползневыми деформациями.

Ил. 20, табл. 6, библиогр. 28.

gost.e-ecolog.ru