Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ
И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА (ВНИМИ)

М Е Т О Д И Ч Е С К И Е У К А З А Н И Я
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРООТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Ленинград 1975

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ
И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА (ВНИМИ)

М Е Т О Д И Ч Е С К И Е У К А З А Н И Я
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРООТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Ленинград 1975

"МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРООТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ"

(М-во угольной промышленности СССР. Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела - ВНИМИ)

"Методические указания по определению оптимальных параметров гидроотвалов угольных разрезов" составлены на основе научно-исследовательских работ, проведенных лабораторией оползней и гидрогеологии ВНИМИ. В "Методических указаниях"... рассматривается комплекс вопросов, возникающих при строительстве и эксплуатации гидроотвалов в связи с установлением их параметров (высоты и угла откоса). "Методические указания"... предназначены, главным образом, для работников служб, контролирующих возведение гидроотвалов, а также для организаций, осуществляющих проектирование, строительство и эксплуатацию гидроотвалов угольных разрезов; основные положения "Методических указаний"... могут применяться для других разрабатываемых с применением средств гидромеханизации месторождений, где вскрышные породы представлены песчано-глинистыми и глинистыми разновидностями.

"Методические указания"... рассмотрены и одобрены Учёным советом ВНИМИ, институтами ВНИПИИСТРОМСЫРЬЕ, Гипрошахт, Кузбассгипрошахт, МГИ, комбинатами "Кемеровоуголь" и "КМАруда".

© Всесоюзный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела "ВНИМИ", 1975.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация угольных месторождений открытым способом ведется с применением различных способов разработки вскрышных пород; значительное место среди них занимает гидромеханизационный способ. На угольных разрезах Кузбасса с помощью средств гидромеханизации ежегодно отрабатывается, транспортируется и укладывается в гидроотвалы до 20% - 25% объемов вскрыши. Под гидроотвалы иногда отводятся плодородные земли, возврат которых в сферу сельского хозяйства осуществляется лишь спустя длительный промежуток времени.

Доля отвальных работ в балансе себестоимости угля обычно составляет I2 - I5 и более процентов. Гидроотвалообразование является важным звеном технологического процесса; от технико-экономических показателей гидроотвалообразования во многом зависят общекарьерные показатели, и с этой точки зрения разработка рекомендаций по экономичному и безопасному возведению намывных сооружений в угольной промышленности несомненно является актуальной задачей.

Возведение гидроотвалов связано, как правило, не только с безопасностью людей, непосредственно занятых на гидроотвальных работах, и оборудования; от устойчивости таких сооружений в большей или меньшей степени зависит безопасность промышленных и гражданских объектов в зоне возможного затопления в случае прорыва из гидроотвала осветленной воды и неконсолидированной грунтовой массы. Учитывая, что гидроотвалы располагаются преимущественно в логах, балках, оврагах, долинах речек и ручьев, аккумулируют большие объемы воды и грунтовой массы, исчисляемые миллионами и десятками миллионов $м^3$ и в случае прорыва воды затапливают большие территории, следует отметить первостепенное значение вопросов безопасности при эксплуатации гидроотвалов.

Предельно допустимая по условиям устойчивости высота гидроотвала песчано-глинистых и глинистых пород во многом зависит от способа его возведения. Технология гидроотвалообразования на угольных разрезах в значительной степени определяет также безопасность работ на гидроотвале и прилегающих к нему территориях, эффективность способа складирования вскрышных пород с учетом рационального использования земельных площадей и их скорейшего возврата в сферу сельского хозяйства. Технологию производства работ по намыву в связи с этим необходимо рассматривать не только как сред-

ство достижения высоких технико-экономических показателей отвального звена в технологическом цикле разработки месторождения, но также и как способ строительства сооружения с оптимальными параметрами (высотой и углом откоса) при условии максимального обеспечения безопасности работ и сохранности земельных угодий.

Большой опыт возведения намывных сооружений, накопленный в гидротехническом строительстве (намыв высоких плотин) и в горнообогатительной промышленности (намыв хвостохранилищ, золоотвалов, шламоотстойников), не может быть механически перенесен в гидроотвалообразование из-за существенных отличий гидроотвалов угольных разрезов от других гидротехнических сооружений. Эти различия заключаются в следующем:

1. Для намыва плотин выбираются определенные породы (обычно песчаного состава), к физико-механическим свойствам которых в естественном и переотложенном состоянии предъявляются строгие требования. Гидроотвалы же обычно намываются из разнородных (песчаных и глинистых) пород. Иногда в гидроотвалы намываются одновременно суглинистые, глинистые, песчаные и меловые породы. Строительство плотин из таких пород по существующим нормативам недопустимо.

2. Интенсивность намыва гидроотвалов значительно ниже, чем плотин и колеблется обычно в пределах 3–5 м в год.

3. Конструкция плотин в связи с их назначением содержит противофильтрационные устройства. Иногда такие устройства, ухудшающие условия консолидации пород, встречаются в практике строительства гидроотвалов, в то время как в гидроотвалах целесообразно ускорить фильтрацию воды из упорных призм с помощью специальных мероприятий, что способствует более быстрой консолидации водонасыщенных породных масс и увеличивает устойчивость сооружения.

4. Площади, занятые гидроотвалами, должны после завершения намыва возвращаться в сферу сельского хозяйства, в связи с чем к гидроотвалам предъявляются некоторые дополнительные требования.

В силу перечисленных причин и в связи с широким развитием гидроотвалообразования существует объективная необходимость обобщения опыта эксплуатации многочисленных гидроотвалов угольных разрезов, намытых преимущественно из суглинистых пород, и

установления количественных критериев, которые обеспечат производство гидроотвальных работ с максимальной степенью безопасности и высокой технико-экономической эффективностью. В настоящих "Методических указаниях..." рассматривается комплекс вопросов, возникающих при строительстве и эксплуатации гидроотвалов, в связи с определением допустимых их параметров (высоты и угла откоса).

Анализ технологии намыва, свойств намытых пород и пород основания сооружения, а также условий гидроотвалообразования на разрезах Кузбасса и других угольных и рудных месторождениях, эксплуатируемых с применением средств гидромеханизации, свидетельствует о необходимости разработки требований к размещению вскрышных пород и осуществления мероприятий по повышению безопасности работ, увеличению технико-экономической эффективности гидромеханизационного способа складирования пустых пород, увеличению параметров откосов гидроотвалов и уменьшению площадей, занимаемых пустыми породами открытых горных работ, что приобретает большое значение в связи с возможностью и целесообразностью использования поверхности гидроотвалов для размещения пород "сухих" отвалов; на ряде предприятий такие работы уже ведутся.

Существенным выводом данной работы является необходимость постоянного контроля устойчивости откосов гидроотвалов и создания для этой цели специальной контрольной службы.

Комплексный контроль устойчивости гидроотвалов является необходимым и действенным средством ведения гидроотвалообразования и позволяет складировать разжиженные породные массы при максимальной безопасности и высоких технико-экономических показателях способа отвалообразования. Огромные объемы пород, разрабатываемые способом гидромеханизации в Кузбассе ежегодно (свыше 20 млн.м^3), наличие большого количества действующих гидроотвалов в бассейне (около 20) и настоятельная необходимость обеспечения безопасности и высокой технико-экономической эффективности работ требует создания при комбинатах или отдельных разрезах специальной контрольной службы, способной самостоятельно решать вопросы, связанные с контролем устойчивости сооружений.

Контрольная служба должна состоять из специалистов по инженерной геологии, гидрогеологии, маркшейдерии и иметь в своем составе хорошо оснащенную лабораторию для определения свойств по-

род гидроотвалов и их основания. Следует отметить, что в гидротехническом строительстве, например, ведется постоянный контроль за качеством работ и свойствами пород при возведении плотин, причем количественный состав таких лабораторий жестко регламентирован в зависимости от объемов работ. Так, при объемах до 5 млн.м^3 в год численность контрольной службы определяется в 15 человек /5/. Для обслуживания гидроотвалообразования в Кузбассе, где объемы работ значительно выше, целесообразно создать такую службу, которая могла бы оперативно решать вопросы отвалообразования на всех гидроотвалах бассейна.

Дополнительные затраты на создание рекомендуемой контролирующей организации несомненно окупятся повышением безопасности работ и более экономичным использованием земельных отводов.

Работа выполнена применительно к гидроотвалам угольных разрезов, подавляющее большинство которых сосредоточено в Кузнецком бассейне, однако, основные положения работы могут быть использованы и на других месторождениях, где вскрышные породы представлены песчано-глинистыми и глинистыми разновидностями.

"Методические указания..." предназначаются для организаций и ведомств, осуществляющих проектирование, строительство и эксплуатацию гидроотвалов; в первую очередь, однако, настоящие "Указания" рекомендуются организациям, контролирующим возведение гидроотвалов, в качестве методической основы в практической деятельности.

В сборе материалов к "Методическим указаниям..." принимали участие: проф., д-р геол.-мин. наук Мироненко В.А., ст.н.с., канд. техн. наук Крячко О.Ю. (руководитель темы), зав.лаб. оползней и гидрогеологии ВНИМИ канд. геол.-мин. наук Норватов Ю.А., ст.н.сотр. Котов И.Г. (ответственный исполнитель), канд. геол.-мин. наук Бокий Л.Л., инж. Бич И.Н., инж. Алексеева А.Я., мл. науч. сотр. Лях ов В.Д. и другие.

В составлении руководства принимали участие: ст. научн. сотр., канд. техн. наук Крячко О.Ю. (введение, I.I - I,4; 2.3; 2.4; 3.I; 4.I - 4.3; 5.I - 5.3), зав. лабораторией гидрогеологии и оползней канд. геол.-мин. наук Норватов Ю.А. (2.4; 4.I - 4.3; 5.I - 5.3) и инж. Котов И.Г. (2.I - 2.2); в составлении отдельных разделов работы ценную помощь оказал проф. доктор геол.-мин. наук Мироненко В.А.

В обсуждении первой редакции работы приняли участие институты ВНИПИИСТРОМСЫРЬЕ, Гипрошахт, МГИ, Кузбассгипрошахт, а также комбинаты "Кемеровоуголь" и "КМАруда".

Авторы приносят глубокую благодарность организациям, принявшим участие в обсуждении первой редакции данной работы. Весьма ценные по существу работы замечания института "ВНИПИИСТРОМСЫРЬЕ" и отдела гидромеханизации МГИ в подавляющем большинстве учтены при составлении настоящих "Указаний..."

Авторы с благодарностью примут все замечания, направленные на дальнейшее улучшение "Методических указаний...".

I. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАМЫВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ И ГИДРООТВАЛОВ

I.I. Основные понятия и термины / I /

I.I.I. Гидроотвалом называют гидротехническое сооружение, предназначенное, главным образом, для размещения вскрышных пород, разрабатываемых способом гидромеханизации, а также для осветления, отвода и повторного использования воды. В состав гидроотвала входят:

а) ограждающие дамбы (первой и последующих очередей);

б) массив, образованный намытыми породами;

в) пруд-отстойник (иногда предусматривается пруд-отстойник вторичного осветления);

г) сооружения для отвода осветленной воды и пропуска паводковых расходов (канавы, водосбросные колодцы, выводы и т.д.);

д) пульповоды (магистральные и отвальные).

I.I.2. По типу обвалования гидроотвалы подразделяются следующим образом:

I) с односторонним обвалованием (в логах, оврагах, поймах рек, ручьев и т.д.);

2) с двух или трехсторонним обвалованием (на косогорах);

3) со всесторонним обвалованием (на равнине).

Иногда под гидроотвалы отводится выработанное пространство разрезов.

I.I.3. По способу возведения гидроотвалы делятся на одноярусные и многоярусные. При одноярусном гидроотвалообразовании ограждающая дамба возводится на полную проектную высоту, а затем ведется заполнение созданной емкости; при многоярусном - дамба наращивается по мере намыва сооружения.

I.I.4. Объем гидроотвала разделяют на начальный и общий. Начальный объем создается первичной ограждающей дамбой или первичным обвалованием; общий объем определяется объемом намытых пород на момент окончания эксплуатации гидроотвала.

I.I.5. В строении гидроотвала различают:

а) упорные призмы;

б) пляж намыва;

в) пруд-отстойник.

К упорным призмам относится часть гидроотвала, непосредственно примыкающая к низовому откосу; в их состав, помимо части пляжа намыва, входят дамбы первичного и последующих лет обвалования.

Пляж намыва, образующийся в результате осаждения частиц грунта из свободно растекающейся по внутреннему откосу гидроотвала потока пульпы, обычно делят на 3 зоны:

а) наружная, приоткосная, зона - непосредственно примыкающая к внешнему откосу гидроотвала;

б) промежуточная зона, располагающаяся между наружной зоной и прудом-отстойником;

в) внутренняя зона, включающая пруд-отстойник.

I.I.6. Гидроотвалы по высоте делятся на низкие (до 10 м), средней высоты (10-30 м) и высокие (свыше 30 м). В зависимости от количества грунта, укладываемого в единицу времени, гидроотвалы подразделяются на 4 категории:

I категория - гидроотвалы с приемной способностью свыше 12 млн.м^3 в год или свыше 70 тыс.м^3 в сутки;

II категория - от 4 до 12 млн.м^3 в год или от 20 до 70 тыс.м^3 в сутки;

III категория - от 0,7 до 4 млн.м^3 в год или от 4 до 20 тыс.м^3 в сутки;

IУ категория - до 0,7 млн.м^3 в год или до 4 тыс.м^3 в сутки.

I.I.7. Гидротехнические сооружения, входящие в состав гидроотвала (ограждающие дамбы, водосбросные и водоспускные сооружения) разделяются на 4 класса капитальности (табл.I.I) / I /.

Таблица I.I

Категория гидроотвала	Класс основных сооружений	Класс второстепенных сооружений
I	I	III
II	II	III
III	III	IУ
IУ	IУ	IУ

Примечание: к основным сооружениям в гидроотвалах относятся ограждающие дамбы и водосбросные сооружения, к второстепенным - контрольные водосбросные колодцы и пульповоды.

I.I.8. По способу возведения ограждающих дамб гидроотвалов, в связи с гранулометрическим составом намываемых пород, гидроотвалы делятся на три типа.

Первый тип - гидроотвалы, ограждающие дамбы которых возводятся как земляные плотины соответствующего класса капитальности из грунтов специальных карьеров.

Второй тип - гидроотвалы, в которых основанием дамб последующих очередей служат намытые породы, а тело дамб возводится из грунтов специальных карьеров.

Третий тип - гидроотвалы, в которых ограждающие дамбы возводятся из намытых пород.

I.2. Анализ технологии намыва гидроотвалов в связи с их устойчивостью

I.2.I. При возведении гидроотвалов и хвостохранилищ применяются следующие схемы намыва:

I) намыв от обвалования, когда пруд-отстойник оттеснен к естественным повышениям рельефа; в случае всестороннего намыва с естественных или искусственных (при всестороннем обваловании) склонов территории, отведенной под гидроотвал, пруд-отстойник занимает центральную часть территории;

2) намыв с естественных склонов к обвалованию; пруд-отстойник расположен в непосредственной близости у обвалования.

I.2.2. Эксплуатация гидроотвалов, намываемых способом 2, осложняется из-за возрастания опасности прорыва осветленной воды и неконсолидированной горной массы с ростом высоты сооружения; для обеспечения устойчивости сооружения, намываемого способом 2, необходимо строительство более массивной дамбы, которая, как правило, возводится из насыпных грунтов более дорогим, нежели гидромеханизационный, способом. Некоторые примеры таких прорывов, имевших место при намыве гидроотвалов и хвостохранилищ, показывают, что подобные явления носят катастрофический характер и

чрезвычайно опасны для населенных пунктов и промышленных сооружений. Повышенная опасность эксплуатации гидроотвалов, намываемых по схеме 2, а также более высокая их стоимость (по сравнению, например, со схемой I) требует применения схемы намыва только от обвалования.

I.2.3. Возведение гидротехнических сооружений в горной промышленности (гидроотвалов, золоотвалов, хвостохранилищ) обычно производится рассредоточенным или сосредоточенным намывом с использованием следующих способов:

а) безэстакадного (с помощью быстроразъемных трубных соединений);

б) эстакадного (со стационарных или переносных эстакад);

в) из торцов одного или нескольких (обычно 2-3) пульповодов ;

г) из продольных лотков и прогонов;

д) зенитного, и некоторых других.

I.2.4. На гидроотвалах угольных разрезов наиболее широко применяется способ намыва из торцов пульповодов (приложение I); иногда встречается эстакадный способ (Назаровский разрез).

Высокоэффективный безэстакадный способ намыва на гидроотвалах угольных разрезов не распространен из-за низкой несущей способности намывных суглинков (пляж намыва длительное время недоступен для оборудования).

I.2.5. Особенностью намыва из торцов одного или нескольких пульповодов, расположенных на значительном удалении друг от друга, является образование в непосредственной близости у обвалования зон, в которых происходит осаждение мелких частиц грунта. С увеличением высоты гидроотвала эти зоны играют роль поверхностей ослабления, способствуя снижению коэффициента запаса устойчивости, и обусловливают уменьшение параметров откосов намывных сооружений (3.I).

I.2.6. Намыв пород в гидроотвал сопровождается распределением частиц по крупности по пляжу намыва; при этом наиболее крупные частицы грунта осаждаются у выпусков пульпы, более мелкие - на пляже намыва; в пруде-отстойнике происходит осаждение самых мелких (пылеватых и глинистых) частиц.

Распределение частиц на пляже намыва по крупности зависит от многих факторов: состава намываемых пород, способа намыва, кон-

систенции пульпы и ее расхода, способа выпуска пульпы, блуждания потоков пульпы по пляжу, уклона пляжа и т.д. В частности, более упорядоченный намыв достигается при рассредоточенном выпуске пульпы; сосредоточенный выпуск способствует осаждению части мелких песчаных частиц в пруде-отстойнике.

I.2.7. В соответствии с размерами выпадающих из потока пульпы частиц изменяются и физико-механические свойства намывных пород гидроотвала; в частности, максимальное сопротивление пород сдвигу свойственно породам, отлагающимся у выпусков пульпы, минимальное - породам в пруде-отстойнике. Параметры устойчивого гидроотвала, таким образом, существенно зависят от схемы и способа намыва.

I.2.8. Из перечисленных способов предпочтение следует отдать способам с рассредоточенным выпуском пульпы. Намыв гидроотвала с эстакад, расположенных по периметру обвалования, обеспечивает осаждение наиболее крупных частиц грунта в пределах упорной призмы и обусловливает тем самым возможность возведения более высокого сооружения.

I.2.9. Эстакадный способ обеспечивает упорядоченное распределение частиц грунта по крупности с удалением от фронта намыва. Уменьшение размеров частиц грунта приводит к изменению (ухудшению) механических свойств намывной толщи. Для высоких гидроотвалов, длина возможной поверхности скольжения которых превышает I00 - I50 м, уменьшение сопротивления сдвигу с удалением от фронта намыва играет существенную (возрастающую с увеличением высоты сооружения и уменьшением результирующего угла откоса) роль при определении оптимальных параметров в связи с положением наиболее напряженной поверхности высокого гидроотвала, которая в призме упора располагается в наиболее слабом слое намытой толщи (обычно у основания, если породы основания прочнее намывных); дифференциация частиц в этом слое пород должна учитываться при расчете устойчивости откоса введением характеристик сопротивления сдвигу, свойственных грунту с определенным процентным содержанием глинистых частиц, от которого, главным образом, зависят механические свойства намытых пород (5, 3, 2).

I.2.I0. Намыв гидроотвалов из разнородных (песчаных, гравийных, глинистых, суглинистых и т.д.) грунтов приводит к формиро-

ванию слоистой толщи. Наличие чередующихся в вертикальном разрезе слоев и прослойков пород, мощностью от нескольких миллиметров до 5–7 см и более, обусловливается рядом причин, среди которых главную роль играют изменение состава карьерного грунта, неравномерность подвигания работ в отдельных забоях, изменения консистенции пульпы, меандрирование потока пульпы по пляжу намыва и т.д. Наиболее четко слоистость гидроотвала проявляется в пределах упорных призм и переходной зоны.

При намыве в гидроотвал лессовидных суглинков также наблюдается слоистое строение намытой толщи, хотя слоистость выражена в меньшей степени, чем при намыве разнородных грунтов. В гидроотвале "Южный" Навашинского разреза, например, слоистость намывных суглинков отчетливо наблюдается в 200–300 м от фронта намыва.

I.2.II. Наличие отдельных слоев и прослойков в толще гидроотвала оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на устойчивость сооружения. Отрицательное влияние состоит в том, что некоторые слои намывных пород глинистого состава имеют низкое сопротивление сдвигу и могут играть роль поверхностей ослабления; положительное влияние заключается, главным образом, в ускорении консолидации суглинистых и глинистых прослойков, заключенных между песчаными и супесчаными.

I.2.I2. Устойчивость откосов гидроотвалов во многом зависит от ширины одновременно намываемого участка в связи с высоким положением депрессионной кривой на участке намыва и уменьшением сил сопротивления сдвигу, вследствие взвешивающего влияния воды (3.I).

I.2.I3. Допустимая высота гидроотвала при определенном угле откоса существенно зависит от скорости увеличения его высоты (интенсивности намыва), в связи с возникновением при консолидации пород избыточного порового давления (2.4), снижающего эффективные напряжения в скелете грунта и, вследствие этого, силы сопротивления сдвигу. Соответствие интенсивности намыва скорости рассеивания избыточного порового давления является важным условием обеспечения устойчивости намываемого сооружения; превышение допустимой (определяемой расчетами на стадии проектирования или наблюдениями по датчикам порового давления (2.3) в пе-

риод эксплуатации) интенсивности намыва приводит, как свидетельствует практика гидроотвалообразования, к оползневым деформациям дамб гидроотвалов (гидроотвал № I Лебединского карьера комбината "КМАруда", гидроотвал № 4 Кедровского разреза. Приложение 2.)

I.2.I4. При разработке многослойной толщи осадочных пород, существенно отличающихся друг от друга по прочностным свойствам, большое влияние на предельную высоту устойчивого гидроотвала при заданном угле откоса оказывает последовательность размещения этих пород. Максимальная высота гидроотвала достигается соблюдением такой последовательности, при которой сопротивление сдвигу увеличивается в направлении сверху вниз.

I.3. Деформации откосов гидроотвалов

I.3.I. Наибольшее распространение на гидроотвалах имеют следующие виды деформаций:

а) оползни внешних откосов упорных призм;
б) оплывание внешних откосов упорных призм и связанное с ним цикличное обрушение откосов гидроотвалов;
в) прорыв осветленной воды и грунтовой массы;
г) эрозия внешних откосов упорных призм.

I.3.2. По положению поверхности скольжения относительно основания, оползни гидроотвалов принято разделять на надподошвенные, возникающие из-за несоответствия параметров гидроотвала (высоты и угла откоса) характеристикам сопротивления сдвигу намывных пород, подошвенные, обычно наблюдающиеся при возведении отвала на наклонном слоистом основании с падением слоев согласно откосу и наличием ослабленных контактов между слоями, и подподошвенные, развивающиеся при размещении гидроотвалов на основании, породы которого обладают низкой несущей способностью (торф, слабые водонасыщенные глины); оползни подподошвенного типа сопровождаются образованием вала выпирания у нижней бровки откоса / I6 /. Необходимо отметить, что оползни подподошвенного типа протекают, как правило, медленно; деформации откосов имеют плавный, растянутый во времени характер.

I.3.3. Оплывание откосов связано с фильтрацией воды на внеш-

ний откос гидроотвала, сложенный породами песчаного и супесчаного состава. Образующийся при этом конус выноса обычно имеет угол откоса 4 - 5°. В результате оплывания появляются участки с вертикальным откосом, периодическое обрушение которых и последующий вынос обрушившегося материала приводит к увеличению высоты вертикального откоса с одновременным смещением его в плане в сторону гидроотвала. Циклический характер деформаций этого типа может привести к снижению общей устойчивости гидроотвала на участке оплывания.

I.3.4. Прорыв из пруда-отстойника гидроотвала осветленной воды и находящихся в разжиженном состоянии породных масс происходит обычно вследствие перелива воды и пульпы через гребень обвалования и приводит, как правило, к катастрофическим последствиям. Имеющиеся примеры прорыва осветленной воды и пульпы (гидроотвал "Южный" Назаровского разреза, гидроотвал № 2 Лебединского карьера комбината "КМАруда", хвостохранилище Сорской обогатительной фабрики) свидетельствуют о том, что подобные случаи имеют место лишь при грубых нарушениях технологии намыва. Вместе с тем необходимо отметить, что из двух схем намыва - от обвалования и к обвалованию - потенциально более опасным с точки зрения возможного возникновения деформаций подобного типа является второй способ.

I.3.5. Эрозионные явления на откосах гидроотвалов наблюдаются в виде промоин, возникающих в результате воздействия атмосферных осадков на тех гидроотвалах, внешние откосы которых формируются из суглинистого и песчано-глинистого намывного грунта. В некоторых случаях глубина промоин может достигать 6-8 м (Назаровский разрез); их наличие может привести к интенсивному развитию циклических деформаций обрушения оплывающих откосов или к возникновению локальных оползней. Некоторые сведения о деформациях на гидроотвалах и хвостохранилищах приведены в приложении 2.

I.4. Факторы, влияющие на устойчивость гидроотвалов

I.4.I. Все факторы, влияющие на устойчивость гидроотвалов, могут быть разделены на 4 группы:

I) физико-географические;

2) геологические и инженерно-геологические;
3) гидрогеологические;
4) технологические.

Характеристика факторов перечисленных групп, характер их влияния на устойчивость откосов, способы количественного учета при определении оптимальных параметров откосов, а также перечень мероприятий по предотвращению или ослаблению вредного воздействия приводятся в таблице I.2.

Таким образом, факторы, влияющие на устойчивость гидроотвалов, чрезвычайно многообразны, причем значительную роль среди них играют факторы технологического порядка, роль которых особенно велика в связи с возможностью активного на них воздействия. Необходимо отметить, что оползневые деформации откосов гидроотвалов обычно происходят в результате совокупного влияния нескольких факторов. Важно также установить, что все перечисленные факторы влияют на устойчивость откосов, воздействуя на сопротивление сдвигу намывных пород или пород основания гидроотвала (за исключением лишь гидродинамического давления, непосредственно увеличивающего горизонтальную составляющую веса пород).

I.5. Задачи и состав исследований устойчивости откосов при проектировании, строительстве и эксплуатации гидроотвалов

I.5.I. Основной задачей исследований при проектировании, строительстве и эксплуатации гидроотвалов является обеспечение намыва безопасного и экономичного сооружения с оптимальными высотой и углом откоса. Непрерывно изменяющиеся условия гидроотвалообразования (изменение состава карьерного грунта, неравномерность подвигания фронта работ, изменение положения верхней границы намываемого слоя и др.) обуславливают постоянное изменение во времени основных расчетных характеристик пород гидроотвала и его основания (пористости, коэффициента сжимаемости, коэффициента фильтрации, объемного веса, сопротивления сдвигу). Исследования на каждом из этапов возведения намывного сооружения должны, исходя из основной задачи прогнозировать, учитывать и контролировать формирование намывной толщи и изме-

Таблица I.2

Наименование группы факторов	№ № п/п	Наименование фактора, влияющего на устойчивость откоса	Характер влияния фактора	Способ количественного учета фактора и мероприятия по предотвращению или ослаблению его вредного воздействия
I	2	3	4	5
Физико-географическая	I	Атмосферные осадки	Повышение уровня депрессионной поверхности	Расчет устойчивости откоса с учетом взвешивающего влияния воды
			Эрозия откосов	Планирование откосов, пригрузка откоса фильтрующим материалом
	2	Промерзание откосов и поверхности гидроотвала	Ухудшение условий консолидации за счет: а) прекращения фильтрации воды к откосам и поверхности гидроотвала; б) увеличения длины пути фильтрации из-за длительного оттаивания линз и слоев промерзших пород	Контроль за изменением порового давления в натурных условиях (2.3); контрольные расчеты устойчивости с использованием измеренных величин порового давления (3.I).
	3	Рельеф местности (наклон основания в сторону откоса)	Ухудшение условия устойчивости при наличии ослабленного слоя или контакта в основании гидроотвала	Определение сопротивления сдвигу по ослабленному слою или контакту гидроотвал-основание (2.3); расчет устойчивости гидроотвала (3.I) удаление ослабленного слоя (4.I); нарушение слабого контакта взрывными работами (4.I).

I	2	3	4	5
геологическая и инженерно-геологическая	4	Размещение гидроотвала на наклонном слоистом (однородном или неоднородном) основании с падением слоев или слоистости согласно откосу	Устойчивость определяется сопротивлением сдвигу по контактам слоев, или по слоистости; оползни имеют вид подошвенных и подподошвенных	Определение сопротивления сдвигу по контактам слоев; расчеты устойчивости (3.1); подготовка основания (при необходимости) (4.1)
	5	Размещение гидроотвала на слабых породах, а также на породах, склонных к набуханию	Ухудшение условий устойчивости вследствие развития порового давления в породах основания	Наблюдения за поровым давлением в породах основания гидроотвала (2.3); оценка скорости рассеивания p_w (2.4;2.3); расчеты устойчивости (3.1); расчет допустимой интенсивности намыва; подготовка основания (4.1);
	6	Сопротивление сдвигу намывных пород	Устойчивость откоса определяется соотношением сдвигающих и удерживающих откос в равновесии сил; сумма удерживающих сил по наиболее напряженной поверхности зависит от сопротивления пород сдвигу	Определение сопротивления сдвигу (2,2, 2.3); расчеты устойчивости (3.1); дренажные мероприятия, направленные на ускорение консолидации (4.3); последовательность размещения пород в гидроотвале (4.1)
Гидрогеологическая	7	Наличие избыточного порового давления в намывных породах и в породах основания гидроотвала	Снижение сопротивления сдвигу вследствие уменьшения эффективных напряжений в намывных породах или породах основания гидроотвала.	Прогноз (2.4) и натурные измерения порового давления (2,3); определение свойств пород ($K, \alpha, \varepsilon, \gamma$) при различных напряжениях σ_n (2,2; 2,3); расчеты устойчивости (3.1); мероприятия по ускорению консолидации пород (4,3); подготовка основания (4.1)

I	2	3	4	5
Гидрогеологическая	8	Наличие в основании гидроотвала напорного водоносного горизонта, отделенного от гидроотвала слабопроницаемым глинистым слоем	Ухудшение условий устойчивости за счет уменьшения эффективных напряжений в глинистом слое	Расчеты устойчивости с учетом измеренных напоров (3.I); снижение напоров (4.3)
	9	Гидростатическое взвешивание	Уменьшение эффективных напряжений во взвешиваемой толще пород	Расчеты устойчивости с учетом гидростатического взвешивания (3.I); дренажные мероприятия (4.3);
	I0	Гидродинамическое давление	Увеличение горизонтальной составляющей веса пород	Расчеты устойчивости с учетом гидродинамического давления (3.I); снижение депрессионной поверхности с помощью дренажных мероприятий (4.3)
	II	Оплывание откосов	Циклические обрушения и вынос обрушившегося материала;увеличение от цикла к циклу высоты обрушения	Пригрузка участков высачивания фильрующим материалом (4.3); применение средств глубинного дренажа: совместное применение указанных способов (4.3)
Технологическая	I2	Дифференциация породных частиц по крупности при намыве	Снижение сопротивления сдвигу в направлении к пруду – отстойнику	Количественный учет изменения сопротивления сдвигу с изменением состава (5.3) с последующим использованием полученных характеристик в расчетах устойчивости (3.I).

I	2	3	4	5
Технологическая	I3	Интенсивность намыва	Оползни откосов при опережении интенсивностью намыва скорости рассеивания избыточного порового давления	Прогноз и натурный контроль порового давления (2.4); расчеты устойчивости (3.I); определение допустимой для данных пород интенсивности намыва (2.4).
	I4	Сосредоточенный выпуск пульпы на карту намыва (I.2.I4)	Снижение коэффициента запаса на участке намыва небольшой протяженности (25-40 м) вследствие высокого положения депрессионной поверхности	Расчет устойчивости откоса с учетом бокового защемления потенциально опасного в оползневом отношении участка (объемная задача (3.I).
	I5	Наличие в приоткосной части массива гидроотвала замытых ослабленных локальных зон (I.2.6)	Снижение коэффициента запаса устойчивости на участке распространения ослабленных зон	То же; применение рассредоточенного способа намыва.
	I6	Динамические нагрузки при ведении взрывных работ	Возможность развития оползневых деформаций вследствие тиксотропного разжижения пород	Строго регламентированное ведение взрывных работ на безопасном расстоянии от гидроотвала; безопасное расстояние определяется согласно/I5/
	I7	Цикличность намыва песчаных и глинистых пород-образование слабых прослоев	Образование ослабленных (глинистых) прослойков в массиве гидроотвала.	Выявление положения ослабленных прослойков;определение сопротивления сдвигу (2,2; 2,3) и величины избыточного порового давления (2,4;2,3); расчеты устойчивости (3.I); при необходимости-применения мероприятий по дренажу намытой толщи и уполаживанию результирующего угла откоса гидроотвала (4.2; 4.3)

нение физико-механических свойств пород гидроотвала и его основания. Исследования на различных этапах существенно отличаются друг от друга по составу и, способствуя решению общей основной задачи, направлены на решения частных вопросов, связанных с технологией подготовки основания, намыва гидроотвала и устойчивостью откосов.

I.5.2. При изысканиях и проектировании гидроотвала определяются его местоположение, высота и угол откоса, способ и интенсивность намыва, способ возведения дамб обвалования и т.д.

В состав исследований в этот период входят:

а) изучение строения, состава и физико-механических свойств пород основания гидроотвала;

б) гидрогеологические исследования;

в) изучение состава и свойств разрабатываемых вскрышных пород;

г) прогнозирование физико-механических свойств намываемой толщи;

д) расчеты скорости уплотнения намывных пород и пород основания гидроотвала;

е) расчеты устойчивости откосов.

Проектирование гидроотвалов производится, как правило, по материалам изысканий под гидроотвал; на этой стадии частично могут использоваться некоторые данные, полученные при разведке месторождения (например, состав и свойства карьерного грунта, подлежащего размыву, результаты изучения гидрогеологических условий и др.)

I.5.3. Изучение строения, состава и свойств пород основания гидроотвала производится, в основном, на участке упорных призм с целью определения максимально допустимой высоты гидроотвала и интенсивности намыва; при этом, выявляются ослабленные слои пород и контакты и намечаются (в случае необходимости) инженерные мероприятия по снижению влияния на устойчивость сооружения неблагоприятных факторов (например, потенциальных поверхностей ослабления). К числу обязательных исследований необходимо отнести:

а) лабораторные определения сопротивления сдвигу, коэффици-

ентов сжимаемости и фильтрации, а также физических свойств и гранулометрического состава пород основания гидроотвала (2.2);

б) определение сопротивления сдвигу слоистой толщи основания по слоистости в натурных условиях (2.3).

Дополнительно к основным могут проводиться определения сопротивления вращательному срезу (для слабых пород). По результатам изучения физико-механических и водных свойств пород основания с привлечением как лабораторных, так и полевых методов (гл.2), производятся расчеты консолидации (2.4) и устойчивости откосов (гл.3).

I.5.4. Изучение свойств вскрышных пород производится с целью установления возможности их использования в качестве материала для дамбы первичного обвалования, а также для прогноза ожидаемого фракционирования грунта по пляжу намыва. Особый интерес представляют фильтрационные характеристики предварительно разрушенного и вновь уплотненного грунта - для оценки возможности оттока воды через откос при уплотнении намытых пород, а также характеристики сопротивления сдвигу пород нарушенного сложения - для оценки устойчивости гидроотвала, особенно в первые годы его существования (при многоярусном намыве с увеличением высоты сооружения роль дамбы первичного обвалования в общей устойчивости гидроотвала уменьшается).

Определение характеристик сопротивления сдвигу выполняется в лабораторных и в полевых условиях (2.2; 2,3). Коэффициент фильтрации рекомендуется определять на фильтрационно-компрессионных приборах при различных величинах гидростатического давления и градиентов напора (2.2).

I.5.5. При проектировании гидроотвалов из суглинистых и глинистых пород, аналитический прогноз фракционирования которых связан со значительными погрешностями в последующем определении прочностных свойств, должен использоваться один из следующих способов количественной оценки изменения свойств намывных пород по пляжу намыва:

I) изучение свойств толщи гидроотвала-аналога, намываемого из сходных пород;

2) в особо ответственных случаях (для гидроотвалов I категории) - намыв опытного гидроотвала и изучение свойств намытых пород в натурных и лабораторных условиях.

В частности, учитывая широкое распространение гидромеханизационного способа разработки в Кузбассе, например, и сходный состав пород, размещаемых в гидроотвалах (в основном, лессовидные суглинки), представляется целесообразным при проектировании использовать один из существующих гидроотвалов в качестве аналога.

В исключительных случаях (при отсутствии аналога или при строительстве средней высоты и высоких гидроотвалов I и II категории с интенсивностью намыва 5 и более м/год) может производиться намыв опытного гидроотвала и изучение свойств намытых пород. Изучение распределения частиц грунта по крупности по пляжу намыва и количественная оценка его влияния на устойчивость откосов производится в соответствии с (5.3), а определение основных механических, физических и водных свойств - в соответствии с (2.2; 2,3).

I.5.6. Для анализа и прогноза гидрогеологических условий гидроотвалообразования и обоснования проектных решений необходимы следующие данные:

а) о типах водоносных горизонтов в основании сооружения, характере взаимодействия между ними, областях их питания и разгрузки;

б) о фильтрационных свойствах пород основания гидроотвала и дамб обвалования;

в) о сезонных колебаниях уровня грунтовых вод;

г) о характере стока на прилегающей к гидроотвалу территории;

д) о предполагаемых фильтрационных свойствах намываемых пород;

е) о величинах испарения с водной поверхности.

Эти данные в простых условиях частично могут быть получены по данным геологической разведки, в более сложных - требуют комплекса специальных исследований, по результатам которых устанавливается оптимальный режим строительства и намыва гидроотвала и намечаются мероприятия, способствующие ускорению консолидации намывных пород (дренаж основания, бурение разгрузочных скважин на напорные водоносные горизонты, образование дренажных "подушек", применение закладных дрен и т.д.) (4.3). Изучение гидрогеологических условий является важной составной частью исследований при гидроотвалообразовании и во многом определяет возмож-

ность намыва сооружения оптимальных параметров.

I.5.7. Исследования при строительстве и эксплуатации гидроотвалов имеют целью:

а) оценку соответствия условий строительства и намыва гидроотвала условиям, принятым в проекте, и оперативный контроль состава, свойств пород, технологии ведения и качества работ;

б) определение свойств пород при строительстве и эксплуатации;

в) установление соответствия фактических показателей свойств пород принятым в проекте.

Таким образом, уже с момента начала строительства исследования условий гидроотвалообразования во многом являются одновременно и контрольными исследованиями (5.2) по результатам которых может производиться корректировка технического проекта гидроотвала.

В частности, при подготовке территории для гидроотвалообразования и возведении дамб первичного обвалования при строительстве высоких и средней высоты гидроотвалов, а также гидроотвалов I и II категорий необходимы следующие виды исследований:

а) оценка качества выполнения намеченных в проекте мероприятий при строительстве;

б) установление соответствия действительных физико-механических характеристик свойств пород дамбы обвалования (плотности-влажности, объемного веса, пористости, сопротивления сдвигу, коэффициента фильтрации и т.д.) проектным;

в) изучение изменения условий строительства гидроотвала (например, гидрогеологической обстановки) и оценка влияния этих изменений;

г) установка контрольно-измерительной аппаратуры и оборудования.

Для низких гидроотвалов и гидроотвалов Ш и IУ категорий выполняются пункты а, б.

Оценка качества выполнения запроектированных мероприятий производится, главным образом, после их выполнения по результатам изучения свойств пород. Изучение свойств пород, уложенных в дамбу первичного обвалования, производится по образцам, отобранным из тела дамбы (2.2); изучение изменения плотности-влажности и порового давления в натурных условиях производится с помощью прибора НИВ-I, ГТП-I и датчиков порового давления (2.3).

I.5.8. Исследования при эксплуатации гидроотвалов направлены также на обеспечение достижения максимальной по условиям устойчивости высоты при определенном угле откоса и, в связи с этим, на проверку и корректировку (в случае необходимости) проектных решений. Некоторые виды специальных исследований могут проводиться с целью проверки теоретических положений, лежащих в основе выполненных расчетов.

К исследованиям при намыве высоких и средней высоты гидроотвалов, а также гидроотвалов I и II категорий относятся:

а) исследование строения гидроотвала и выявление поверхностей ослабления по результатам бурения инженерно-геологических скважин и определения в лабораторных условиях физико-механических свойств пород (2.2);

б) исследование сопротивления сдвигу намытых пород in situ с помощью вращательного среза (2.3);

в) изучение фракционирования пород в натурных и лабораторных условиях (I.2; 5.3);

г) изучение изменения свойств пород основания с увеличением высоты намываемого сооружения (2.2; 2.3);

д) изучение динамики порового давления в намытом массиве и в основании сооружения (2.3; 2.4);

е) изучение изменения плотности-влажности намытых пород радиометрическими методами (2.3);

ж) инструментальные наблюдения за деформациями гидроотвала на откосе и на пляже намыва (5.3);

з) оценка устойчивости гидроотвала (3.I);

и) гидрогеологические исследования и наблюдения (4.3).

Гидрогеологические исследования низких и III – IУ категорий гидроотвалов ограничиваются пунктами а, б, г, ж, з.

Гидрогеологические исследования при эксплуатации гидроотвала сводятся к определению водных свойств пород и к оперативному контролю фактических уровней по наблюдательным скважинам, расходов на участках высачивания и связанных с этим фильтрационных деформаций, определению испарения, избыточного порового давления, контролю исполнения и состояния дренажных устройств гидроотвала (4.3).

Исследования при изысканиях и проектировании, строительстве и эксплуатации гидроотвалов позволяют оперативно управлять намывом гидротехнических сооружений и обеспечивают их безопасное и эффективное возведение.

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ГИДРООТВАЛОВ И ИХ ОСНОВАНИЯ

2.I. Состав исследований

2.I.I. Основным этапом исследований инженерно-геологических условий устойчивости откосов гидроотвала является изучение физико-механических свойств слагающих его пород и пород основания гидроотвала.

2.I.2. Гидроотвалы по сравнению с другими видами отвальных сооружений обладают рядом специфических особенностей, учет которых требует разработки и применения специальной методики полевых и лабораторных определений физико-механических свойств.

Процесс формирования физико-механических свойств песчано-глинистых пород массива в значительной степени обусловливается диспергированностью исходного породного материала, пофракционным осаждением частиц грунта, взвешивающим влиянием постоянного фильтрационного потока, направленного от пруда-отстойника к откосу, и изменением положения верхней границы намываемого слоя; состав и методика исследований физико-механических свойств отвальных масс и пород основания гидроотвала во многом определяются условиями консолидации.

2.I.3. Исследования устойчивости гидроотвалов должны проводиться преимущественно в пределах упорных призм. Свойства пород промежуточной и внутренней зон следует определять сообразуясь с их влиянием на общую устойчивость сооружения (при малой длине пляжа намыва) и с последующим возможным использованием территории гидроотвала (например, для определения сроков и выбора способа рекультивации поверхности, для инженерно-геологического обоснования размещения на территории гидроотвала пород "сухих" отвалов и т.д.).

Ширину зоны детального изучения строения намывного сооружения, состава и свойств пород следует выбирать исходя из положения наиболее напряженной поверхности в откосе на момент завершения намыва гидроотвала. Ориентировочно (с некоторым запасом) ширина этой зоны может назначаться в соответствии с 4.2.3.

2.I.4. Состав исследований устойчивости откосов во многом определяется условиями формирования гидроотвалов. Устойчивость упорных призм, например, одноярусных отвалов (если дамба гидроотвала отсыпана из прочных скальных или полускальных пород на основание, представленное более слабыми, обычно суглинистыми породами) определяется механическими характеристиками пород основания, которые в таких случаях требуют более тщательного изучения. При строительстве многоярусных гидроотвалов из песчано-глинистых пород на прочном основании главное внимание следует уделять изучению намывной толщи.

Намыв гидроотвала может сопровождаться образованием ослабленных прослойков в пределах упорных призм (I.2.8); своевременное выявление таких прослойков и определение свойств слагающих их пород является необходимым условием корректировки проектных решений.

2.I.5. Среди физико-механических свойств первостепенное значение имеют показатели, определяющие сопротивление пород сдвигу при кратковременном и длительном воздействии сдвигающих напряжений - угол внутреннего трения и сцепление, с учетом таких важных факторов, как степень уплотнения, гранулометрический и минералогический составы, гидростатическое взвешивание, давление набухания и другие. Определение сопротивления сдвигу водонасыщенных пород требует обязательной количественной оценки влияния на этот показатель избыточного порового давления (2.4), возникающего в водонасыщенных глинистых слоях гидроотвала в процессе их консолидации. Обычно поровое давление проявляется в максимальной степени в глинистых отложениях пруда-отстойника, однако оно может достигать относительно высоких значений в слоях намывных пород глинистого состава в зоне пляжа, а иногда - в породах основания гидроотвала при интенсивном намыве.

Необходимость определения прочих характеристик физико-механических свойств обусловливается требованием более полного обоснования основных показателей и учета влияния на них возможных факторов инженерно-геологического, гидрогеологического и технологического характера.

2.I.6. Параметры сопротивления песчано-глинистых пород сдвигу определяются как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Основным критерием надежности получаемых в лабораторных условиях результатов является возможно более полный учет действительного или прогнозируемого напряженного состояния массива гидроотвала в точке отбора образцов пород. Преобладающее значение в определении характеристик физико-механических свойств пород должны иметь полевые методы, однако, вследствие недостаточной их разработанности, значительное место в получении достоверных характеристик сопротивления сдвигу пород гидроотвалов отводится в настоящее время лабораторным испытаниям (на одноплоскостных срезных приборах или в стабилометрах).

Вместе с тем необходимо отметить, что в ряде случаев основные расчетные характеристики могут быть определены только полевыми методами. В частности, для оценки сопротивления сдвигу пород в полевых условиях, когда отбор образцов связан с резким нарушением сложившейся структуры, необходимо применять испытания лопастными приборами типа "крыльчатки", которые рекомендуются для слабосвязных песчано-глинистых пород гидроотвалов.

2.I.7. Компрессионные свойства песчано-глинистых пород основания и массива гидроотвала исследуются для оценки, выражаемой коэффициентом сжимаемости в зависимости их пористости от прилагаемой нагрузки. Для образцов глинистых пород компрессионные испытания, при проведении которых возможны наблюдения за изменением порового давления по мере развития деформаций сжатия, дают возможность с большей точностью изучить влияние степени консолидации на величину сопротивления сдвигу или разной плотности пород в массиве или основании гидроотвала.

2.I.8. Исследования процесса консолидации и неразрывно связанного с ним изменения прочности во времени водонасыщенных песчано-глинистых пород, помимо компрессионных испытаний, требуют и определения их фильтрационных параметров.

2.I.9. Изучение физических свойств должно сводиться к определению гранулометрического и минералогического состава пород, их объемного и удельного весов, влажности, пористости и коэффициента водонасыщения. Некоторые из показателей свойств являются расчетными величинами, а другие позволяют произвести инженерно-геологическое расчленение массива или основания гидроотвала, а также осуществить необходимую корреляцию результатов прочностных испытаний пород.

2.2. Методика отбора образцов и изучения физико-механических свойств пород в лабораторных условиях

2.2.I. Условия отбора образцов пород из скважин должны соответствовать требованиям, вытекающим из методики предполагаемых лабораторных испытаний. Наиболее важным условием является максимально возможное сохранение структуры и влажности пород, что осуществляется при отборе образцов из скважин колонкового бурения с промывкой глинистым раствором. При отборе слабоуплотненных глинистых разностей рейсы проходки должны быть снижены до 0,4 - 0,5 м с минимальной подачей густого глинистого раствора (удельный вес раствора должен составлять I.I5 - I.20 г/см^3, вязкость 20 - 22 сек, коллоидальность - 94 - 96 %) (II). Для отбора особо слабых глинистых водонасыщенных пород могут применяться грунтоносы различных конструкций. При этом, задавливание рекомендуется производить со скоростью не более 2 - 3 м/мин. Расчет требуемого диаметра образцов ведется с учетом того, что периферийная зона керна структурно нарушается в процессе отбора (независимо от способа отбора). В среднем величина нарушенной зоны не превышает 2 см. Рекомендуемый диаметр образцов составляет I08 - I26 мм.

Отбор образцов песчаных разновидностей возможен и без соблюдения условия сохранения структуры, за исключением тех случаев, когда предполагается или доказано контрольным обследованием наличие в них существенной цементации.

Частота отбора образцов намывных пород и пород основания гидроотвала для лабораторных исследований определяется необходимостью получения достоверных показателей физико-механических свойств /II/. В частности, при наличии в намывной толще ослабленных слоев, мощностью до 3 м, необходимо добиваться I00 % выхода керна; при мощности слоя 3 - 5 м выход керна должен составлять не менее 50-60%. В зоне тонкого переслаивания супесчаных и суглинистых пород частота отбора должна составлять 25-30 см керна на I пог.м скважины. Особенно тщательно отбираются и изучаются намывные породы из нижней части гидроотвала, а также слабые породы основания.

Для предотвращения набухания, разуплотнения и разупрочнения глинистых образцов необходимо быстро и тщательно снять с керна слой глинистого раствора. Выбранные в качестве образцов куски керна длиной 20-25 см парафинируются с прослоями марли и кальки; одновременно с отбором производится определение влажности пород.

Отбор образцов глинистых намывных пород мягкопластичной консистенции, предохранить от деформирования которые затруднительно, необходимо производить в специальные жесткие (картонные, металлические или иные) гильзы с крышками или цилиндрические ведра соответствующего диаметра, с последующей герметизацией гильз парафинированием, гудронированием или другим способом.

2.2.2. Методика определения основных физических свойств - объемного и удельного весов, весовой влажности, пористости, степени водонасыщения, гранулометрического состава, а также минералогического и петрографического составов в настоящее время разработана достаточно полно. Все перечисленные определения производятся в лабораторных условиях / 9 /.

2.2.3. Испытания по определению сопротивления песчано-глинистых пород сдвигу в лабораторных условиях производятся на одноплоскостных двухрычажных срезных приборах (конструкции Н.Н.Маслова или института "Гидропроект") и на приборах трехосного сжатия (стабилометрах). Отличительной особенностью последних является возможность моделировать сложное напряженное состояние гидроотвальных массивов в лабораторных условиях.

Площадь среза образцов, испытываемых в серийных одноплоскостных срезных приборах, составляет 40 $см^2$. В стабилометрах отношение высоты к диаметру образца должно составлять не меньше 2. Конкретные размеры образцов зависят от модели стабилометра и определяются конструкцией рабочего узла.

2.2.4. В зависимости от намеченной методики сдвиговых испытаний образцы определенной разновидности пород подвергаются предварительной подготовке в виде уплотнения или разуплотнения. Применительно к испытаниям на одноплоскостных приборах для этой цели используются специальные уплотнители (например, конструкции института "Гидропроект"), в которых возможна одновременная обработка 12 образцов. В режимах уплотнения (нагрузками выше природной) или разуплотнения коробки с образцами заливаются водой (в

первом случае для предотвращения подсыхания, а во втором - для обеспечения нормального хода набухания (разуплотнения). Срок уплотнения под заданными нагрузками определяется в зависимости от развития деформации сжатия. Для разновидностей пород пластичной консистенции типа суглинистых паст указанный срок составляет около 10-15 дней. В течение этого времени степень уплотнения достигает величины 0,8 - 0,9, что практически достаточно для получения надежных результатов при последующих сдвиговых испытаниях. Более точное определение сроков уплотнения должно производиться по результатам предварительных контрольных компрессионных испытаний (2.2.7). При ускоренном уплотнении промежуточные ступени нагрузки (0,5 кГ/см^2 - 1,0 кГ/см^2) рекомендуется прикладывать с возможно большей частотой, не допуская выдавливания массы образца из под штампа.

2.2.5. Испытания по определению сопротивления сдвигу в лабораторных условиях должны моделировать напряженное состояние массива песчано-глинистых горных пород на разных этапах сооружения гидроотвалов. Поэтому основное требование, предъявляемое методике испытаний в каждом конкретном случае, сводится к возможно более полному приближению условий лабораторного определения к условиям работы данной разновидности породы в массиве гидроотвала. В общем случае указанное требование удовлетворяется при соблюдении соответствия по критерию плотности-влажности.

2.2.6. Большинство задач по определению сдвиговой прочности образцов решается в лабораторных условиях при помощи одной из следующих основных схем:

а) консолидированно-недренированные испытания - образцам предварительно задается определенная плотность-влажность, которая сохраняется неизменной в ходе опыта;

б) консолидированно-дренированные испытания - предварительно уплотненные образцы в ходе опыта имеют возможность дальнейшего изменения плотности-влажности в зависимости от задаваемого напряженного состояния;

в) неконсолидированно-недренированные испытания - полностью водонасыщенные образцы сохраняют исходную плотность-влажность до конца опыта.

Наиболее точно указанные схемы осуществляются при испытаниях в приборах трехосного сжатия (в стабилометрах), которые не только

обеспечивают герметизацию испытываемого образца (открытая или закрытая схема испытания), но и дают возможность замера величины развивающегося на отдельных этапах опыта порового давления. Испытания по основным схемам проводятся и на одноплоскостных приборах при помощи разной скорости приложения сдвигающих усилий. В этом случае известны схемы быстрого, нейтрального и медленного сдвигов. Величина порового давления, развивающегося при быстром и нейтральном сдвигах, входит в конечный результат испытания в неявном виде.

2.2.7. Схема консолидированно-недренированного сдвига наиболее приемлема при испытаниях намывных пород гидроотвалов и их основания в связи с тем, что она с большой степенью достоверности моделирует напряженное состояние пород с учетом некоторых факторов (например, взвешивающего влияния воды) и обеспечивает получение, при правильно выбранных величинах уплотняющих напряжений, расчетных значений сопротивления сдвигу. Сущность испытаний состоит в том, что породы предварительно уплотняются при напряжениях, равных эффективным в точке отбора образца или - с учетом роста высоты сооружения - при эффективных напряжениях на определенный момент намыва; после прекращения деформаций уплотнения (условно принято считать уплотнение завершенным при скоростях деформирования не более 0,01 мм/сутки) образец испытывается на сдвиг под нормальными напряжениями, не превышающими уплотняющих, по схеме быстрого сдвига (касательные напряжения прикладываются к образцу ступенями с интервалом времени 1 мин.; отсчет деформаций ведется каждые 30 сек.).

Результаты сдвиговых испытаний используются в расчетах устойчивости откосов (3.1) обычно без разделения сопротивления сдвигу на силы трения и сцепление из-за криволинейного,-вследствие влияния развивающегося в образце при испытаниях избыточного порового давления, - характера графика $\tau = f(\sigma)$. (2.2.10).

2.2.8. Схема консолидированно-дренированных испытаний отвечает таким условиям, при которых свойства пород и интенсивность нагружения обеспечивают полную консолидацию слоя в процессе намыва (возведение гидроотвалов из хорошо фильтрующих пород с малой скоростью намыва; наличие относительно слабопроницаемого маломощного слоя, заключенного между песчаными прослоями и т.д.).

2.2.9. Неконсолидированно-недренированные испытания необходимо применять лишь для определения сопротивления сдвигу глинистых разновидностей пород, залегающих в массиве гидроотвала в крайне неблагоприятных условиях консолидации. В таких условиях любое дополнительное нагружение определенной области глинистого массива (слоя) компенсируется соответствующим возрастанием гидростатического (порового) давления при практически неизменных плотности и влажности слоя. Отметим, что необходимость учета подобных условий при оценке устойчивости откосов возникает редко; такие условия возможны при низких фильтрационных свойствах намывных пород (например, в пределах отложений пруда-отстойника), содержащих большое количество глинистых частиц, и высокой интенсивности намыва.

В целом, выбор схемы испытаний пород на сдвиг представляет значительные трудности и определяется состоянием и условиями консолидации. Этот вопрос должен решаться по результатам натурных наблюдений за степенью уплотнения пород по показаниям датчиков порового давления в гидроотвале (2.3), а при отсутствии таких сведений - по результатам аналитического расчета степени консолидации (2.4).

Следует отметить, что наличие данных о величине порового давления в гидроотвале и о его изменении во времени позволяет расширить круг способов определения прочностных свойств водонасыщенных пород, проводя испытания на сдвиг, например, по схеме консолидированно-дренированного сдвига и учитывая поровое давление введением его в график сопротивления сдвигу при расчете (3.1) или в формулу (2.2.10).

2.2.10. По результатам испытаний строится график сопротивления сдвигу, отражающий функциональную зависимость τ от σ (рис.2.1). В общем случае эта зависимость выражается монотонной кривой с уравнением:

$$\tau = (\sigma_n - p_\omega)\, tg\, \rho + K, \qquad (1)$$

где: τ - предельное значение касательного напряжения, кГ/см^2;
σ_n - нормальное напряжение, кГ/см^2;
ρ - угол внутреннего трения, град.;
K - сцепление, кГ/см^2;
p_ω - величина порового давления на момент разрушения образца, кГ/см^2.

При испытаниях в стабилометре по результатам отдельных испытаний строят круги Мора: огибающая этих кругов также выражает приведенную зависимость.

Выполаживание кривой зависимости $\tau = f(\sigma_n)$ (вплоть до прямой, параллельной оси σ), происходит вследствие возникновения порового давления при испытаниях по закрытой системе в стабилометре и при быстром срезе в одноплоскостных приборах. Зависимость $\tau = f(\sigma_n)$ отклоняется от прямой линии, вследствие развития избыточного порового давления также в том случае, если наибольшее главное напряжение в образце превосходит по величине то напряжение $\sigma_{пр}$, при котором происходило уплотнение образца в естественных условиях или в приборах предварительного уплотнения. В одноплоскостных приборах напряжение σ'_n, соответствующее $\sigma_{пр}$, определяется формулой:

$$\sigma'_n = \frac{\sigma_{пр}\, tg\,(45°-\rho/2) - K}{tg\,\rho + tg\,(45°-\rho/2)}, \qquad (2)$$

При напряжениях меньших σ'_n условия для уплотнения в процессе среза отсутствуют, график сопротивления сдвигу прямолинеен и выражается обычным уравнением:

$$\tau = \sigma_n\, tg\,\rho + K, \qquad (3)$$

2.2.II. Применительно к этапам проектирования, строительства или последующего использования территории намытых гидроотвалов, рекомендуется следующий порядок испытания образцов песчано-глинистых пород в одноплоскостных сдвижных приборах.

В ходе проектных работ исследование сопротивления сдвигу песчено-глинистых пород основания ведется на образцах, отобранных из инженерно-геологических скважин на участке проектирования гидроотвала. Для определения сопротивления сдвигу намывных пород могут использоваться образцы из гидроотвала, намытого в сходных условиях, или из специально намываемого опытного гидроотвала.

Подлежащие испытанию образцы песчано-глинистых пород основания и массива гидроотвала подвергаются предварительному уплотнению (2.2.4) под нагрузками, отвечающими диапазону возможных нормальных напряжений, развивающихся в массиве гидроотвала на отдельных этапах его намыва и на момент завершения работ. В целях получения графиков сопротивления сдвигу для определенной плотно-

сти породы, под каждой из отдельных нагрузок одновременно уплотняется серия образцов.

Испытание серии предварительно уплотненных образцов производится в режиме быстрого сдвига. Начиная с минимальных (около 0,5 кГ/см^2), нормальные нагрузки при срезах задаются в возрастающем порядке. Максимальными считают те значения, результат сдвига при которых вызывает заметное выполаживание графика сопротивления сдвигу. Соблюдение этого условия гарантирует сохранение в ходе опыта достигнутой при предварительном уплотнении плотности-влажности. Таким образом, испытание серии одинаково уплотненных образцов в указанном интервале нормальных нагрузок обеспечивает получение прямолинейной зависимости $\tau = f(\sigma_n)$, по графику которой определяют значения параметров сопротивления сдвигу ρ° и K кГ/см^2. В итоге сдвигов предварительно уплотненных образцов при меньших значениях $\sigma_{упл}$ получают серию прямолинейных графиков сопротивления сдвигу, соответствующих заданным значениям плотности (рис.2.2).

Определение нормальных напряжений предварительного уплотнения в расчетной точке основания или массива гидроотвала производится по формуле:

$$\sigma_{упл}^{расч} = \gamma h_1 + \gamma_{взв} h_2 - p_\omega , \qquad (4)$$

где γ – объемный вес породы, т/м^3;

$\gamma_{взв}$ – объемный вес породы с учетом взвешивания, т/м^3;

h_1 – мощность породы от поверхности гидроотвала до депрессионной поверхности, м;

h_2 – мощность породы от депрессионной поверхности до расчетной точки, м;

p_ω – избыточное поровое давление, т/м^2.

Величина избыточного порового давления в пределах данной разновидности песчано-глинистой породы на разных этапах сооружения гидроотвала определяется либо на основе расчетов по результатам фильтрационных и консолидационных испытаний, либо по результатам натурных наблюдений непосредственно в изучаемом гидроотвале или в гидроотвале-аналоге (2.4).

По полученной расчетной плотности выбирают соответствующий график сопротивления сдвигу (при необходимости производят интерполирование).

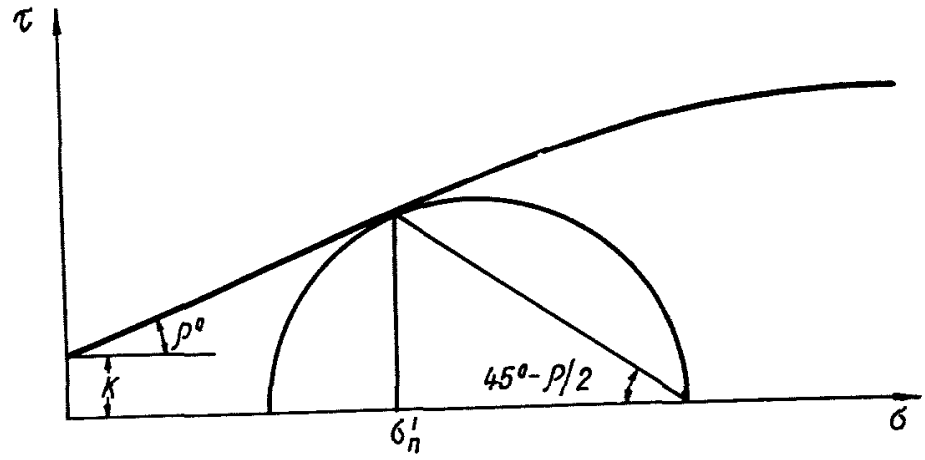


Рис. 2.I.

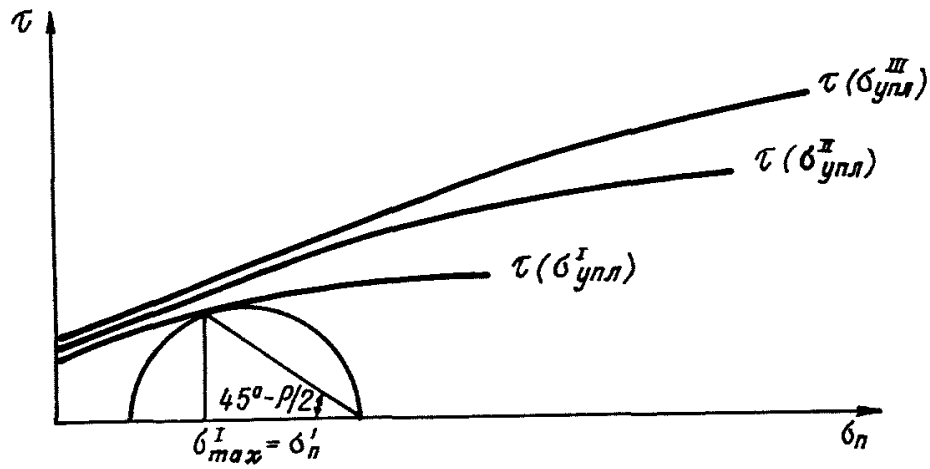


Рис. 2.2.

Необходимо отметить, что испытание образцов песчано-глинистых пород основания проектируемого гидроотвала без предварительного уплотнения недопустимо, поскольку при расчете устойчивости по полученным таким образом характеристикам φ параметры откоса вносится довольно значительный дополнительный запас, что приводит к снижению высоты или угла откоса гидроотвала.

Интервал нормальных нагрузок предварительного уплотнения образцов песчано-глинистых пород, отобранных из основания или массива гидроотвала в определенный момент его сооружения, определяется нормальными напряжениями, соответствующими проектной высоте гидроотвала. Для оценки действительных нормальных напряжений в точке отбора учитываются результаты расчета или замеров порового давления.

Испытания по данной схеме проводятся в целях проверки и, при необходимости, корректировки заложенных в проекте расчетных параметров сопротивления сдвигу.

Испытание образцов песчано-глинистых пород, отобранных из основания или массива гидроотвала по истечении некоторого срока после окончательного сооружения последнего, производится также с предварительным уплотнением под действующими в гидроотвале напряжениями. Максимальное значение нормальных нагрузок при сдвиге определяется в соответствии с нормальными напряжениями в массиве в точке отбора образцов с учетом замеров возможных величин порового давления.

2.2.12. При проектировании работ по использованию площадей намытых гидроотвалов, связанному с дополнительным их нагружением (например, при отсыпке сухих отвалов), испытания по определению сопротивления сдвигу ведутся на образцах пород гидроотвала (включая и породы основания), отобранных из специально пробуренных инженерно-геологических скважин.

Определения расчетных параметров сопротивления сдвигу исследуемых пород производятся в два этапа:

а) определение фактических параметров сопротивления сдвигу пород на момент ведения исследований осуществляется испытаниями (2.2.11) с привлечением результатов систематических замеров избыточного порового давления на разных горизонтах массива и основания гидроотвала;

б) определение расчетных параметров сопротивления сдвигу выделенных разновидностей пород применительно к диапазону плотностей, соответствующему изменению напряженного состояния массива гидроотвала при дополнительном нагружении. Испытания производятся с учетом результатов компрессионных и консолидационных исследований (2.2.I8 - 2.2.20).

2.2.I3. Приведенные выше схемы лабораторных испытаний разработаны и рекомендуются для песчано-глинистых и глинистых пород, величина сопротивления сдвигу которых находится в сложной зависимости от степени плотности-влажности и параметров консолидации этих пород во времени. Пески и сходные с ними породы, обладающие высокими фильтрационными показателями, испытываются по схеме быстрого сдвига без предварительного уплотнения образцов.

2.2.I4. Методика и приборное лабораторное оснащение фильтрационных испытаний глинистых пород (полностью или частично водонасыщенных) должны обеспечивать определение коэффициентов фильтрации этих пород при разных значениях плотности, отличных от исходных, а также начальных градиентов напора, соответствующих выбранным плотностям.

2.2.I5. Приборы, предназначенные для проведения фильтрационных испытаний, должны обеспечивать:

а) возможность изменения плотности испытуемого образца посредством компрессии или декомпрессии;

б) плотное прилегание образца породы к стенкам кольца прибора;

в) полную герметичность соединений;

г) возможность исключения из наблюдений в ходе фильтрационных испытаний расходов воды по периферийной части образца, способствующих увеличению погрешности испытаний ;

д) возможность создания и надежного поддержания градиентов напора;

е) возможность проведения испытаний при разной величине гидростатического давления в приборе.

Этим условиям частично соответствуют известные компрессионно-фильтрационные приборы типа Ф-IМ, ПВ-2, конструкции институ-

та Гидропроект, МИСИ, Тер-Степаняна. Кроме этого, следует отметить и компрессионно-фильтрационные приборы ВНИИМИ для испытания образцов естественного и нарушенного сложений при разных гидростатических давлениях. Фильтрационные испытания могут также успешно проводиться в стабилометрах.

2.2.16. Конечные результаты компрессионно-фильтрационных испытаний в значительной мере зависят от состава фильтрующейся воды. Обычно используется дистиллированная вода с предварительной дегазацией. Газосодержание воды изменяется с изменением температуры, и, в связи с этим, испытания следует проводить при постоянной температуре, или приводить полученные результаты к какой-либо предварительно выбранной ее величине.

2.2.17. Испытания по лабораторному определению фильтрационных свойств песчано-глинистых пород основания и массива гидроотвалов в зависимости от поставленных задач могут быть выполнены по следующим схемам:

1. Определение коэффициента фильтрации и начального градиента при исходном (естественном или существующем на данном этапе сооружения гидроотвала) значении степени водонасыщения;

а) при естественной плотности;

б) для предварительно заданного интервала плотностей.

2. Определение коэффициента фильтрации и начального градиента в заданном интервале значений степени водонасыщения:

а) при естественной плотности;

б) для предварительно заданного интервала плотностей.

3. Определение коэффициента фильтрации и начального градиента для заданного интервала плотностей при полном водонасыщении.

2.2.18. В общем случае фильтрационным испытаниям предшествует компрессия испытуемого образца до достижения заданной плотности. Предварительно рассчитывается степень водонасыщения или производится насыщение до определенной величины. Контроль над степенью водонасыщения осуществляется проще, если прибор оснащен системой изменения гидростатического давления. Затем производят замеры скоростей фильтрации при разных напорных градиентах. Для получения устойчивых и достоверных значений замеров рекомендуется фильтрацию производить в направлении от боль-

ших градиентов к меньшим. После этого переходят к следующему компрессионно-фильтрационному циклу.

2.2.19. По результатам фильтрационных определений при нескольких ступенях уплотнения образца, получают зависимости изменения коэффициента k и начального градиента фильтрации J от степени плотности испытуемой разновидности глины в виде $J = f(\sigma_{упл})$ и $k = f(\sigma_{упл})$ (рис.2.3) или $k = f(\varepsilon_n)$ и $J = f(\varepsilon_n)$. Применение схемы испытаний при разных по величине степенях водонасыщения образца, дает возможность выявить функциональную связь между коэффициентом фильтрации k, градиентом напора J, уплотняющим напряжением $\sigma_{упл}$ или коэффициентом пористости ε_n и степенью водонасыщения G.

2.2.20. Определение компрессионных свойств или сжимаемости песчано-глинистых пород ведется на стандартных компрессионных приборах (одометрах). Образцы глинистых отвальных пород подвергаются сжатию ступенями до нагрузок, соответствующих, в общем случае, проектной высоте гидроотвала. Отдельные ступени нагрузок прикладываются по достижении скорости деформации сжатия от предыдущей ступени, не превышающей 0,002 - 0,003 мм/сут. По результатам наблюдений за ходом компрессии определяется коэффициент сжимаемости a_n и зависимость последнего от степени уплотнения $a_n = f(\sigma_n)$ (рис.2.4). С привлечением значений коэффициента фильтрации производится расчет коэффициента консолидации как функции от пористости, соответствующей разным величинам уплотняющей нагрузки:

$$C_v = \frac{k(1+\varepsilon_n)}{\gamma_0 a_n}, \qquad (5)$$

где C_v - коэффициент консолидации, $м^2$/сутки;
k - коэффициент фильтрации, м/сутки;
γ_0 - объемный вес воды, $т/м^3$;
ε_n - коэффициент пористости;
a_n - коэффициент сжимаемости, $м^2/т$.

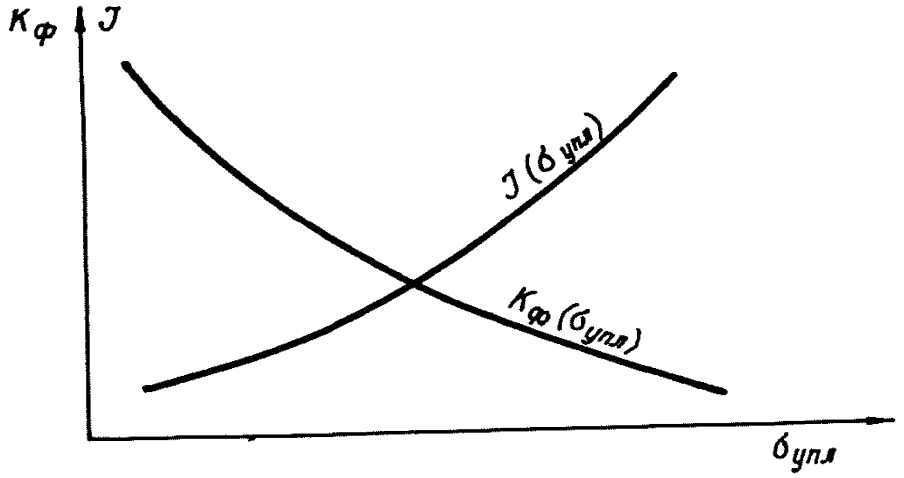

$K_ф$
J
J (σ уля)
$K_ф$ (σ уля)
σ уля

Рис. 2.3.

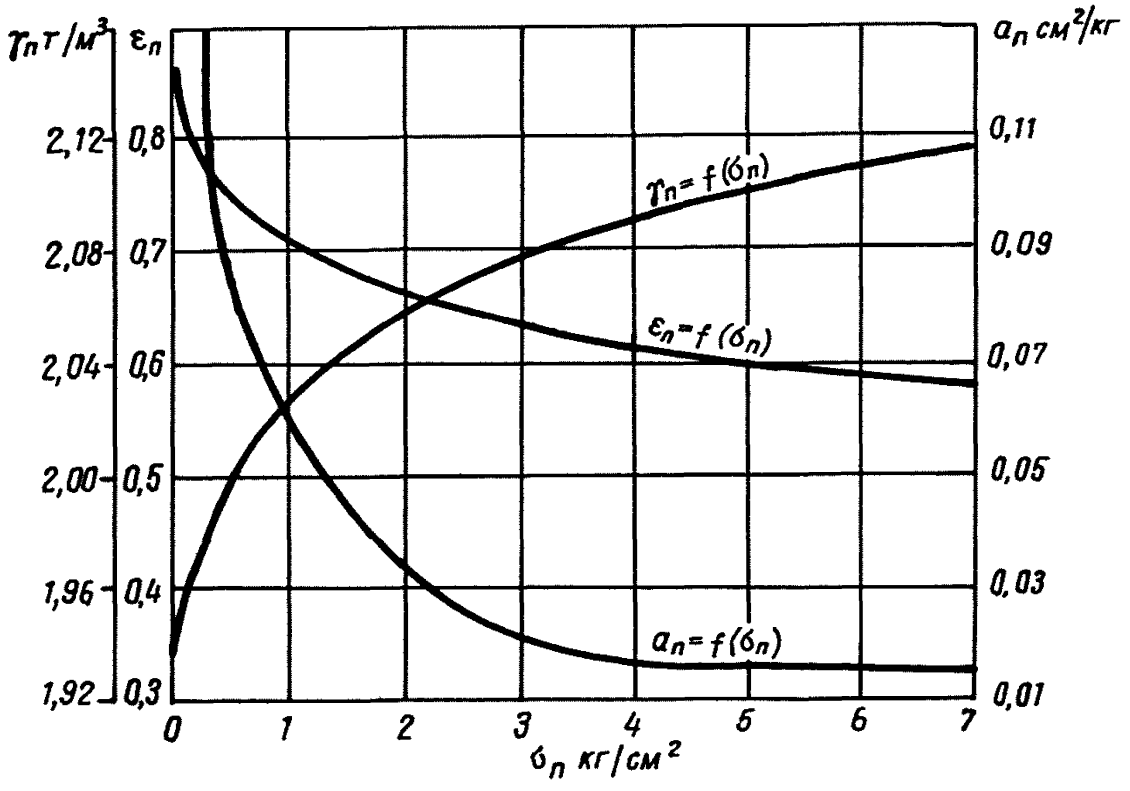

$\gamma_п$ т/м³
$\varepsilon_п$
$a_п$ см²/кг
2,12
2,08
2,04
2,00
1,96
1,92
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,11
0,09
0,07
0,05
0,03
0,01
$\gamma_п = f(\sigma_п)$
$\varepsilon_п = f(\sigma_п)$
$a_п = f(\sigma_п)$
0
1
2
3
4
5
6
7
$\sigma_п$ кг/см²

Рис. 2.4.

2.3. Методика полевых определений физико-механических свойств пород основания и массива гидроотвалов

2.3.1. Для изучения физико-механических свойств песчано-глинистых пород гидроотвалов и их основания разработаны и успешно применяются полевые (натурные) методы испытаний. Дополняя круг лабораторных испытаний, они обладают и рядом преимуществ. Определение тех или иных свойств непосредственно в массиве позволяет учесть всю совокупность влияющих на сопротивление сдвигу факторов. Целенаправленное сочетание лабораторных и полевых методов содействует максимально эффективному исследованию физико-механических свойств пород.

2.3.2. Определения объемного веса и объемной влажности пород непосредственно в массиве гидроотвалов необходимо проводить при помощи каротажа скважин серийными радиоизотопными плотномерами и влагомерами типа ГГП-I и НИВ-I. В настоящее время этот метод является наиболее перспективным и имеет ряд существенных преимуществ (большая точность, оперативность, сохранение сложившейся структуры пород) по сравнению с соответствующими лабораторными методами. Особенно важно то обстоятельство, что указанные приборы дают возможность организовать систематические наблюдения за изменением плотности и влажности массива гидроотвала и пород основания в процессе консолидации. В таком качестве эти определения должны стать частью контрольных геотехнических наблюдений в ходе сооружения и последующего использования (нагружение "сухими" отвалами, рекультивация) гидроотвалов.

2.3.3. Сопротивление сдвигу песчано-глинистых пород нарушенного сложения рекомендуется определять на полевом одноплоскостном сдвижном приборе конструкции ВНИМИ с площадью сдвига 550см^2. Нормальные и касательные усилия на плоскость сдвига создаются винтовыми прессами через динамометры типа ДС. Порядок проведения испытаний тот же, что и на одноплоскостных сдвижных приборах в лабораторных условиях / 7 /.

По сравнению с результатами испытаний на сдвиг в одноплоскостных срезных приборах конструкции Маслова-Лурье или Гидропроекта применение полевого срезного прибора конструкции ВНИМИ

позволяет уменьшить погрешность опыта, которая имеет место вследствие оттока в процессе среза поровой воды, и, в связи с этим, дополнительного уплотнения и упрочнения образца.

2.3.4. При исследовании сопротивления сдвигу слабо уплотненных водонасыщенных глинистых пород, отбор образцов ненарушенного сложения которых затруднен или невозможен, следует применять лопастной пенетрометр-крыльчатку. Размеры обычно применяемой четырехлопастной крыльчатки составляют: диаметр - 90 мм, высота - 180 мм при соблюдении отношения диаметра и высоте 1:2. Собственно крыльчатка соединяется с колонной штанг посредством переходника. Рекомендуемое устройство для передачи вращательного момента крыльчатке и его замера отличается простотой конструктивного решения и состоит из шарнирного хомута, двух рычагов (жестко закрепленного и подвижного) и динамометра, работающего на растяжение (рис.2.5).

Испытания с целью установления корреляционной зависимости между результатами испытаний на сдвиг в полевых (2.3.3) и лабораторных условиях - с одной стороны, и сопротивлением вращательному срезу - с другой, проводятся (2.2.11) в двух скважинах, расположенных в непосредственной близости (1,0-2,0 м) друг от друга. Определение сопротивления сдвигу и отбор образцов для лабораторных испытаний производятся по взаимно перекрывающимся интервалам. Выполнение этого методического условия существенно при сравнении полевых и лабораторных результатов изучения сопротивления сдвигу. / 8 /

Измерение величины сопротивления пород вращательному срезу производится следующим образом. Привинченная к колонне штанг крыльчатка задавливается на глубину 0,5 - 0,7 м ниже забоя скважины с тем, чтобы условия работы обоих торцов крыльчатки были примерно одинаковыми. При помощи указанного выше устройства крыльчатка проворачивается с одновременной фиксацией по динамометру усилий вращения. После достижения максимального значения величины сопротивления пород вращательному срезу, крыльчатка проворачивается еще на 1-2 оборота для определения величины устойчивого сопротивления. В дальнейшем крыльчатка заглубляется еще на 0,5 м, и испытание повторяется. Число отдельных испытаний без подъема снаряда зависит от плотности испытуемых пород и может достигать 5-7. Ввиду того, что часть усилий враще-

ния затрачивается на преодоление трения штанг о стенки скважины, необходимо оценивать это усилие в зависимости от заглубления крыльчатки с последующим внесением поправки в результаты испытаний.

Обработка результатов испытаний производится по формуле:

$$\tau = \frac{M}{B}, \qquad (6)$$

где τ - тангенциальное напряжение, кГ/см^2;

M - вращательный момент, кг·см;

B - постоянная крыльчатки:

$$B = \frac{\pi d^2}{2}\left(h + \frac{d}{3}\right); \qquad (7)$$

где d - диаметр описываемого лопастями крыльчатки цилиндра, см;

h - высота лопастей, см.

Нормальные напряжения по поверхности вращательного среза определяются нагрузкой от веса вышележащих пород с учетом гидростатического взвешивания.

Достоинством полевых испытаний методом вращательного среза является возможность массового опробования пород намывной толщи и основания гидроотвала. Для установления корреляционной зависимости между лабораторными испытаниями на сдвиг и результатами вращательного среза, которая, как показывает практика исследований, определяется довольно просто / 8 /, обычно достаточно 2-3 спаренных скважин (приложение 4).

2.3.5. Особо важное значение имеют измерения порового давления глинистых пород в массиве и основании гидроотвалов. Результаты этих натурных наблюдений существенно повышают эффективность исследований и расчетов, связанных с определением влияния порового давления на процесс консолидации массива и основания гидроотвала, на формирование их прочностных свойств; исследованию и постоянному контролю подлежит и сам процесс возникновения и развития порового давления во времени и в условиях меняющегося напряженного состояния массива гидроотвала. В конечном итоге, измеренные величины порового давления способствуют определению обоснованного коэффициента запаса устойчивости откосов гидроотвала.

Используемые для замера порового давления в натурных условиях приборы должны обеспечивать высокую точность показаний, иметь простую и надежную конструкцию, малый объем приемной камеры и выдерживать длительную (измеряемую годами) эксплуатацию.

Надежными по конструктивным и эксплуатационным показателям являются пьезодинамометры конструкции ВНИИГ им.Веденеева, Гидропроекта и ВНИМИ (называемые также датчиками порового давления), использующие струнный принцип замера деформаций мембран.

Пьезодинамометры могут и должны применяться как для эпизодических обследований состояния глинистых пород в массиве гидроотвалов, так и для создания стационарных сетей контроля порового давления в процессе консолидации намывных пород. В первом варианте применения замеры осуществляются зондированием (собственно зондированием с поверхности гидроотвала или по ходу бурения инженерно-геологических скважин), а во втором - закладкой пьезодинамометров в специально пробуренные скважины или размещением их на пляже намыва и в отложениях пруда-отстойника. При закладке пьезодинамометров в скважины особо высокие требования предъявляются к тампонажным работам, направленным на максимально возможное сохранение исходного гидравлического режима зоны заложения датчика. При разовых испытаниях заслуживает внимания совместное использование (соединение в единый снаряд) пьезодинамометров с лопастными пенетрометрами-крыльчатками, позволяющее определять величину эффективных напряжений в зоне производства вращательного среза.

Для стационарных наблюдений необходимо использовать плоские пьезодинамометры конструкции ВНИМИ или Гидропроекта для диапазонов давлений до 2, 3, 5 и 10 кг/см^2; точность измерения пьезодинамометров изготавливаемых во ВНИМИ, например, составляет 0,01 - 0,04 кг/см^2. В остальных случаях целесообразно применение штанговых пьезодинамометров цилиндрической формы, способствующей легкому их извлечению после производства зондирования. Относительно частое изменение нагрузок на корпус штангового пьезодинамометра при зондировании может привести к некоторому смещению его тарировочных характеристик. Поэтому следует тщательно следить за положением места нуля пьезодинамометра и при

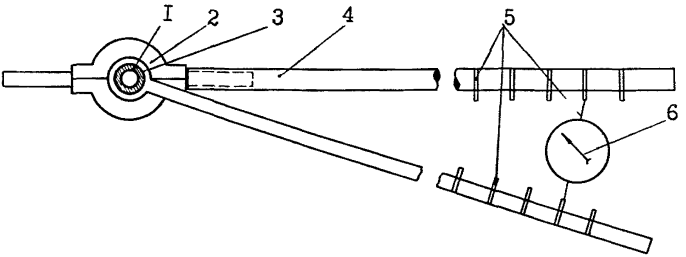


Рис. 2.5. Схема приспособлений для измерения усилия при

I -буровая штанга, 2 -шарнирный хомут, 3 -подвижный рычаг (свободно надетый на буровую штангу), 4 -неподвижный рычаг (надетый на шарнирный хомут), 5 -проушины, 6 -динамометр на растяжение.

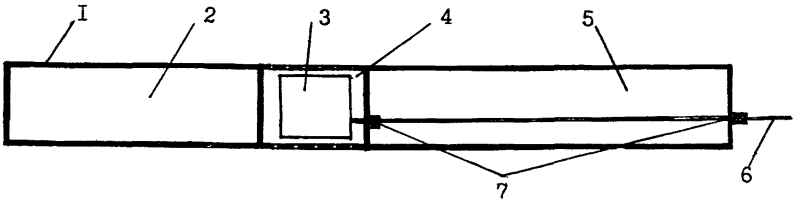


Рис. 2.6. Схема установки датчика порового давления

I -труба, 2,5 -герметически закрытые отсеки трубы, 3 -датчик порового давления, 4 -перфорированный отсек трубы, 6 -кабель, 7 -уплотнение для герметизации ввода кабеля

необходимости проводить повторную тарировку. Для этих целей желательно иметь специально изготовленную тарировочную камеру, рассчитанную на необходимый предел давления. В условиях производства работ на гидроотвалах целесообразно использовать в качестве тарировочного устройства заполненную водой инженерно-геологическую скважину соответствующей глубины, что обеспечивает высокоточную и быструю тарировку как штанговых, так и плоских пьезодинамометров.

2.3.6. Для определения избыточного порового давления необходимо иметь, помимо датчика в определенном слое грунта, наблюдательные скважины, пробуренные на соседние водоносные слои. Величина избыточного порового давления находится как разность напоров по датчику и скважинам относительно отметки заложения датчика.

Датчики порового давления могут устанавливаться непосредственно при намыве или в специально пробуренные для этой цели скважины. В последнем случае необходимо обеспечить герметизацию скважины в месте заложения датчика. Лучшие результаты достигаются при размещении датчика внутри трубы, длиной, равной мощности слоя, в котором измеряется поровое давление. Труба состоит из трех секций: две крайние - герметически закрыты (заварены); центральная секция, в которой помещается датчик, имеет перфорацию для обеспечения доступа воды к датчику (рис.2.6).

2.3.7 Ряд датчиков порового давления, заложенных на наиболее ответственных участках в основании и теле гидроотвала, обеспечивает возможность постоянного оперативного контроля величины избыточного порового давления и, следовательно, коэффициента запаса устойчивости на любой момент времени. Датчики порового давления должны входить составной частью в общую систему контроля за устойчивостью гидроотвала (5.I; 5.2).

2.4. Консолидация намывных пород и пород основания гидроотвала. Способы определения избыточного порового давления

2.4.I. В соответствии с задачами и составом исследований и контроля устойчивости откосов при проектировании, строительстве и эксплуатации гидроотвалов (I.5), необходимо изучать и кон-

тролировать уплотнение водонасыщенных породных масс во времени. Показателем соответствия степени консолидации намытых пород приложенной нагрузке служит величина избыточного (по сравнению с гидростатическим) порового давления, развивающегося в процессе консолидации. Избыточное поровое давление, величина которого определяется на любой момент намыва гидроотвала расчетным путем, либо натурными измерениями порового давления непосредственно в гидроотвале или его основании и зависит от фильтрационных свойств намытых пород и интенсивности намыва гидроотвала, существенно снижает силы, удерживающие откос гидроотвала в равновесии за счет уменьшения нормальной составляющей веса пород, и должно учитываться при расчете устойчивости откосов.

2.4.2. Аналитический расчет величины избыточного порового давления, учитывая особенности строения гидроотвала (относительно малая высота по сравнению с его размерами в плане), необходимо производить с помощью имеющихся решений одномерной задачи уплотнения аналогично расчетам намывных гидротехнических сооружений распластанного профиля. Очевидно, что в приоткосной зоне гидроотвала действительная величина порового давления будет ниже расчетной, вследствие возможности фильтрации воды в сторону откоса гидроотвала, а фактический коэффициент запаса устойчивости откоса в связи с этим будет несколько превышать расчетный.

2.4.3. Особенностью рассматриваемой задачи является постоянное изменение в процессе намыва верхней границы слоя, вследствие чего изменяется как напряжение в рассматриваемой точке, так и длина пути фильтрации. Кроме того, для гидроотвалов характерна сезонность работ, что требует рассмотрения двух фаз намыва гидроотвала - собственно намыва (летний период) и так называемого "отдыха" слоя (зимний период), в течение которого происходит уплотнение намытого слоя лишь под действием собственного веса пород при фиксированном положении верхней границы слоя.

Определение порового давления обычно производится раздельно для каждой из фаз намыва. Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться решением для случая собственно намыва. Прираще-

ние высоты гидроотвала за сезон намыва распределяется в этом случае равномерно на весь год.

2.4.4. Уравнение одномерной консолидации грунта, содержащего в порах воду и воздух[x], имеет вид

$$\omega \frac{\partial p_\omega}{\partial t} - f(t) = C_v \frac{\partial^2 p_\omega}{\partial z^2}, \qquad (8)$$

где p_ω – поровое давление;

t – время;

C_v – коэффициент консолидации;

z – координата рассматриваемой точки;

$f(t)$ – функция времени, имеющая размерность давления, отнесенного ко времени;

ω – коэффициент, с помощью которого учитывается влияние защемленного воздуха.

Функция $f(t)$ для случая увеличивающегося по толщине слоя имеет вид

$$f(t) = \gamma v(t) = \gamma \frac{\partial z_{гр}}{\partial t}, \qquad (9)$$

где $v(t)$ – скорость увеличения толщины слоя во времени;

$z_{гр}$ – координата движущейся границы слоя грунта в момент времени t, причем

$$z_{гр} = \int_0^t v(t)\,dt; \qquad (10)$$

γ – объемный вес грунта.

Наличие в поровой воде растворенного или защемленного воздуха значительно снижает поровое давление. Однако, для упрощения расчетов целесообразно пренебречь этим влиянием; в расчетный коэффициент запаса устойчивости откоса вносится, таким образом, некоторый дополнительный запас.

2.4.5. Аналитический расчет степени консолидации и величины избыточного порового давления в намывных породах и породах основания гидроотвала с учетом постоянно смещающейся верхней границы слоя можно производить способами, изложенными в работах /2, 3, 10, 18, 19/; все эти способы дают близкие друг другу результаты.

---

x) Предполагается, что вода в грунте гидравлически непрерывна.

Наиболее просто избыточное поровое давление рекомендуется определять с помощью специальных графиков, составленных по результатам расчетов на ЭВМ с учетом различных начальных и граничных условий и различных значений величин, входящих в расчетные формулы. / 2, 3 /.

Избыточное поровое давление p_ω в постоянно растущем по мощности слое определяется по формулам:

$$\frac{p_\omega}{\gamma h} = \frac{(1-k)\left[2\left(1-e^{-\frac{k\mu}{2}}\right)+\mu\right]}{2+\mu} \qquad (11)$$

при размещении слоя на водоупоре, и

$$\frac{p_\omega}{\gamma h} = (1-k)\left(1-e^{-\frac{k\mu}{2}}\right) \qquad (12)$$

при размещении уплотняющегося слоя на дренирующих породах,

где p_ω – избыточное поровое давление;

γ – объемный вес намывных пород;

h – мощность слоя;

$k = \frac{z}{h}$ – относительная координата точки в слое; (13)

$\mu = \frac{v_n^2 t}{c_v}$; v_n – скорость намыва слоя; (14)

t – продолжительность намыва;

c_v – коэффициент консолидации.

Величина избыточного порового давления в зависимости от различных значений k, μ и k_1, m может быть определена с помощью соответствующих графиков (рис.2.7; 2,8).

Расчет производится следующим образом.

По известным средним показателям свойств пород (k, ε_n, a_n) вычисляется коэффициент консолидации по формуле (5), а по формулам (14) и (13) – величины k и μ. С помощью графика (рис.2.7) по найденным $k_1 \mu$ определяется функция $F_1(k_1\mu) = \frac{p_\omega}{\gamma h}$, откуда находится избыточное поровое давление $p_\omega = \gamma h F_1(k_1 \mu)$

В том случае, если постепенно возрастающей нагрузкой уплотняется слой определенной мощности (например, ранее намытый слой с низкими фильтрационными и прочностными характеристиками, или слой слабых пород в основании гидроотвала), выражение для определения величины избыточного порового давления имеет вид:

$$\frac{p_\omega}{q} = \frac{p_\omega}{v_n t_3} = \frac{4}{\pi \mu_1 t_3} \sum_{n=1,3,5\ldots}^{\infty} \sin \frac{n\pi z}{2d}\left(1-e^{-n^2\mu_1 t_3}\right); \qquad (15)$$

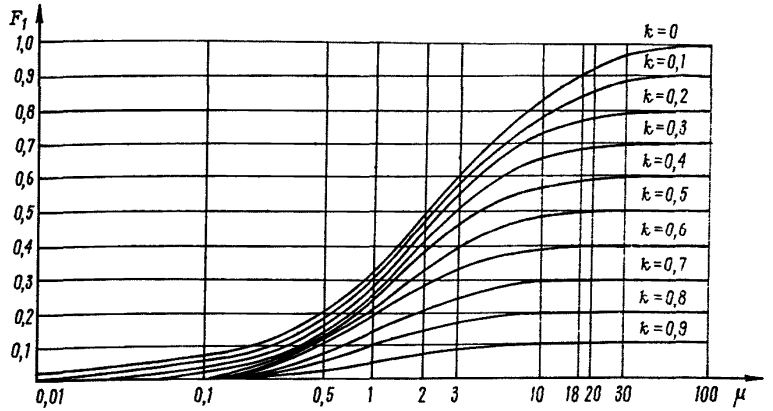


Рис.2.7. График функции $F_1(k_1\mu)=\frac{p_\omega}{\gamma h}$ для определения избыточного порового давления при уплотнении слоя возрастающей мощности.

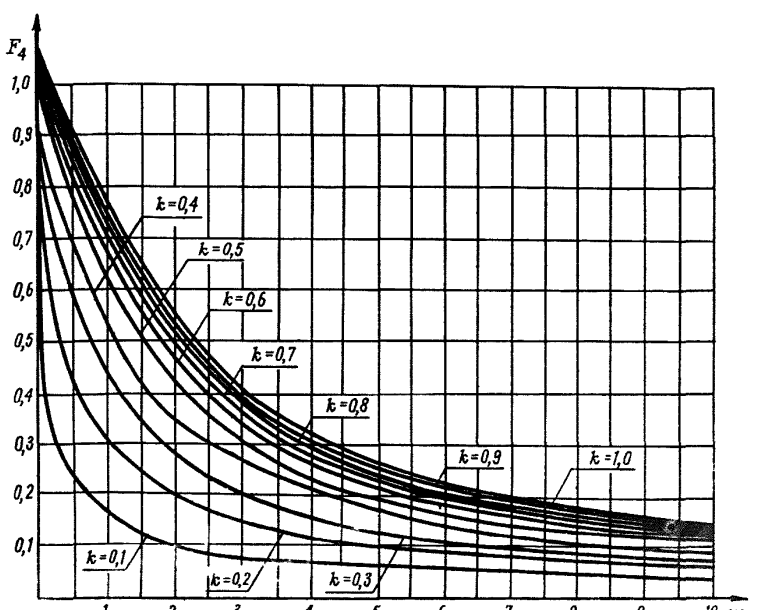


Рис.2.8. График функции $F_4(k_1,m)=\frac{p_\omega}{q}$ для определения избыточного порового давления при уплотнении слоя определенной мощности под действием постепенно возрастающей нагрузки.

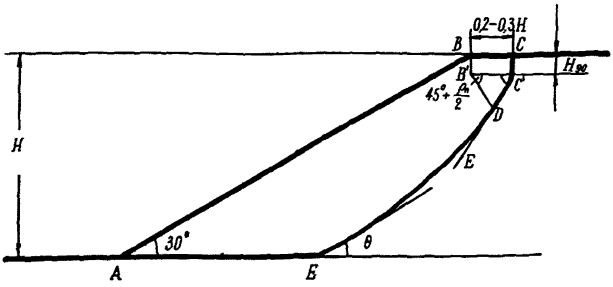


Рис. 3.I. Ориентировочное построение наиболее напряженной поверхности в откосе со слабым контактом в основании.

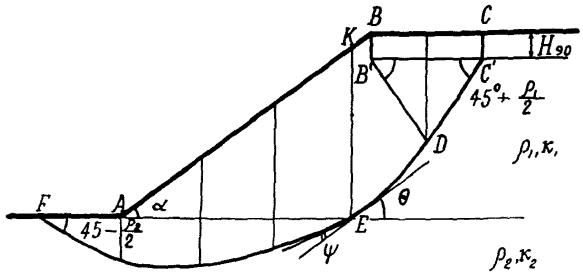


Рис. 3.2. Форма поверхности скольжения в откосе, находящемся в предельном равновесии, со слабым пластичным слоем в основании.

где $\mu_1 = \frac{\pi^2 C_v}{4 d^2}$; z – расстояние рассматриваемой точки от поверхности дренирования; d – максимальная длина пути фильтрации в слое ($d = h$ и $d = \frac{h}{2}$ соответственно при одностороннем и двустороннем дренировании слоя); t_3 – время возрастания нагрузки / 2, 3 /.

Для определения p_ω вычисляют C_v, μ_1, $m = \mu_1 \cdot t_3$ и $k_1 = \frac{d - z}{d}$; по графику (2.8) по известным m и k_1, определяют значение функции $F_4(k_1, m) = \frac{p_\omega}{q}$, откуда

$p_\omega = F_4(k_1, m) \cdot q$, где q – внешняя нагрузка.

2.4.6. Перечисленные решения уравнения консолидации позволяют путем несложных расчетов приближенно определить величину избыточного порового давления на любой момент времени намыва. Существенным недостатком этих решений является использование в расчетах средних величин коэффициента сжимаемости грунта (a), коэффициента фильтрации (k) и пористости (ε_n) для всего интервала напряжений, действующих в процессе намыва в расчетной точке. Учет переменности упомянутых коэффициентов существенно осложняет аналитическое решение уравнений консолидации.

2.4.7. Более точное решение одномерной задачи консолидации, с учетом скорости намыва и переменности параметров a, k, ε может быть получено применением электромоделирования процесса фильтрационной консолидации.

Моделируется дифференциальное уравнение для слоя, намываемого на практически непроницаемое основание / I8 /:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{v_{взв}}{\gamma} \cdot \frac{\partial h(t)}{\partial t} + C_v \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} , \qquad (I6)$$

где H – избыточное, по сравнению с гидростатическим, давление в воде (поровое давление);

t – продолжительность намыва;

γ – объемный вес грунта;

$\frac{\partial h(t)}{\partial t} = v$ – скорость увеличения толщины намываемого слоя;

h – мощность слоя;

z – ординаты точек массива

C_v – коэффициент консолидации;

$\varepsilon_n = f(t, v)$ – коэффициент пористости;

$a = f(t,\upsilon)$ – коэффициент сжимаемости;

$k_\varphi = f(t,\upsilon)$ – коэффициент фильтрации намываемого грунта.

Это уравнение в конечно-разностной форме имеет вид:

$$\frac{\Delta H}{\Delta t}\,\frac{a(\sigma_i)\,\Delta z\,\gamma}{[1+\varepsilon(\sigma_i)]\,k_\varphi(\sigma_i)} = \frac{\gamma_{взв}(\sigma_i)\,a(\sigma_i)\,\Delta z\,\upsilon}{[1+\varepsilon(\sigma_i)]\,k_\varphi(\sigma_i)} + \sum_{i=1}^{i=2}\frac{\Delta H_{i_1 t}}{\Delta z}, \quad (17)$$

где ΔH_i – разность напоров в расчетной точке и соседних с ней в момент времени t; $\Delta H = H_{i_1 t} - H_{i_1 t-\Delta t}$ – разность напоров в расчетной точке в моменты времени t и $t-\Delta t$;

Δt – шаг по времени; Δz – расстояние между расчетными точками.

$$\sigma_i = \gamma_{взв}(h-z) - \gamma H t-\Delta t; \quad \gamma_{взв} = (\delta - \delta_0)(1-n)$$

σ_i – эффективная нагрузка, определяемая весом вышележащих пород; δ – удельный вес грунта; δ_0 – удельный вес воды; n – пористость.

2.4.8. Уравнение (16) моделируется по схеме Либманна на цепочке сопротивлений R_z с временными сопротивлениями R_t подключенными в каждой узловой точке, в которые, кроме того, подается сила тока J. По мере увеличения мощности намываемого слоя модель наращивается новыми элементами R_z и R_t. Величина порового давления определяется на ряд последовательных моментов времени, отличных друг от друга на величину шага по времени Δt, в расчетных точках массива, расстояние между которыми равно Δz.

Величина сопротивлений назначается из соотношений:

$$R_t = \frac{\Delta t\,[1+\varepsilon(\sigma_i)]\,k_\varphi(\sigma_i)}{m_\varphi\,a(\sigma_i)\,\Delta z\,\gamma}; \quad (18)$$

$$J = \frac{m_\varphi\,\upsilon_{взв}(\sigma_i)\,a(\sigma_i)\,\Delta z\,\upsilon}{m_H\,[1+\varepsilon(\sigma_i)]\,k_\varphi(\sigma_i)}\,(V_{max} - V_{min}), \quad (19)$$

где m_φ – произвольно назначенный масштаб сопротивлений

$m_H = \frac{H_{max} - H_{min}}{U_{max} - U_{min}}$ – масштаб напоров; H_{max}, H_{min} – максимальные и минимальные величины избыточного порового давления,

соответствующие максимальной и минимальной величинам электрического потенциала на модели (U_{max} и U_{min}), которые отвечают максимальной (V_{max}) и минимальной (V_{min}) величине напряжения.

Моделирование производится с переменными от шага к шагу параметрами модели R_z , R_i , J . При решении задачи на каждый расчетный шаг по времени параметры массива $k_\phi(\sigma_i)$, $\varepsilon(\sigma_i)$, $a(\sigma_i)$ и $\gamma_{взв}$ определяются по соответствующим графикам испытаний, исходя из значений давления вышележащего грунта (т.е. эффективной нагрузки) в расчетных точках массива на предыдущий шаг по времени. В качестве основного источника питания модели может быть использован интегратор типа ЭГДА-9/60.

2.4.9. Анализ результатов моделирования и расчетов при конкретных характеристиках гидроотвала комбината "КМАруда" показывает, что усреднение k_ϕ , a и ε дает значительную погрешность, особенно в первые годы намыва (до 15 % - 20 %). Решение, изложенное в / 19 / , довольно хорошо совпадает с данными моделирования, начиная лишь с 3 года существования гидроотвала. В других условиях (при других физико-механических и фильтрационных свойствах грунтов и иных скоростях намыва) расхождения в результатах решения с учетом и без учета нелинейности уравнения (16) могут быть существенно большими. Электромоделирование, таким образом, позволяет более полно учесть условия уплотнения намывных пород и, следовательно, с большей степенью достоверности определить величину избыточного порового давления.

3. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРООТВАЛА

3.1. Расчетные схемы и порядок расчета устойчивости гидроотвала

3.1.1. Расчеты устойчивости откосов гидроотвалов рекомендуется проводить методом алгебраического суммирования сил по наиболее напряженной криволинейной поверхности / 12 /. Предпочтение указанному методу отдано ввиду относительной простоты расчета, высокой точности и возможности учесть все многообразие конкретной горно-геологической обстановки (наличие поверхностей ослабления, гидростатических и гидродинамических сил, избыточного порового давления и т.д.)

3.1.2. Величина коэффициента запаса утойчивости при расчете выбирается, исходя из ответственности сооружения и его высоты. Для гидроотвалов малой и средней высоты величина коэффициента запаса должна составлять не менее 1,2; для высоких гидроотвалов, а также для гидроотвалов I и II категорий - 1,3.

3.1.3. Положение наиболее напряженной поверхности в откосе, по которой производится суммирование сил сдвигающих и удерживающих откос в равновесии, определяется следующими условиями:

а) в верхней части гидроотвала эта поверхность проходит под углом 45+ /2 к линии горизонта;

б) в нижней части гидроотвала наиболее напряженная поверхность составляет с поверхностью откоса угол 45- $\rho/2$.

По этим условиям строится ряд плавных криволинейных поверхностей, из которых выбирается наиболее напряженная.

При наличии в нижней части гидроотвала ослабленного слоя (контакта), наиболее напряженная поверхность проходит по этому слою; на границе с ослабленным слоем наиболее напряженная поверхность имеет излом, составляя с поверхностью слоя угол θ

$$\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}\left(\rho_n - \rho_n'\right) - \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{\sin\rho_n'}{\sin\rho_n}\right), \qquad (20)$$

где ρ_n - угол внутреннего трения пород гидроотвала, измененный на величину коэффициента запаса, град.; ρ_n' - то же для слабого слоя (контакта), (рис.3.1; 3.2).

в) при размещении гидроотвала на породах основания, сопротивление сдвигу которых ниже сопротивления сдвигу намывных пород, наиболее напряженная поверхность в нижней части гидроотвала проходит по породам основания и выходит в подошву откоса под углом 45- $\rho/2$ на некотором расстоянии от нижней бровки; на границе со слабым слоем наиболее напряженная поверхность также претерпевает излом, составляя с поверхностью слабого слоя углы θ (в теле гидроотвала) и Ψ (в породах основания) (рис.3.2; 3.4), которые могут быть определены по формулам (20) и (2I);

$$\Psi = \frac{\rho_1 - \rho_2}{2} \qquad (2I),$$

где ρ_1 - угол внутреннего трения пород гидроотвала;

ρ_2 - угол внутреннего трения пород слабого слоя.

В этом случае призма активного давления проявляется менее четко, так как на границе с пластичным слоем излом поверхности скольжения более плавный, чем при наличии тонкого слоя (слабого контакта), вследствие чего создаются более благоприятные условия для вращения всей призмы обрушения, включая и слабый слой (рис.3.2).

3.I.4. Поверочный расчет устойчивости откоса производится в следующем порядке: /I2 /

а) в серединах оснований столбиков, на которые разбивается призма, примыкающая к откосу и ограниченная расчетной поверхностью, определяются касательные τ_c и нормальные σ_n напряжения по формулам:

$$\sigma_n = h_i \cdot \gamma \cdot \cos^2 \varphi_i \,, \qquad \tau_c = \frac{1}{2} h_i \cdot \gamma \cdot \sin 2\varphi_i \,, \qquad (22)$$

где h_i - высота отдельного столбика, м;

φ_i - угол наклона основания столбика, град.;

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

в) по графикам сопротивления сдвигу пород при соответствующих нормальных напряжениях определяются сопротивления сдвигу τ_y, величины которых также откладываются по оси ординат и соединяются плавной кривой;[x] площадь этой эпюры выражает сумму удерживающих сил $\Sigma\tau_y$, а отношение

$$\frac{\Sigma\tau_y}{\Sigma\tau_c} = n, \qquad (23)$$

где $\Sigma\tau_c$ – сумма сдвигающих сил, представляет коэффициент запаса устойчивости по каждой расчетной поверхности. Искомый коэффициент запаса равен коэффициенту запаса устойчивости по наиболее напряженной поверхности.

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

На поперечном разрезе откоса гидроотвала в соответствии с З.I.3 строится одна из напряженных поверхностей; блок, ограниченный этой поверхностью и откосом, разбивается на ряд вертикальных столбиков произвольной ширины; следует иметь в виду, что точность расчета во многом зависит от частоты разбивки. Последующие вычисления вносятся в таблицу (приложение 6).

Определяется ширина столбиков a,м, высота столбиков h,м, вес $P = a h \gamma$,т; по чертежу находятся средние углы наклона напряженной поверхности в пределах блока φ_i и вычисляются функции $\sin\varphi_i$; $\cos\varphi_i$; $\cos^2\varphi_i$, а также нормальная и тангенциальная составляющие веса пород; сумма тангенциальных составляющих есть сумма сдвигающих сил $\Sigma\tau_c$.

Нормальная составляющая веса пород $P\cos^2\alpha$ в каждом столбике делится на длину поверхности скольжения, что дает величину средних нормальных напряжений в пределах каждого столбика, по которым с графиков сопротивления сдвигу снимаются соответствующие им удерживающие напряжения τ. Умножая τ на длину напряженной поверхности в каждом столбике и суммируя результат, получают сумму сил, удерживающих откос $\Sigma\tau_y$; коэффициент запаса устойчивости находится по формуле 23.

---

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

3.I.5. Учет гидростатического и гидродинамического давлений производится следующим образом:

а) на поперечном разрезе откоса гидроотвала в пределах прилегающей к откосу призмы пород, ограниченной наиболее напряженной поверхностью, наносится положение напоров в точках наиболее напряженной поверхности, определенное аналитическим способом, методом аналогового моделирования или натурными измерениями по наблюдательным скважинам. Из нормальных напряжений, действующих в пределах каждого элементарного блока, на которые разбита призма, вычитается результирующая сила гидростатического и гидродинамического давлений D_i, определяемая по формуле:

$$D_i = \Delta_0 \left(H_i - y_i \right) \frac{a_i}{\cos \varphi_i} , \qquad (24)$$

где H_i – средний напор в пределах блока;

y_i – средняя ордината кривой скольжения в пределах блока (отсчитывается от произвольно выбранной горизонтальной прямой);

a_i – ширина блока;

Δ_0 – удельный вес воды;

φ_i – угол наклона касательной к поверхности скольжения в середине основания блока.

Коэффициент запаса устойчивости откоса определяется по формуле

$$n = \frac{\Sigma \left(P_i \cos \varphi_i - D_i \right) \operatorname{tg} \rho_i + k_i l_i}{\Sigma P_i \sin \varphi_i} \qquad (25),$$

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

k_i – угол трения и сцепления;

l_i – длина i-го участка кривой.

3.I.6. Если избыточное поровое давление не учтено в неявном виде при определении сопротивления сдвигу пород, то оно суммируется с выражением в скобках в формуле (24) или вычитается из нормальных напряжений при определении τ по графику сопротивления сдвигу.

В случае подвопленного откоса формула (25) принимает вид:

$$n = \frac{\Sigma\left\{\left[P_i \cos\varphi_i + P_i^{\beta}\ \frac{\cos(\alpha-\varphi_i)}{\cos\alpha} - D_i\right] tg\,\rho_i + k_i l_i\right\}}{\Sigma\left[P_i \sin\varphi_i - P_i^{\beta}\ \frac{\sin(\alpha-\varphi_i)}{\cos\alpha}\right]}, \qquad (26)$$

где α - угол откоса;

P_i^{β} - вес "свободной" (находящейся выше линии откоса) воды в пределах блока (рис.3.3).

Для повышения точности расчета положение наиболее напряженной поверхности уточняется повторными расчетами по 2-3 поверхностям.

3.I.7. Расчет устойчивости откосов гидроотвала, намываемого рассредоточенным способом, обычно производится с помощью решения плоской задачи, дающей достаточно надежные результаты. В некоторых случаях, однако, необходимо решать объемную задачу, что достигается одновременным суммированием сдвигающих и удерживающих сил по нескольким, наиболее напряженным поверхностям в контурах рассматриваемого блока. Такие условия возникают в следующих случаях:

а) при сосредоточенном намыве, вследствие существенно различных уровней депрессионной поверхности на близлежащих участках (I.2; I.4);

б) при наличии на участках упорных призм ослабленных зон небольшой протяженности (50 - 70 м), образовавшихся в результате осаждения мелкодисперсных частиц между выбросами пульпы (например, при намывке из торцов пульповодов) (I.2; I,4). Расчет по нескольким (не менее трех) поперечникам позволяет учесть влияние бокового защемления потенциально опасного в оползневом отношении блока гидроотвала и получить обоснованные параметры откоса на участках сосредоточенного выпуска пульпы и участках, устойчивость которых определяется локальными ослабленными зонами в приоткосной части намытого массива.

4. Рекомендации по гидроотвалообразованию в строительный и эксплуатационный периоды

4.I. Рекомендации по подготовке основания гидроотвала

4.I.I. Строительству гидроотвалов должно предшествовать (на



Рис. 3.3. Схема к расчету устойчивости подтопленного откоса
I -линии равных напоров, 2 -песок, 3 -суглинок,
4 -глина.

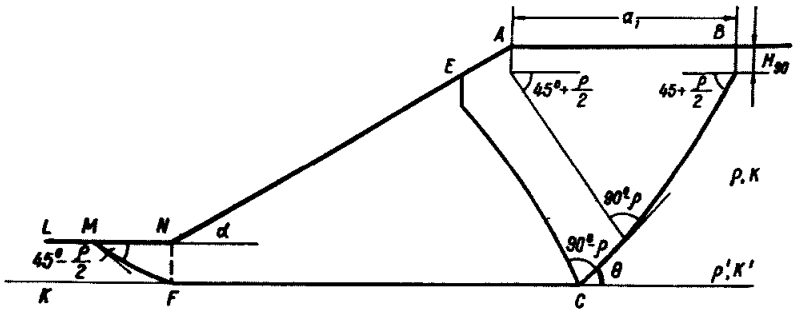


Рис. 3.4. Схема оползня выпирания.

стадии изысканий и проектирования) тщательное изучение сопротивления сдвигу пород основания и выявление слабых (в диапазоне действующих на момент завершения намыва напряжений) слоев пород или ослабленных контактов (I.5), при наличии которых необходимо – на основе технико-экономического сравнения вариантов – осуществлять следующие мероприятия:

а) если расчетами устойчивости гидроотвала при проектировании установлено, что сумма сдвигающих напряжений в гидроотвале по наиболее напряженной поверхности, проходящей по ослабленному слою (контакту), не превосходит сумму удерживающих напряжений, уменьшенную на величину коэффициента запаса, то намыв производится без специальной предварительной подготовки основания; при испытании пород на сдвиг и в расчетах устойчивости при проектировании следует учесть, что в процессе намыва характеристики сопротивления сдвигу упомянутого слабого слоя могут существенно изменяться;

б) ослабленный слой пород на участке упорной призмы должен удаляться, если устойчивость гидроотвала без удаления этого слоя не обеспечивается; ширина полосы, с которой удаляются слабые породы, устанавливается расчетом устойчивости (3.I); влияние ослабленного контакта в основании гидроотвала может быть существенно снижено взрывными работами с размещением заряда ВВ в месте залегания контакта, причем величина зарядов и частота их расположения устанавливаются проектом;

в) при малой мощности слабого слоя, способного в значительной степени увеличивать сопротивление сдвигу при уплотнении, в качестве мероприятия по предварительной подготовке основания гидроотвала следует применять нагружение слабого слоя хорошо фильтрующими породами по всей ширине призмы упора; осуществлению этого мероприятия также должны предшествовать расчеты устойчивости откоса гидроотвала, выполненные по результатам испытаний на сдвиг предварительно уплотненных образцов пород слабого слоя (2.2).

4.I.2. При подготовке основания гидроотвала осуществляется также круг мероприятий по дренажу упорных призм и ускорению консолидации намытых пород и пород основания сооружения (4.3).

4.2. Рекомендации и мероприятия по обеспечению устойчивости при намыве гидроотвалов

4.2.1. Намыв гидроотвала должен производиться по схеме от обвалования к естественным повышениям рельефа (при одно, двух или трехстороннем обваловании) или к центру заполняемой территории (при всестороннем обваловании). Применение схемы намыва к обвалованию не обеспечивает, как показывает практика гидроотвалообразования, требований безопасности. Кроме того, схема намыва к обвалованию требует больших затрат в строительный период, вследствие необходимости строительства массивных дамб способом более дорогим, нежели гидромеханизационный (например, с применением автомобильного транспорта).

4.2.2. Многоярусный намыв гидроотвала более экономичен, чем одноярусный, вследствие значительно меньшего объема грунта, размещаемого в пределах упорной призмы более дорогим (транспортным) способом; вследствие этого рекомендуется преимущественно применять многоярусное гидроотвалообразование.

4.2.3. Из существующих способов намыва предпочтение следует отдать эстакадному способу, обеспечивающему более четкое распределение частиц по крупности по пляжу и, вследствие этого, более высокое, по сравнению с другими способами намыва, сопротивление сдвигу в пределах упорной призмы. Удовлетворительные рузльтаты дает также способ намыва из торцов пульповодов при достаточно частом расположении выпусков, исключающем образование застойных зон у обвалования.

4.2.4. Для обеспечения благоприятных с точки зрения устойчивости откосов условий формирования гидроотвалов необходимо поддерживать пляж намыва такой длины, чтобы наиболее напряженная поверхность в гидроотвале на любой момент времени (в том числе и на момент завершения намыва) полностью располагалась в пределах отложений пляжной зоны. Исходя из этого, длина пляжа должна определяться условием, которое обеспечивает ее превышение над заложением откоса гидроотвала:

$$L \geqslant \frac{H}{\operatorname{tg}\alpha}, \text{ где} \qquad (27)$$

L – кратчайшее расстояние от обвалования до пруда-отстойника;

H – проектная высота гидроотвала;

α – результирующий угол откоса гидроотвала на момент завершения намыва.

Минимальные величины L для различных высот и углов откоса гидроотвала приведены в табл.4.I.

Таблица 4.I

Результирующий угол откоса гидроотвала / проектная высота гидроотвала Н,м	I0°	I5°	20°	25°	30°
I0	60	50	50	50	50
20	II5	75	55	50	50
30	I60	II0	80	65	50
40	230	I50	II0	90	70
50	280	I90	I40	II0	90

4.2.5. Возведение гидроотвала из разнородных грунтов необходимо производить с такой последовательностью намыва, при которой обеспечивается возрастание сопротивления сдвигу намывных пород в направлении сверху вниз. Обратная последовательность размещения пород приводит к снижению допустимой высоты намываемого сооружения, к неполному использованию земельных площадей, а в некоторых случаях - к оползанию откосов отвалов (I.3).

В тех случаях, когда вследствие особенностей вскрытия и эксплуатации месторождения первоначально отрабатываются более слабые породы (суглинки, глины), а затем более прочные (пески, меловые отложения), для высоких гидроотвалов, а также для гидроотвалов I и II категорий целесообразно предусматривать размещение слабых пород в отдельный гидроотвал, оставляя возможность повторного их размыва и размещения в верхней части гидроотвала из более прочных пород. Образование застойных зон у обвалования должно предотвращаться применением рассредоточенного намыва или установкой дополнительных выбросов пульпы на участках образования застойных зон.

4.2.6. Интенсивность намыва пород должна обеспечивать рассеивание избыточного порового давления в намывной толще и в породах

основания. В связи с этим в гидроотвале должна устанавливаться контрольно-измерительная аппаратура (датчики порового давления), позволяющая контролировать величину избыточного порового давления в любой момент времени (2.3). Расчеты консолидации водонасыщенных породных масс и практика намыва гидроотвалов в Кузбассе свидетельствуют, что при интенсивности намыва суглинков, равной 3-5 м/год, в пределах упорных призм происходит практически полное рассеивание избыточного порового давления. В отложениях пруда-отстойника величина избыточного порового давления может составлять 80-90 % от веса пород, с учетом их взвешивания.

4.2.7. Наблюдения за величиной избыточного порового давления необходимо проводить также при наращивании обвалования, особенно в зимний период, когда условия фильтрации воды значительно ухудшаются из-за промерзания откосов и поверхности сооружения. Учитывая это обстоятельство, целесообразно отсыпать обвалование не сразу полным профилем, а в 2-3 слоя по высоте, изменяя скорость отсыпки в соответствии с величиной давления в поровой воде, определяемого по показаниям контрольно-измерительной аппаратуры.

4.2.8. Ширина призмы обвалования, начиная с 2-го яруса, не оказывает существенного положительного влияния на общую устойчивость откоса, выполняя лишь функции ограждения, направляющего поток пульпы в сторону пруда-отстойника. Массивные дамбы обвалования при ускоренном их воздействии могут резко снизить коэффициент запаса устойчивости гидроотвала за счет быстрого роста избыточного порового давления. В связи с этим ширина дамб обвалования должна определяться, исходя только из их целевого назначения.

4.2.9. Повышение общей устойчивости гидроотвала достигается выполаживанием результирующего угла откоса за счет пригрузки его нижней части (на I/2 или I/3 часть высоты, что определяется расчетом устойчивости) фильтрующим материалом (щебнем, песком, скальными породами). В ряде случаев может успешно применяться намыв песчаной пригрузки. Существенное увеличение устойчивости и емкости гидроотвала требует, однако, значительного количества фильтрующего материала, а также выполнения круга мероприятий, связанных с подготовкой основания на участке пригрузки (удаление слабых пород, организация дренажа и т.д.).

4.2.10. Гидроотвалы после завершения намыва обычно в течение длительного времени не используются в народном хозяйстве. Труд-

ности последующего использования и, в частности, рекультивация поверхности заключаются в недоступности для оборудования зоны пруда-отстойника, а иногда и переходной зоны в течение длительного времени (до нескольких десятков лет) после завершения намыва. Этот срок, однако, может быть максимально сокращен нагружением гидроотвала породами "сухих" отвалов, закрытием внутренней зоны и обеспечением тем самым возможности беспрепятственного передвижения оборудования. При этом на площади пляжа и пруда-отстойника оказывается возможным разместить дополнительно значительные объемы пустых пород, что играет большую роль в уменьшении занятых отвалами территорий, пригодных к использованию в сельском хозяйстве.

4.2.II. Породы на пляже гидроотвала, а особенно во внутренней зоне обладают низкой несущей способностью, в связи с чем размещение на них "сухих" отвалов неизбежно будет сопровождаться оползнями подподошвенного типа с образованием вала выпирания у нижней бровки откоса. Эти оползни, однако, при должном инструментальном контроле не опасны для людей и оборудования, ввиду медленного плавного характера их развития.

Учитывая эту особенность деформирования откосов отвалов "сухих" пород на гидроотвалах, предлагаются общие рекомендации по ведению отвальных работ в пределах пляжа и зоны пруда-отстойника с применением различного оборудования, а также при различном порядке развития работ.

4.2.I2. Отвалообразование может начинаться как от обвалования, так и с естественных склонов (со стороны пруда-отстойника), причем направление фронта работ предопределяет порядок его развития и тип применяемого оборудования.

Отвалообразование со стороны упорной призмы ведется с отступлением от верхней бровки, величина которого определяется расчетом и должна обеспечивать общую устойчивость нагруженного гидроотвала. Работы начинаются с образования пионерной насыпи высотой 3–5 м, необходимой для осуществления транспортной связи между разрезом и пляжем.

Отсыпка отвала ведется с постепенным повышением высоты яруса при продвижении фронта работ в глубь территории гидроотвала. Момент достижения отвалом критической высоты характеризуется

началом развития оползней подподошвенного типа. При появлении признаков оползания (образование трещин отрыва, проседание площадок, появление вала выпирания у нижней бровки откоса) работы переносятся на близлежащий участок, затем на следующий и т.д. После заполнения ряда таких участков по всему фронту цикл работ повторяется; для обеспечения непрерывности отсыпки "сухих" отвалов фронт работ должен иметь такую протяженность, чтобы к моменту завершения отвалообразования на последнем участке (из-за развития оползневых деформаций) деформации первого участка уже прекратились.

4.2.13. Отсыпка второго яруса высотой 8-10 м, возможность которой также определяется расчетами общей устойчивости нагруженного гидроотвала, начинается после завершения работ на I-м ярусе. Результирующий угол откоса отвала в сторону упорных призм должен составлять 7^{0} - 10^{0} с тем, чтобы не допустить развития оползневых деформаций по направлению к обвалованию. Развитие фронта работ второго яруса аналогично первому. Подобным же образом могут отсыпаться и последующие ярусы. Общая высота гидроотвала вместе с отвалами "сухих" пород регламентируется коэффициентом запаса устойчивости, который для всего сооружения должен быть не ниже нормативного.

Размещение пород "сухих" отвалов на гидроотвале требует, таким образом, взаимного согласования ряда параметров отвалообразования (скорости подвигания заходки и связанной с этим приемной способности отвала в единицу времени, длины фронта отвалообразования) со скоростью деформирования оползающих откосов.

Предлагаемый порядок работ рассчитан, главным образом, на применение мобильного оборудования (автотранспорта и бульдозеров), однако, параметры отвалообразования на конкретном месторождении могут быть разработаны для оборудования, способного вести работы, располагаясь вне призмы возможного оползания (ленточный отвалообразователь, шагающий экскаватор).

4.2.14. При ведении отвалообразования со стороны пруда-отстойника, из которого предварительно должна удаляться вода, первая заходка, высотой 10-15 м, располагается на породах естественного залегания. При переходе отвалообразования с относительно прочных пород основания на слабые начинается деформирование отвальных откосов. По мере развития оползневых деформаций работы переносятся

на близлежащие участки и возобновляются после прекращения подвижек. Отвалообразование в этом случае целесообразно вести с помощью оборудования, располагающегося вне призмы оползания пород (драглайна или консольного отвалообразователя).

4.2.I5. Особенностью развития работ от пруда-отстойника является необходимость оставлять между нижней бровкой деформирующегося отвала и верхней бровкой гидроотвала не заполняемую породами берму, ширина которой определяется расчетом устойчивости, исходя из требования обеспечить общую устойчивость нагруженного гидроотвала с коэффициентом запаса не ниже нормативного.

Работы как по первой, так и по второй схемам должны сопровождаться инструментальными наблюдениями за деформациями откосов отвалов и отвальных площадок, целью которых является установление величины и скорости смещения породных масс, определение времени затухания деформации до величин, позволяющих осуществить повторное нагружение оползшего массива, а также контроль общей устойчивости гидроотвала. / 6 /. В некоторых случаях размещению пород должны предшествовать специальные мероприятия, обеспечивающие повышение коэффициента запаса устойчивости нагруженного гидроотвала и значительное увеличение его емкости (например, отсыпка фильтрующих контрфорсов (контрбанкетов) (4.3).

4.3. Дренаж гидроотвалов

Дренаж гидроотвалов осуществляется для решения следующих задач:

а) повышения общей устойчивости гидроотвала;

б) предотвращения фильтрационных деформаций откосов гидроотвала;

в) улучшение условий консолидации намытых пород (4.2).

4.3.I. Дренаж с целью улучшения общей устойчивости гидроотвала. Снижение положения депрессионной поверхности в теле гидроотвала способствует повышению его общей устойчивости как в результате уменьшения взвешивающего влияния подземных вод, так и благодаря ускорению консолидации глинистых пород в основании гидроотвала. Снижение уровней подземного потока в теле гидроотвала ниже отметок, определяемых положением верхнего прудка-отстойника и отметкой высачивания в основании гидроотвала, в принципе, может быть

достигнуто путем применения специальных дренажных мероприятий. Однако, эти дренажные мероприятия могут быть использованы лишь на гидроотвалах, сложенных преимущественно песчаными разностями пород и в каждом конкретном случае требуют специального обоснования. Для повышения общей устойчивости гидроотвалов, сложенных, в основном, песчаными разностями, могут применяться глубинные средства дренажа, которые обычно должны сооружаться при подготовке основания гидроотвала.

Наиболее целесообразным средством глубинного дренажа гидроотвалов песчано-глинистого состава являются фильтрующие подушки и банкеты, укладываемые в основании гидроотвала перед его намывом на слабопроницаемые породы. Этот вид дренажа одновременно улучшает условия устойчивости откосов гидроотвала (предотвращает фильтрационные деформации) и способствует консолидации песчано-глинистых пород гидроотвала.

При однородном составе песчаных пород гидроотвала в качестве глубинного средства дренажа могут с максимальным технико-экономическим эффектом применяться закладные трубчатые дрены, которые укладываются в траншеи, пройденные в слабопроницаемых породах основания гидроотвала. Этот вид дренажа также одновременно служит и для улучшения условий устойчивости фильтрующих откосов гидроотвала. В качестве материала для закладных дрен могут служить металлические, бетонные или пластмассовые перфорированные трубы с фильтрующей обсыпкой, соответствующей составу намытых пород. Длина закладных дрен определяется, прежде всего, высотой гидроотвала и шириной упорных призм. Закладные дрены, в основном, могут обеспечивать повышение устойчивости локальных участков гидроотвала (упорных призм), имея длину до 100 м.

При неоднородном строении гидроотвала в разрезе и плане эффективность пластового дренажа или закладных дрен в основании гидроотвала, как правило, ограничена.

В качестве возможного локального средства дренажа могут быть использованы дренажные вертикальные насосные или безнасосные скважины. При наличии в основании гидроотвала водоносного горизонта, способного принять дренируемые воды, вертикальные скважины могут быть самотечными (поглощающими).

Высокие эксплуатационные затраты, которые связаны с работой большого числа водопонижающих насосных скважин, предназначенных для повышения общей устойчивости гидроотвала, ограничивают при-

менение этого средства дренажа.

При наличии в основании гидроотвала водоносного горизонта, подпитывание которого за счет инфильтрации по площади гидроотвала может привести к недопустимому (с точки зрения общей устойчивости гидроотвала) повышению его напоров, приходится предусматривать дренаж этого водоносного горизонта, осуществляемый, например, с помощью водопонижающих скважин.

Целесообразность применения любых дренажных мероприятий для повышения общей устойчивости гидроотвала во всех случаях должна быть тщательно обоснована. Обоснование должно включать: а) гидродинамический прогноз эффективности того или иного вида дренажа в конкретных условиях; б) расчет общей устойчивости гидроотвала с применением того или иного вида дренажа (т.е. при соответствующем дренажном эффекте); в) экономический расчет, основанный на сопоставлении стоимости того или иного вида дренажа и экономического эффекта, определяемого увеличением угла наклона откоса гидроотвала (увеличением его емкости).

Для контроля за положением уровней подземных вод в теле гидроотвала (в частности, - для определения эффективности дренажа) должны быть оборудованы наблюдательные пьезометры. При слоистом строении гидроотвала пьезометры оборудуются на несколько обводненных прослоев. Пьезометры оборудуются по нескольким характерным створам вкрест простирания откоса гидроотвала. Расположение пьезометров и места установки их фильтров согласуются с сетью датчиков порового давления. По мере намыва гидроотвала сеть наблюдательных пьезометров наращивается. Наблюдательные пьезометры необходимо оборудовать и на первый водоносный горизонт в основании гидроотвала с тем, чтобы фиксировать возможные повышения его напоров, которые могут оказать заметное влияние на общую устойчивость гидроотвала.

4.3.2. Дренаж с целью предотвращения фильтрационных деформаций откосов гидроотвала.

Для предотвращения фильтрационных деформаций (см.I.3.3) применяются локальные дренажные мероприятия (приуроченные к откосам гидроотвала).

Наиболее эффективным и универсальным средством борьбы с деформациями фильтрующих откосов являются дренажные пригрузки. Дренажные (фильтрующие) пригрузки могут применяться на откосах,

сложенных как песчаными, так и песчано-глинистыми разностями, как при однородном, так и слоистом строении гидроотвала. Пригрузкой, в зависимости от состава пород на откосе гидроотвала, могут служить пески, гравийно-галечные щебенистые разности, а также горная масса, представленная неразмокающими породами. Объемы дренажных пригрузок зависят от высоты промежутка высачивания и от величины расхода потока, выходящего на откос. Дренажные пригрузочные призмы могут сооружаться на нескольких уступах гидроотвала. Дренажная призма должна перекрывать промежуток высачивания на 20–30 %, поэтому для пригрузки обычно требуется значительный объем фильтрующего материала. Дренажные пригрузки являются мобильным средством борьбы с фильтрационными деформациями на локальных участках, что позволяет рекомендовать их при неоднородном (неупорядоченном) строении фильтрующего откоса.

Закладные дрены или дренажные банкеты ограниченной длины являются эффективным средством борьбы с фильтрационными деформациями откосов гидроотвалов, сложенных песчаными разностями (в некоторых случаях – супесчаными). Эти устройства закладываются до намыва гидроотвала с небольшим уклоном перпендикулярно простиранию его откоса на минимальных отметках подошвы. Закладные дрены могут иметь ответвления, ориентированные параллельно откосу дамбы гидроотвала. Параметры закладных дрен и банкетов (длина их, расстояния между ними) определяются гидродинамическим расчетом в зависимости от фильтрационных свойств пород гидроотвала и условий его намыва (высоты, расположения прудка-отстойника и т.д.). Закладные зрены в случае слоистого строения гидроотвала могут располагаться несколькими ярусами (укладываться перед намывом нового яруса).

Горизонтальные скважины являются действенным мобильным средством перехвата подземного потока в глубине фильтрующего откоса. С наибольшей эффективностью горизонтальные скважины работают в условиях однородного строения фильтрующего откоса, т.к. при слоистом его строении дренажный эффект может оказаться ограниченным. Горизонтальные скважины могут сооружаться на любом участке в основании или на промежуточных бермах откосов гидроотвалов непосредственно в процессе намыва при выявлении локальных фильтрационных деформаций. Горизонтальные скважины, сооружаемые в основании гидроотвала, целесообразно располагать на

минимальных отметках основания, где фильтрационные деформации, как правило, достигают наибольших масштабов. Длина горизонтальных скважин в рыхлых породах в настоящее время ограничивается 30 - 50 метрами, что определяется техническими возможностями применяемого оборудования.

Вертикальные насосные и безнасосные скважины, в принципе, могут быть использованы для обеспечения устойчивости фильтрующих откосов на локальных участках, на которых другие средства не могут быть применены по тем или иным причинам, например, в тех случаях, когда при развитии существенных по величине языков оплывания бурение горизонтальных скважин оказывается невозможным, а использование дренажных пригрузок затруднительно в силу тех же причин или требует значительного объема дренирующего материала при его дефиците.

В конкретных условиях, как правило, целесообразно комплексное применение указанных выше средств дренажа. Например, горизонтальные скважины в сочетании с дренажной пригрузкой могут дать необходимый технико-экономический эффект. Сочетание закладных дрен или банкетов с фильтрующей пригрузкой также дает необходимый результат в том случае, если эффективность одних лишь закладных дрен окажется недостаточной в ходе намыва гидроотвала.

Горизонтальный дренаж, укладываемый в основании дамб гидроотвалов и на промежуточных бермах, может явиться одним из видов дренажных устройств. Однако применение его целесообразно лишь при однородном строении тела гидроотвала, определяющем равномерность развития фильтрационных деформаций откосов дамбы. Использование горизонтальных дрен при локальном характере деформаций откосов оказывается в ряде случаев экономически нецелесообразным.

Фильтрационные деформации откосов гидроотвала на промежуточных бермах могут быть исключены или ограничены при соблюдении определенного соотношения между высотой гидроотвала и расстоянием от его основания до точки намыва. Другим мероприятием, существенно ограничивающим фильтрационные деформации, является тщательный контроль за составом пород, намываемых в дамбу, не допускающий образования глинистых прослоев, способствующих образованию нескольких промежутков высачивания на откосе дамбы и,

кроме того, снижающих общую устойчивость ее (особенно в тех случаях, когда прослои образуются в нижних частях тела дамбы).

4.3.3. Мероприятия, направленные на ускорение консолидации намытых пород.

Одним из мероприятий, способствующих ускорению консолидации песчано-глинистой толщи намываемых пород и увеличению коэффициента запаса устойчивости откоса, является совместный намыв суглинистых пород с песчаными разностями, а также с "хвостами" обогатительных фабрик, золой ТЭЦ или с предварительно раздробленными прочными вскрышными породами разрезов (например, песчаниками).

Существенное увеличение параметров гидроотвалов и емкости отвальных площадей в результате внедрения этого мероприятия позволяет рекомендовать создание комплексных гидроотвалов с одновременным складированием вскрышных пород и отходов промышленных предприятий.

Существующий в этом отношении опыт намыва прочных песчаников после предварительного их дробления (Бачатский разрез) свидетельствует о возможности широкого распространения технологии совместного намыва полускальных пород и слабых суглинков.

Хвосты обогатительных фабрик (особенно в рудной промышленности) представлены, главным образом, песчаной фракцией, в связи с чем их намыв совместно с суглинками улучшает физико-механические свойства пород в упорной призме. В зимний период, когда намыв вскрышных пород в гидроотвал прекращается, намыв хвостов обогатительных фабрик или золы ТЭЦ позволяет создать однородные дренирующие слои в гидроотвале, что существенно улучшает условия консолидации суглинисто-глинистых слоев, намытых летом.

Намыв хвостов песчаного состава в зимний период открывает возможности формирования из намытых грунтов насыпей, располагающихся перпендикулярно фронту обвалования и играющих роль закладных дрен. Целесообразно организовать намыв гидроотвала таким образом, чтобы во внутреннюю зону периодически намывались хорошо фильтрующие породы (раздробленные полускальные породы, хвосты обогатительных фабрик и т.д.), что позволило бы создать в зоне пруда-отстойника фильтрующие прослои и существенно улучшить условия консолидации пород и рекультивации поверхности гидроотвала после завершения намыва.

Внедрение рекомендаций по совместному намыву суглинисто-глинистых и хорошо фильтрующих пород требует некоторого изменения схемы намыва. В частности, намыв фильтрующих слоев во внутреннюю зону гидроотвала необходимо производить, например, с естественных склонов, что потребует организации нескольких выпусков (2-3) у пруда-отстойника.

5. КОНТРОЛЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРООТВАЛОВ

5.1. Состав работ

5.1.1. При строительстве и эксплуатации гидроотвалов необходим надежный и действенный контроль во всех звеньях технологического цикла, задачи которого определяются исходя из необходимости возведения безопасного и экономичного сооружения. В число этих задач входит:

а) установление соответствия действительных условий гидроотвалообразования проектным;

б) определение свойств пород гидроотвала и его основания, сравнение фактических расчетных показателей свойств с проектными и внесение необходимых корректив в проектные решения;

в) оценка устойчивости сооружения на любой момент времени;

г) контроль за выполнением проектных мероприятий по обеспечению устойчивости гидроотвала и, при необходимости, назначение дополнительных мероприятий.

Выполнение перечисленных задач должно возлагаться на подразделения специальных контрольных служб, аналогичных организациям, контролирующим возведение намывных напорных гидротехнических сооружений (плотин). Контрольная служба на предприятии должна осуществлять, таким образом, инженерно-геологический, гидрогеологический, технологический и маркшейдерский контроль при строительстве и эксплуатации гидроотвала.

5.1.2. В функции инженерно-геологического контроля должен входить контроль за:

а) составом и свойствами пород в забое разреза;

б) составом, состоянием и физико-механическими свойствами пород основания гидроотвала;

в) составом, состоянием и физико-механическими свойствами пород намытой толщи и дамб обвалования;

г) наличием поверхностей ослабления и их пространственным положением;

д) фракционированием частиц грунта при намыве и количественной оценкой его влияния на устойчивость откосов;

е) устойчивостью гидроотвала (с помощью расчетов).

В состав гидрогеологического контроля входит:

а) определение положения депрессионной поверхности в массиве гидроотвала;

б) контроль за фильтрацией воды из гидроотвала с установлением мест высачивания и определением расхода на участках фильтрации в зависимости от положения участков намыва;

в) определение изменения избыточного порового давления во времени;

г) контроль за работой дренажных устройств;

д) определение фильтрационных свойств намывных пород;

е) прогноз консолидации пород;

ж) оценка влияния гидроотвала на режим подземных вод района/12/.

Технологический контроль включает в себя:

а) контроль за процентным соотношением различных по свойствам горных пород, намываемых в гидроотвал;

б) контроль за соблюдением технологии намыва;

в) наблюдения за возможным образованием застойных зон у обвалования;

г) контроль за длиной пляжа, его уклонами и положением пруда-отстойника;

д) контроль за интенсивностью намыва или возведения дамб обвалования.

Маркшейдерский контроль включает в себя, главным образом, наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями гидроотвала по реперам наблюдательных станций.

5.2. Контроль при строительстве гидроотвалов

5.2.1. Контроль при подготовке основания в строительный период производится, главным образом, за качеством работ, предусмотренных проектом. В частности, контролируется качество удаления почвенно-растительного (или ослабленного) слоя в пределах упорной призмы; физико-механические свойства пород основания намывной толщи определяются в лабораторных условиях по отбираемым образцам. Особое внимание уделяется механическим и водным свойствам (испытания на сдвиг по схеме, соответствующей условиям рабо-

ты основания при намыве; такой схемой является, преимущественно, схема консолидированно-недренированного сдвига; определение характеристик сжимаемости пород основания и коэффициента фильтрации при различных значениях гидростатического давления и градиента напора) (2.2). Эти испытания проводятся также и для пород нарушенного сложения, из которых формируется дамба первичного обвалования по образцам, отобранным из дамбы после ее отсыпки; соответствие действительных характеристик грунта проектным определяется также по критерию плотности-влажности (2.2).

При несоответствии свойств уложенных в обвалование грунтов проектным или неудовлетворительном качестве работ намечаются соответствующие меры (дополнительное уплотнение пород или использование других пород для отсыпки обвалования).

5.2.2. В строительный период производится контроль за качеством исполнения мероприятий по дренажу основания гидроотвала (отсыпка или намыв дренирующего слоя, установка закладных дрен, отсыпка фильтрующей пригрузки на внешний откос дамбы обвалования). Кроме того, при строительстве начинается создание контрольной гидрогеологической сети, которая состоит из наблюдательных скважин, наращиваемых при намыве, и датчиков порового давления, размещаемых в породах основания (если ожидается развитие порового давления) и на пляже намыва, и организуются наблюдения.

5.3. Контроль при намыве гидроотвалов

5.3.1. Контроль при эксплуатации гидроотвалов является необходимой составной частью гидроотвалообразования и осуществляется в течение всего периода намыва; отдельные виды контроля сохраняются и после прекращения намыва (достижения проектной высоты сооружения) при необходимости последующего использования территории.

5.3.2. Контроль за гранулометрическим составом карьерного грунта и за процентным соотношением различных по свойствам и составу пород производится по образцам, отбираемым в забое разреза. Изучение состава пород в естественном залегании может дать приближенную качественную информацию о предполагаемом фракционировании частиц по пляжу намыва и, соответственно этому, свойствах намываемых пород, образовании поверхностей ослабления. Количественная оценка влияния карьерного грунта на формирование

намывных пород должна производиться путем одновременного изучения состава и свойств намывных пород и анализа получаемых результатов.

Количественное влияние дифференциации частиц по пляжу намыва на устойчивость гидроотвала должно оцениваться следующим образом:

а) с пляжа намыва производится отбор образцов по профилям, расположенным перпендикулярно дамбе обвалования, с интервалом между точками отбора 50 м;

б) в лабораторных условиях производится анализ гранулометрического состава образцов и составляются кривые гранулометрического состава;

в) по результатам анализа грансостава составляются графики зависимости процентного содержания глинистых частиц от расстояния от фронта намыва;

г) отобранные с пляжа образцы уплотняются под напряжениями, которые данный слой будет испытывать на момент завершения намыва и испытываются на сдвиг при напряжениях, меньших чем уплотняющие (2.2);

д) по полученным результатам устанавливается зависимость общего сопротивления сдвигу или угла внутреннего трения и сцепления от процентного содержания глинистых частиц, что дает возможность увязать сопротивление сдвигу намытых пород с расстоянием от фронта намыва и учесть изменение сопротивления сдвигу по пляжу в расчетах устойчивости откосов (приложение 7).

С учетом сведений о составе карьерного грунта полученный материал может служить основой для прогноза свойств намывной толщи при сохранении технологии намыва.

В случае образования застойных зон у обвалования производится контроль физико-механических свойств пород, осаждающихся в этих зонах; образование ослабленных участков фиксируется на планах и разрезах.

5.3.3. Изучение и контроль строения гидроотвала, состава, состояния, физико-механических и водных свойств слагающих его пород производится также в период эксплуатации по керновому материалу при проходке инженерно-геологических скважин в наиболее ответственных местах упорных призм (обычно, на участках макси-

мальной высоты). Целью такого контроля является установление соответствия основных расчетных показателей, принятых проектом и фактических, и оперативный учет имеющихся расхождений при корректировке параметров откосов. При бурении скважин проводится весь комплекс полевых (2.3) и лабораторных (2.2) испытаний. Пройденная скважина может быть затем использована для наблюдений за уровнем воды, для измерения избыточного порового давления с помощью датчиков (2.3) или для наблюдений за плотностью-влажностью с помощью радиометрических методов.

5.3.4. Интенсивность намыва, ширина пляжа, уклоны пляжа, положение пруда-отстойника контролируются с помощью специальных мерных реек, устанавливаемых на пляже намыва по створам, которые пролагаются перпендикулярно обвалованию. В случае затрудненности доступа на пляж при намыве, рейки устанавливаются заблаговременно (в зимний период), а наблюдения по ним ведутся с помощью геодезических инструментов. Интенсивность нагружения гидроотвала должна оцениваться также по показаниям датчиков порового давления в намытом массиве и в его основании; влияние на устойчивость сооружения избыточного порового давления, развивающегося вследствие нагружения, определяется по результатам расчетов устойчивости откосов (3.1).

5.3.5. При намыве продолжается гидрогеологический контроль, начатый в строительный период. В частности, производится бурение сети наблюдательных пьезометров, фильтры которых оборудуются на различные горизонты тела гидроотвала, сложенного песчано-глинистыми или песчаными породами. По мере намыва сеть пьезометров увеличивается, производится наращивание расположенных на пляже пьезометров. Систематические наблюдения за уровнями проводятся как обязательные 3 раза в месяц, однако, кроме того должны проводиться эпизодические наблюдения, связанные с технологией работ (начало и конец намыва, прохождение фронта намыва и т.д.). Замеры уровней должны сопровождаться обязательной характеристикой состояния намывных работ (положение и число выпусков, время их работы и т.п.) По результатам замеров составляются графики изменений уровней в теле гидроотвала в связи с условиями производства работ и высотой сооружения. Замеры уровней по пьезометрам и оборудование их должны производиться с соблюдением правил техники безопасности.

5.3.6. При эксплуатации гидроотвала ведутся наблюдения за проявлением и масштабами фильтрационных деформаций на дамбах. Наблюдения включают: а) определение длины языков оплывания по периметру дамбы, их угол наклона, величину промежутка высачивания; б) определение удельных расходов на участках развития языков оплывания; в) определение размеров промоин по дамбе обвалования и по ее основанию, причин их образования, замер расхода потоков, вызывающих размыв; г) определение масштабов и причин появления фильтрационных деформаций типа циклических обрушений. Указанные наблюдения выполняются при гидрогеологической съемке, которая должны проводиться систематически (1-2 раза в месяц).

Съемка сопровождается определением положения фронта намыва, количества выбросов, времени их работы, положением контура верхнего пруда-отстойника и т.д., для анализа влияния технологических элементов на характер и масштабы фильтрационных деформаций. Особое внимание при съемке должно уделяться участкам, где производится намыв в момент производства съемки. На этих участках целесообразно проведение наблюдений за динамикой фильтрационных деформаций и связи их с величиной фильтрационных расходов, максимум которых приходится, как правило, на момент намыва.

5.3.7. При эксплуатации гидроотвала должны производиться определения потерь воды на испарение с водной поверхности прудков-отстойников. С этой целью оборудуются испарители площадью 2-5 $м^2$, снабженные рейками с миллиметровыми делениями. Испарители устанавливаются в прудки-отстойники в доступных для наблюдения местах. Отсчеты по рейкам производятся не реже двух раз в месяц.

5.3.8. При эксплуатации дренажных средств производится систематический контроль их состояния, замеряются дебиты самотечных или насосных скважин, горизонтальных дренажей и т.д. Замеры дебитов целесообразно проводить одновременно с производством гидрогеологической съемки не реже двух раз в месяц. Периодически производится контроль состояния фильтрующих призгрузок, обсыпки, горизонтального дренажа и технического состояния других средств дренажа. Дебиты поглощающих скважин замеряются скважинными расходомерами, других скважин - объемным способом. /13/.

5.3.9. В зимний период производятся систематические замеры положения уровней прудков-отстойников, позволяющие определить инфильтрационные потери из них. Замеры производятся не реже двух раз в месяц по заранее оборудованным наблюдательным рейкам, привязанным в высотном отношении. Продолжаются наблюдения за состоянием дренажных средств, осуществляются замеры их дебитов (I раз в месяц) и, кроме того, с той же частотой производится замер уровней в пьезометрах, гидрогеологическое обследование гидроотвала, фиксируются расходы высачивания, размеры наледей, масштабы фильтрационных деформаций.

5.3.10. По результатам гидрогеологических наблюдений составляется в конце периода намыва отчет, материалы которого могут быть использованы для оценки состояния гидроотвала, эффективности дренажных мероприятий, оценки влияния гидроотвала на режим водоносных горизонтов в его основании, и условия их дренирования (например, системами карьерного или шахтного дренажа), влияния на условия водоснабжения района и т.д.

5.3.11. Инструментальный контроль за устойчивостью дамбы и осадкой намытой толщи производится по реперам наблюдательных станций, которые закладываются по мере возведения сооружения. Порядок заложения реперов, организация наблюдений, обработка и интерпретация получаемых результатов подробно изложены в литературе /6/.

Необходимо отметить первостепенную важность данных о деформировании дамбы, которые являются объективной информацией, контролирующей в обобщенном виде результаты изучения устойчивости откосов. Наблюдения за осадкой на пляже намыва позволяют более обоснованно оценить степень консолидации намытых пород и пород основания гидроотвала, и определить дополнительную емкость гидроотвала в связи с уплотнением пород. Инструментальные наблюдения за устойчивостью дамбы гидроотвала продолжаются и после завершения намыва, особенно в тех случаях, когда площадь гидроотвала используется для размещения пород "сухих" отвалов (4.2). Частота наблюдений как и в период намыва определяется величиной деформаций и скоростью смещения массива. /6/.

ЛИТЕРАТУРА

I. Временные ТУ на проектирование, строительство и эксплуатацию гидроотвалов вскрышных пород угольных карьеров Кузбасса (*вторая редакция*). Проектгидромеханизация, I968 г.

2. Гальперин А.М. Повышение устойчивости гидроотвалов угольных разрезов. ЦНИЭИУголь, I973 г.

3. Гальперин А.М. Специальные вопросы инженерной геологии при гидромеханизации открытых разработок. I974 г.

4. Гальперин А.М., Крячко О.Ю., Дергилев М.А. Геотехническое обслуживание гидроотвальных работ на карьерах. ЦНИЭИУголь, I97I.

5. Гольдштейн М.Н. Гидротехнический контроль в строительстве.

6. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. ВНИМИ, I97I.

7. Крячко О.Ю. Определение сопротивления сдвигу пород нарушенной структуры на приборе с большой площадью среза. Сб.трудов ВНИМИ, № 54, I964 г.

8. Крячко О.Ю. Определение сопротивления сдвигу методом вращательного среза. Сб.трудов ВНИМИ, № 68, I967 г.

9. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований свойств горных пород. Недра, Ленинград, I972г.

I0. Малышев М.В. Уплотнение водонасыщенного грунта при постепенном увеличении толщины слоя. Основания, фундаменты и механика грунтов, № 3, I959 г.

II. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, подлежащих разработке открытым способом. ВНИМИ, Ленинград, I965 г.

I2. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. ВНИМИ, I972 г.

I3. Норватов Ю.А., Бокий Л.Л., Шмидт Е. Гидрогеологические исследования при оценке условий устойчивости гидроотвала комбината КМАруда. Труды ВНИМИ, сб.89, I973 г.

I4. Н у р о к Г.А. Гидромеханизация горных работ, 1959 г.

I5. Руководство по обеспечению устойчивости уступов, бортов карьеров и сейсмической безопасности зданий и сооружений при ведении взрывных работ на карьерах. ВНИМИ, 1971 г.

I6. Ф и с е н к о Г.Л. Устойчивость бортов угольных карьеров. Углетехиздат, 1966 г.

I7. Ф и с е н к о Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и откосов отвалов. Недра, 1965 г.

I8. Ф л о р и н В.А. Основы механики грунтов Госстройиздат, 1961 г.

I9. ЦИТОВИЧ Н.А., З а р е ц к и й Ю.К., М а л ы ш е в М.В., А б е л е в М.Ю., Т е р - М а р т и р о с я н З.Г. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. Москва, 1967.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

86-1

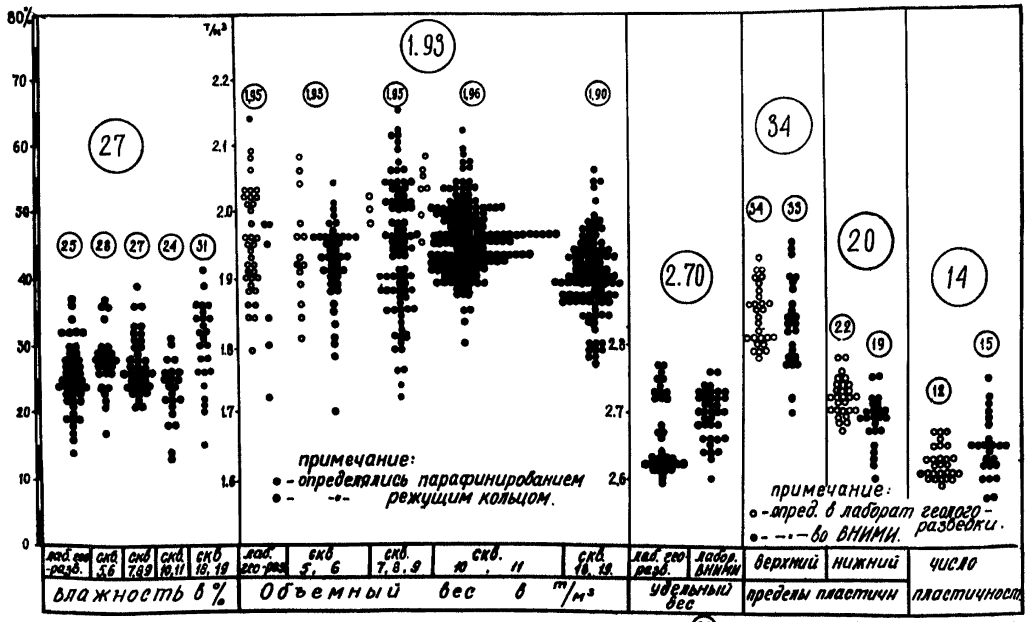
ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРООТВАЛОВ КУЗБАССА

№№ п/п	Наименование разреза и гидроотвала	Площадь гидроотвала, тыс. м^2	Высота гидроотвала, м	Ёмкость гидроотвала, тыс.м^3	Укладываемый годовой объём пород; тыс.м^3	Объём пульпы, м^3/час.	Способ заполнения гидроотвала
I	Кедровский разрез						
	Гидроотвал № 2	760	20	7400	575	I400	Из торца I пульповода
	-"- № 3	I200	36	23500	II50	2800	-"- 2 -"-
	-"- № 4	II00	23	II000	I725	4200	-"- 3 -"-
	-"- № 5	350	9	I500	II50	2800	-"- 2 -"-
2	Краснобродский разрез						
	Новобачатский гидроотвал	I927	25	-	I85	3600	-"- 3 -"-
	Новоалександровский -"-	4I2	28	4000	I235,7	2500	-"-
3	Новосергеевский разрез						
	Безымянный гидроотвал	-	I2,5	700	700		
	Бахтыхтинский -"-	982	I9	I0265,7	2335,5	3550	Из торцов 2-х пульповодов и из 3-го, расположенного на эстакаде
	Змеинский гидроотвал	-	I5	I000	I000	-	Из торцов пульповодов
	Шакровский -"-	-	6,5	70	70	-	-"-
	Прямо-Ускатский -"-	2508,6	28(42)	-	I700-2200	-	-"-
4	Бачатский разрез						
	Сагарлыкский гидроотвал	3200	23	32000	4500	8200	Из торцов 5 пульповодов
5	Колмогоровский разрез						
	Гидроотвал	I250	8	9000	2600	4650	-"- 3 -"-
6	Разрез им.Вахрушева						
	Абинский гидроотвал	380	32	3584	-	-	Из торцов пульповодов
	Акташский -"-	2870	59	2I034	I700-2500	-	Из торцов 3 пульповодов: с I973 г. - рассредоточенный выпуск с дамбы.
7	Киселевский разрез						
	Гидроотвал № I	I78	36	I5I6	500	-	
	Гидроотвал № 4	630	32	7044	600-700	I400	Из торцов пульповодов
8	Разрез № 8						
	Гидроотвал	I80	I6,5	5700	I000	2700	Из -"- 2 -"-

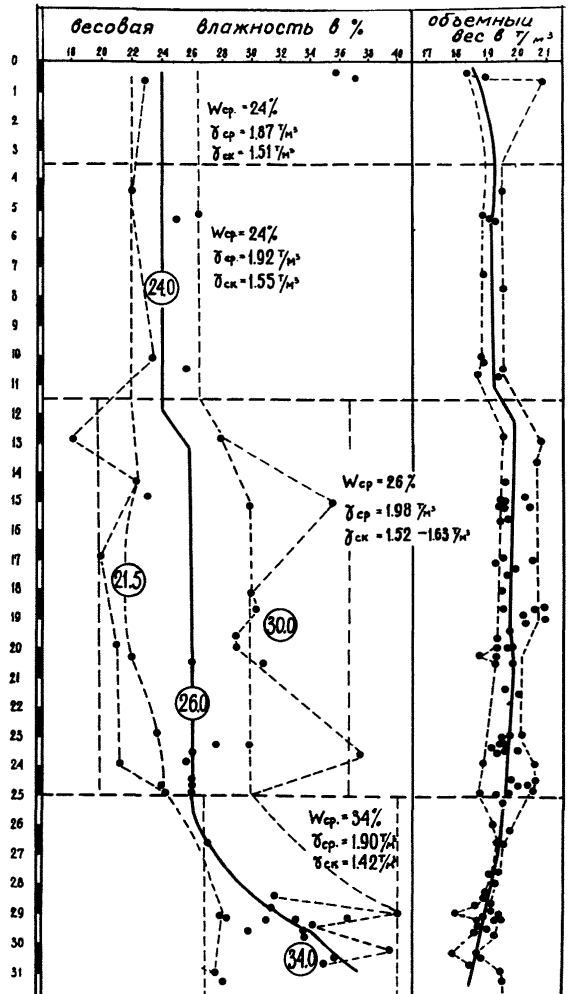
Характер деформации Местоположение гидроотвала	Причины деформаций
I. Прорыв осветленной воды и пульпы из хвостохранилища Сорского комбината (1972 г.)	Напор осветленной воды на обвалование
2. Прорыв обвалования Назаровского гидроотвала (1964 г.)	Напор осветленной воды на обвалование, отсыпанное из мерзлого грунта.
3. Прорыв обвалования гидроотвала № 2 Лебединского карьера КМА	Напор осветленной воды на обвалование
4. Прорыв осветленной воды и гидромассы из хвостохранилища г.Киева	- " -
5. Оползень гидроотвала № I Лебединского карьера КМА	Намыв слоя слабых лессовидных суглинков в основание гидроотвала; высокая для данных пород интенсивность последующего намыва песков
6. Оползень упорной призмы гидроотвала № 4 Кедровского разреза	Высокая интенсивность отсыпки обвалования в зимний период; отсутствие оттока воды из-за промерзания откосов и неблагоприятные в связи с этим условия консолизации намывных пород.
7. Оплывание откосов и связанные с ним циклические обрушения пород (Назаровский разрез, Лебединский карьер и др.)	Высокое положение депрессионной поверхности; неудовлетворительный дренаж упорных призм; отсутствие дренирующей пригрузки на участках оплывания.
8. Эрозионные промоины на откосе гидроотвала (Назаровский разрез).	Отсутствие мероприятий по защите откосов гидроотвала от размыва.

Свойства намытых пород

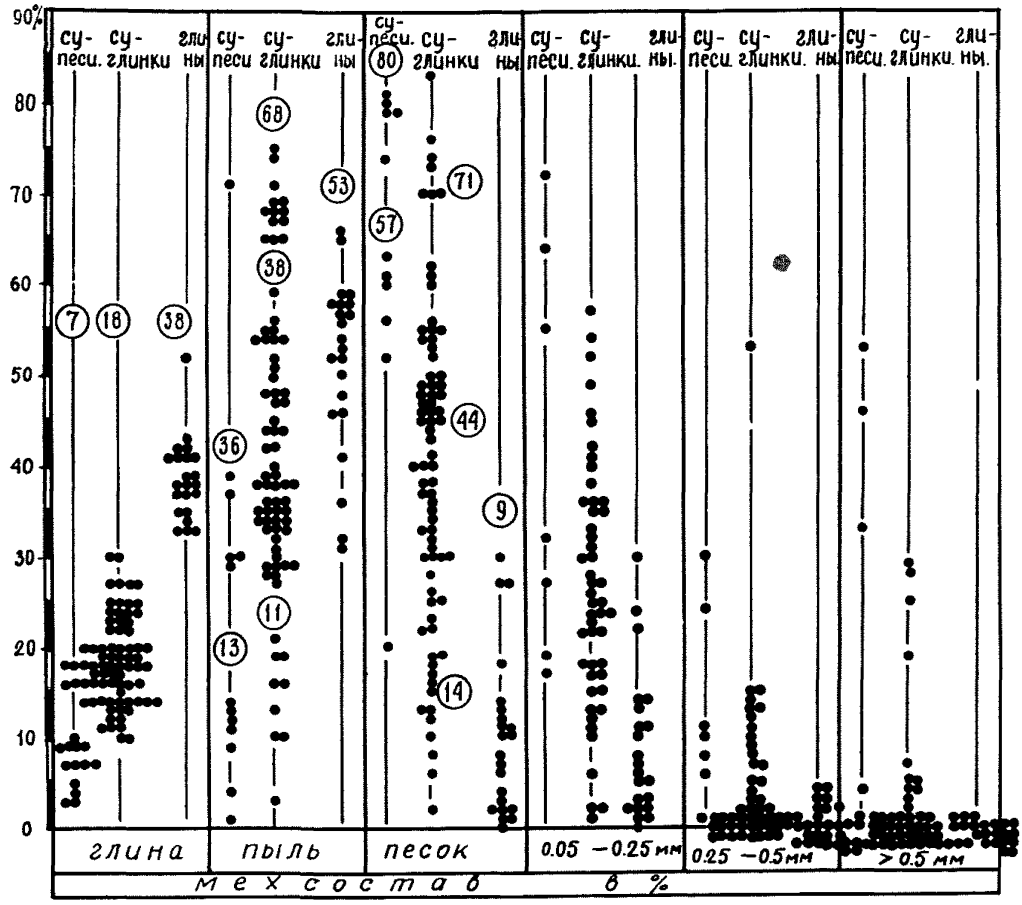
А. Результаты изучения физических свойств пород гидроотвала Назаровского разреза



Б. Изменение влажности и объемного веса пород по глубине гидроотвала

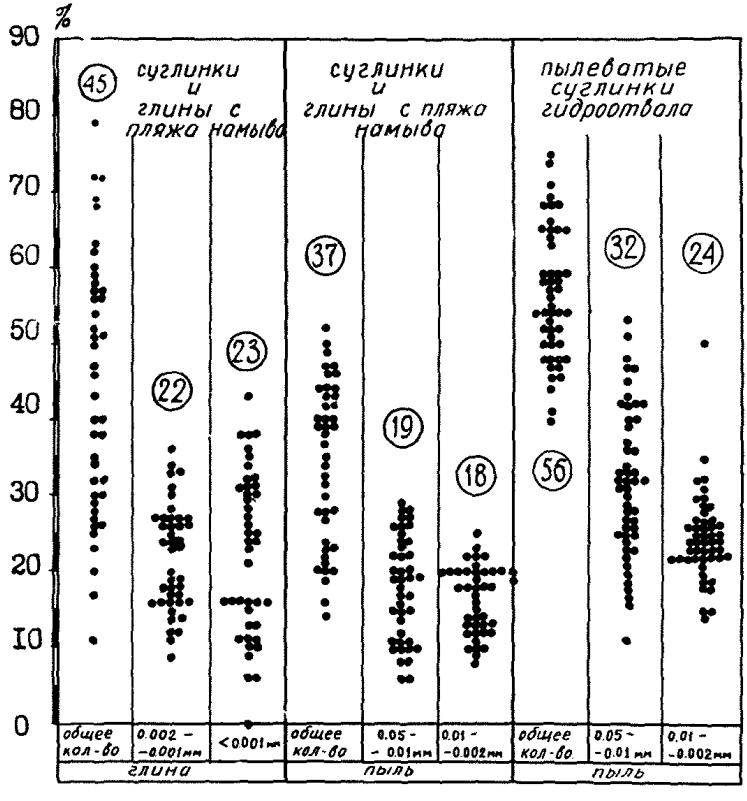


В. Гранулометрический состав пород



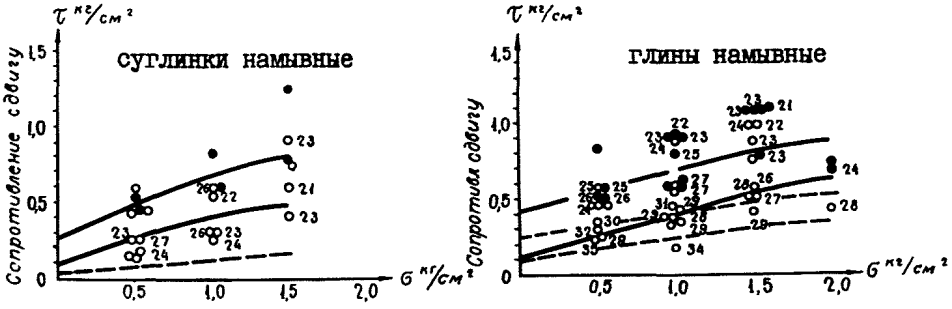
(14) – характерное значение показателя

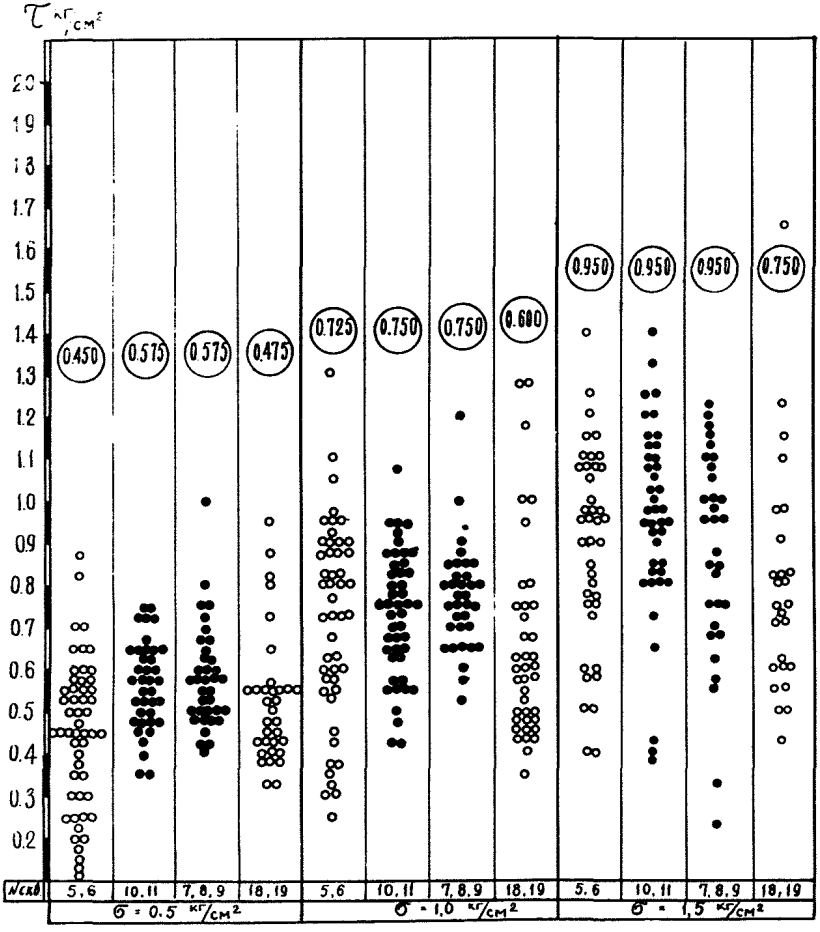
Г. Дисперсность пород



(19) – характерное значение показателя

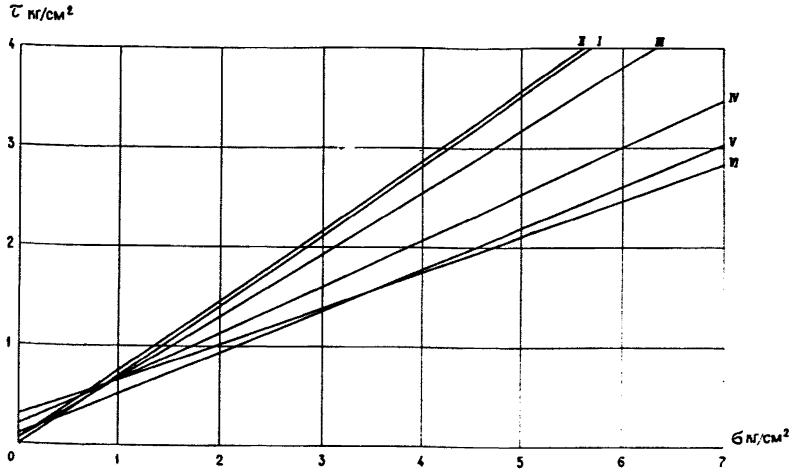
а. Д. Сопротивление сдвигу намывных пород



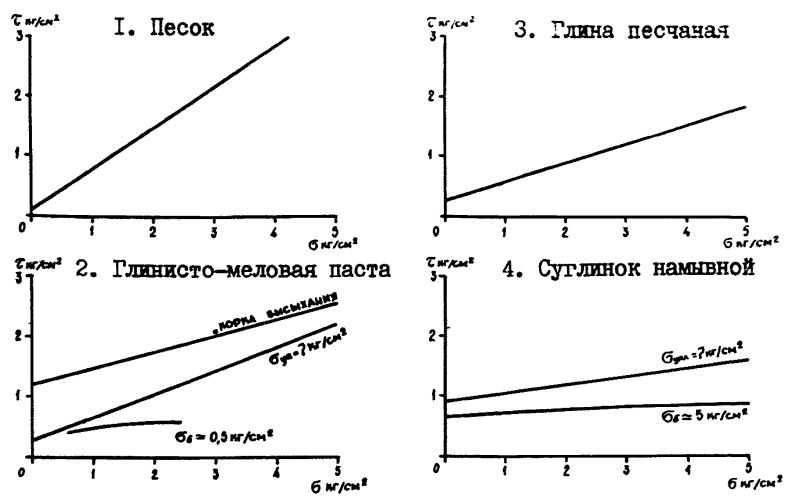


○ - срез без предварительного уплотнения.
● - срез после уплотнения.
(0.1) - характерное значение показателя.
5,6 - номера скважин.

б.



в.



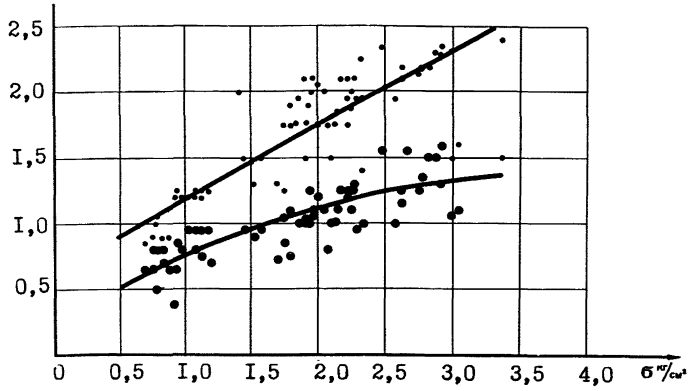
Д. Сопротивление сдвигу намывных пород

а –сопротивление сдвигу намывных суглинков и глин Назаровского разреза (см. также приложения 4 и 6);

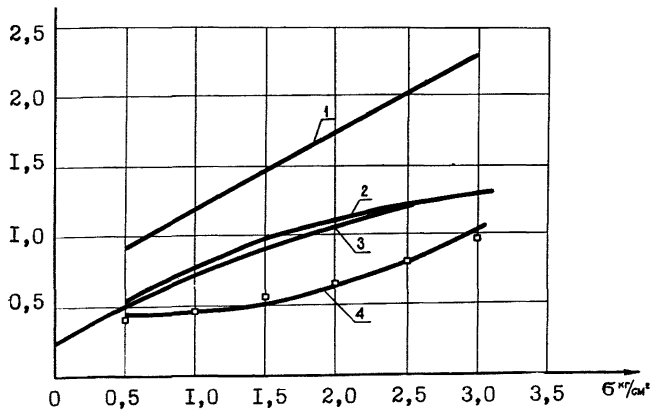
б –графики сопротивления сдвигу пород гидроотвала "Березовый Лог" I –песок (ρ =35°, К =0 кг/см²); II –меловая паста (ρ =35°, К =0,05 кг/см²); III –суглинисто-меловая паста (ρ =32°, К =0,05 кг/см²); IУ –суглинисто-песчаная паста (ρ =25°, К =0,2 кг/см²); У –суглинистая паста (ρ =22°, К =0,I кг/см²); УI –суглинок основания (ρ =20°, К =0,3 кг/см²);

в –графики сопротивления сдвигу намывных пород гидроотвала № I комбината КМАруда.

Установление корреляционной зависимости между результатами вращательного среза и лабораторными определениями сопротивления сдвигу

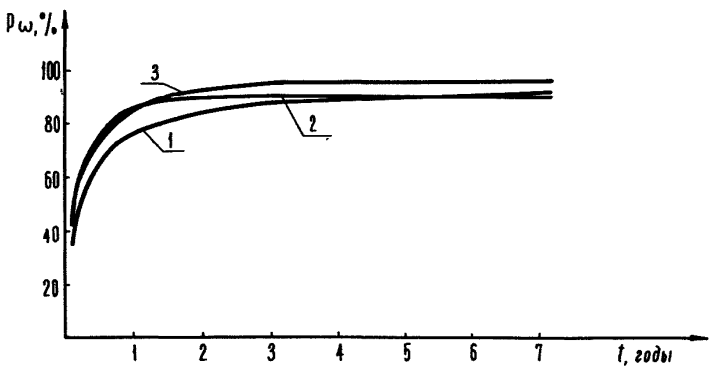


•--максимальное сопротивление вращательному срезу
●-устойчивое сопротивление вращательному срезу



I –график максимального сопротивления вращательному срезу ($\tau_м$)
2 –график устойчивого сопротивления вращательному срезу ($\tau_у$)
3 –расчетный график сопротивления сдвигу по лабораторным испытаниям ($\tau_р$)
4 – $\tau_м - \tau_р = (0{,}112\sigma^2 - 0{,}163\sigma + 0{,}5)$ кг/см²

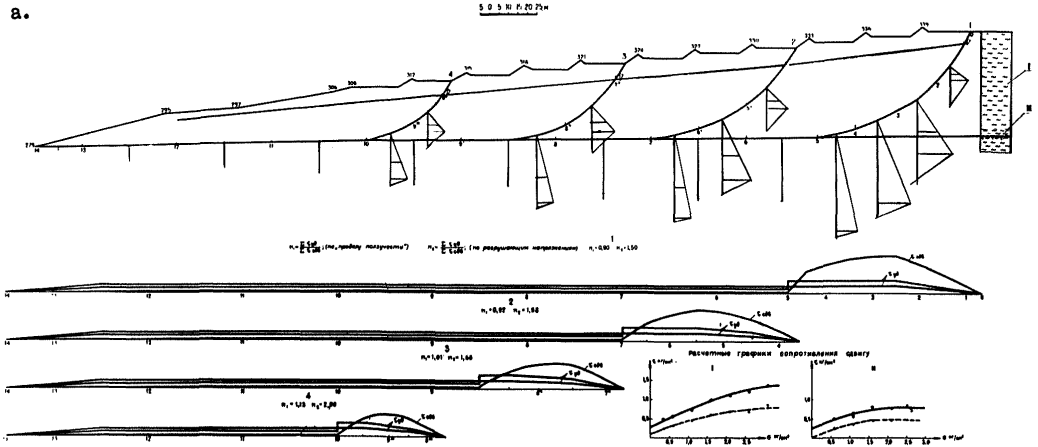
Сравнение результатов определения избыточного порового давления



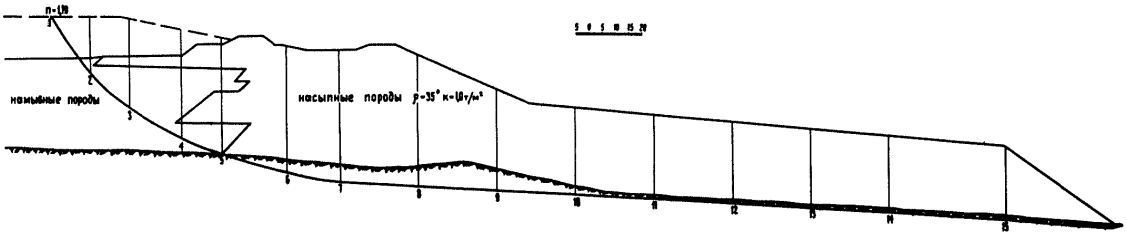
I – по решению /I0/, 2 – по данным электромоделирования, 3 – по решению /I9/.

Примеры расчетов устойчивости откосов гидроотвалов

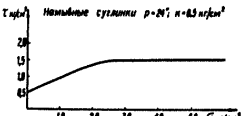
а.

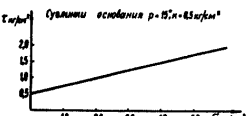


б.



Расчетные графики сопротивления сдвигу



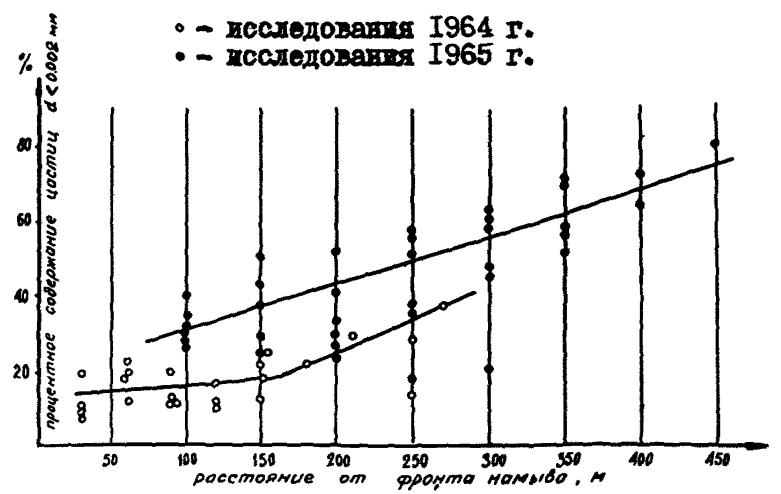


№ блока	Ширина блока, b, м	Высота блока, h, м	Вес блока, P, т	Удельное сцепление грунта основания, k, т/м²	tgφ	cosφ	cos²φ	P·tgφ	P·cos²φ	Длина вертикальной грани сооружения, l, м	Горизонтальная составляющая давления грунта, Eгор, т	Вертикальная составляющая давления грунта, Eвер, т	Момент сопротивления сдвигу, Mсд, тм	Момент опрокидывания, Mоп, тм	Коэффициент устойчивости, K
1	15	11	330	9,5	0,42	0,57	0,32	290	106	20	4,1	-	5,0	130	
2	15	29	870	40	0,64	0,77	0,59	560	514	20	25,4	-	5,0	100	
3	20	37	1480	30	0,50	0,87	0,76	740	1130	23	49,2	12,2	10,0	230	
4	15	43	1290	20	0,34	0,94	0,88	440	1140	16	73,2	23,2	15,0	340	
5	25	47	2350	16	0,28	0,96	0,92	660	2160	25	83	36	12,5	325	
6	20	47	1880	10	0,17	0,98	0,96	320	1810	20	98,5	43,5	14,5	290	
7	30	52	3120	4	0,07	1,0	1,0	218	3120	30	104	52	15,0	540	
8	30	44	2640	4	0,07	1,0	1,0	185	2640	30	88	44	16,0	480	
9	30	33	1980	4	0,07	1,0	1,0	139	1980	30	66	33	13,1	393	
10	30	32	1920	4	0,07	1,0	1,0	134	1920	30	64	32	12,8	384	
11	30	31	1860	4	0,07	1,0	1,0	130	1860	30	62	31	12,6	378	
12	30	30	1800	4	0,07	1,0	1,0	126	1800	30	60	30	12,4	372	
13	30	29	1740	4	0,07	1,0	1,0	121	1740	30	58	29	12,2	366	
14	43	28	2418	4	0,07	1,0	1,0	152	2418	43	56	28	11,8	507	
15	43	15	1290	4	0,07	1,0	1,0	90	1290	43	30	15	8,7	374	
16								4295						5189	

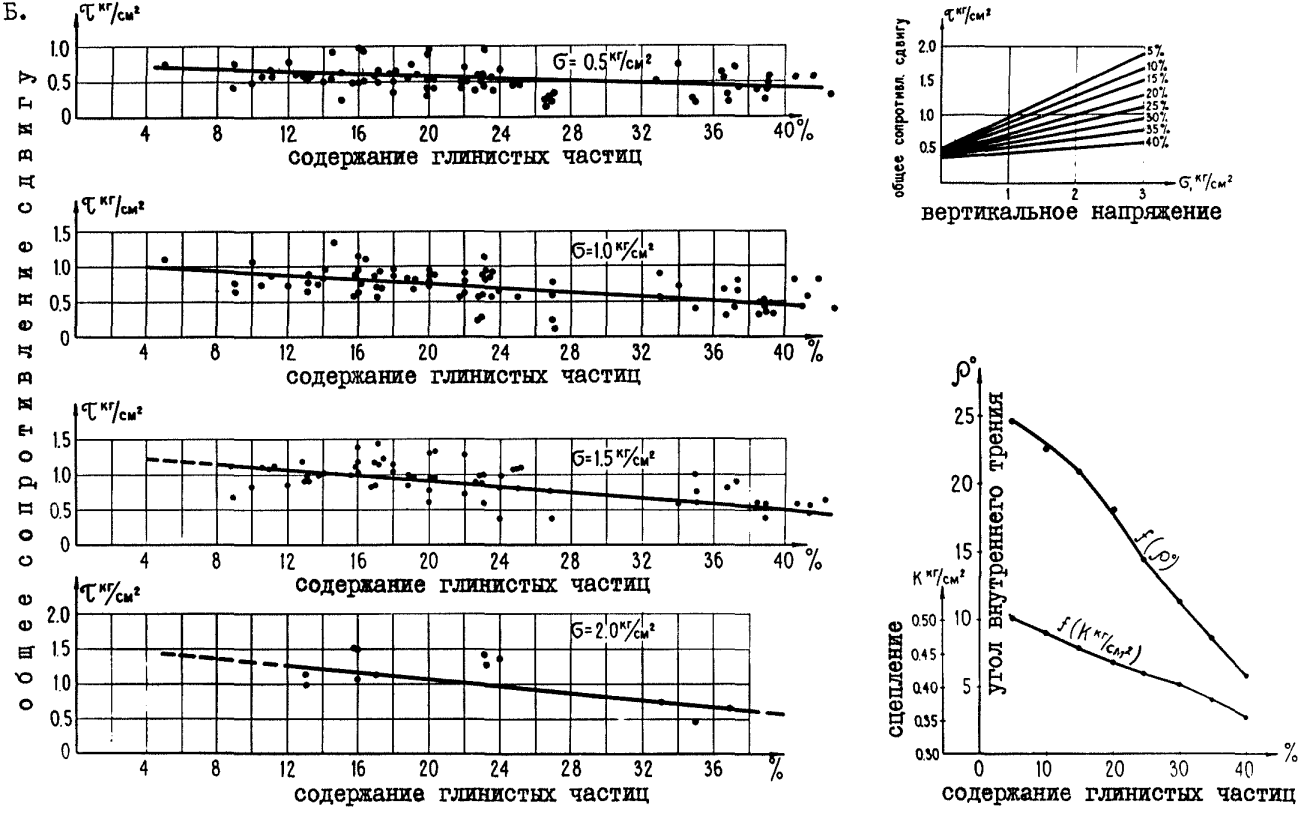
а - гидроотвал "Южный" Назаровского разреза;
б - гидроотвал Акташский разреза им. Вахрушева.

Зависимость соотношения сопротивления сдвигу намывных пород от расстояния от фронта намыва и % содержания глинистых частиц

А.



А. Изменение содержания глинистых частиц в зависимости от расстояния от фронта намыва



Б. Изменение сопротивления сдвигу намывных пород в зависимости от процентного содержания в них глинистых частиц.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. Влияние технологии намыва на устойчивость откосов гидроотвалов	8
I.I. Основные понятия и термины	8
I.2. Анализ технологии намыва гидроотвалов в связи с их устойчивостью	I0
I.3. Деформации откосов гидроотвалов	I4
I.4. Факторы, влияющие на устойчивость гидроотвалов	I5
I.5. Задачи и состав исследований устойчивости откосов при проектировании, строительстве и эксплуатации гидроотвалов	I6
2. Методика определения физико-механических свойств песчано-глинистых пород гидроотвалов и их основания	26
2.I. Состав исследований	26
2.2. Методика отбора образцов и изучения физико-механических свойств пород в лабораторных условиях	29
2.3. Методика полевых определений физико-механических свойств пород основания и массива гидроотвалов	42
2,4. Консолидация намывных пород и пород основания гидроотвала. Способы определения избыточного порового давления	47
3. Расчет устойчивости гидроотвала	56
3.I. Расчетная схема и порядок расчета устойчивости гидроотвала	56
4. Рекомендации по гидроотвалообразованию в строительный и эксплуатационный периоды	60
4.I. Рекомендации по подготовке основания гидроотвала	60
4.2. Рекомендации и мероприятия по обеспечению устойчивости при намыве гидроотвалов	63
4.3. Дренаж гидроотвалов	68
5. Контроль при строительстве и эксплуатации гидроотвалов	75
5.I. Состав работ	75
5.2. Контроль при строительстве гидроотвалов	76
5.3. Контроль при намыве гидроотвалов	77
Приложения	85

gost.e-ecolog.ru

НИМИ Заказ № 86 Тираж 500 27/XII-74 г.
М-26231 Объем 4 п.л. Цена 53 коп.