Министерство энергетики и электрификации СССР
Главниипроект

ВСЕСОЮЗНЫЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА
ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДРЕНИРОВАННЫХ ЗОЛООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 64-77
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1977

gost.e-ecolog.ru

Министерство энергетики и электрификации СССР
Главниипроект

ВСЕСОЮЗНЫЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА
ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДРЕНИРОВАННЫХ ЗОЛООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 64-77
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1977

УДК 621.182.0

«Руководство» регламентирует вопросы проектирования дренированных золоотвалов и служит дополнением к «Руководству по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций», П 20-74.

В «Руководстве» рассматриваются общие положения проектирования и выбор конструкции дренированного золоотвала, разделение по крупности золошлаковых материалов в классификаторах, технология намыва дренированных золоотвалов, особенности формирования намываемого материала на дренированное основание и расчет уклонов поверхности намыва, расчет длины зоны инфильтрации, проектирование дренажной сети в основании отвала, проектирование гранулометрического состава обратных фильтров дренажей, контрольно-измерительная аппаратура.

Применение дренированных золоотвалов дает возможность отказаться в большинстве случаев от возведения дамб наращивания и обеспечивает получение осветленной воды, полностью очищенной от взвеси в результате фильтрации водной составляющей пульпы через намываемый золошлаковый материал.

В связи с недостаточным опытом проектирования и возведения дренированных золоотвалов настоящее «Руководство» следует рассматривать, как временное, так как некоторые положения «Руководства» в дальнейшем могут подвергнуться пересмотру и уточнению.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева (ВНИИГ), 1977.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1974 г. ВНИИГом совместно с Теплоэлектропроектом издано «Руководство по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций», П 20-74, в котором изложены вопросы проектирования и расчета золоотвалов (при гидравлической системе удаления золошлаковых материалов) с отстойным прудом для осветления сточной воды. Существующая система складирования золошлаковых материалов и осветления сточной воды перенесена с отвалов (хвостохранилищ) отходов производства обогатительных фабрик цветной и черной металлургии и в течение более 40 лет практически сохраняется без изменения со всеми присущими ей недостатками. Например, на действующих золоотвалах нередки случаи, когда почти половина площади используется под отстойный пруд, в пределах которого объем складируемого золошлакового материала на единицу площади значительно меньше, чем на остальной части отвала, при изменяющихся погодных условиях отстойный пруд зачастую не обеспечивает стабильного (во времени) осветления воды. Для возведения дамб наращивания и ограждающих дамб требуется большой парк механизмов, что существенно удорожает складирование золошлакового материала ТЭС.

Сотрудниками Теплоэлектропроекта Г. С. Агеевым, И. П. Куцовым и Л. В. Юсимом предложен новый тип отвала, так называемый «дренированный золоотвал», в основании которого (или в пределах боковой его зоны) устраивается развитая дренажная сеть, рассчитанная на прием водной составляющей пульпы. Разработка методик расчетов и конструктивных решений дренированных золоотвалов разных типов выполнена в лабораториях грунтовых сооружений и фильтрационных исследований ВНИИГа В. А. Мелентьевым, М. П. Павчичем, В. Г. Пантелеевым, В. И. Аравиным и В. Н. Жиленковым.

В процессе намыва дискретного материала на дренированную поверхность вода, профильтровавшаяся через намытые отложения, освобождается от взвеси, а частицы материала остаются на поверхности этих отложений. На таком отвале в общем случае отпадает необходимость возведения дамб наращивания и организации отстойного пруда.

Одним из основных вопросов проектирования дренированных золоотвалов является расчет длины откоса намыва, в пре-

делах которой вся водная составляющая пульпы, сбрасываемой из разводящего пульпопровода на откос, профильтровывается через намываемые отложения. Решение этого вопроса должно учитывать закономерности растекания пульпы на откосе намыва и фильтрационную способность отложений. Установление закономерностей растекания пульпы потребовало выполнения обширных натурных экспериментальных исследований русловых процессов в пространственных условиях на золоотвалах и гидроотвалах, на основании которых была разработана методика расчета многорукавных наносонесущих потоков.

В результате был создан метод вычисления площади смоченной поверхности откоса намыва и определения длины зоны инфильтрации водной составляющей пульпы в зависимости от удельного расхода руслоформирующего потока и фильтрационной способности отложений.

Были также разработаны основы расчета инфильтрации при блуждании потоков пульпы на откосе намыва. Составлены способ расчета профиля поверхности намыва золошлакового материала, методика проектирования дренажной сети в основании отвала и подбора обратных фильтров дренажей.

Предложена классификация дренированных золоотвалов. Все положения, необходимые для обоснования проектирования дренированных золоотвалов и принятые в основу настоящего «Руководства», разрабатывались лабораторными грунтовых сооружений и фильтрационных исследований ВНИИГа в течение 1972—1975 гг.

Разработанные методы расчета дренированных золоотвалов могут быть использованы не только, когда в основании золоотвала проектируется дренажная сеть, но и в случае фильтрующих грунтов, залегающих на территории, предназначенной для складирования золошлакового материала (при согласовании с органами санитарного надзора допустимости фильтрации в основании отвала). Первая редакция «Руководства», составленная в 1975 г. во ВНИИГе, была разослана для ознакомления во многие проектные, производственные и научно-исследовательские организации. На первую редакцию были получены отзывы от следующих организаций:

Новосибирского отделения Теплоэлектропроекта;
Рижского отделения Теплоэлектропроекта;
Уральского отделения Теплоэлектропроекта;
Львовского отделения Теплоэлектропроекта;
Харьковского отделения Теплоэлектропроекта;
Теплоэлектропроекта;
Южного отделения ОРГРЭС;
Проектного института Союзводоканалпроект;
Всесоюзного научно-исследовательского института нерудных строительных материалов и гидромеханизации (ВНИИНеруд).

Вторая редакция «Руководства» разработана с учетом замечаний перечисленных организаций.

«Руководство по проектированию дренированных золоотвалов тепловых электрических станций» составлено в комплексной лаборатории грунтовых сооружений ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева зав. сектором намывных сооружений доктором техн. наук В. А. Мелентьевым. Приложение 2 составлено ст. научн. сотр. канд. техн. наук Г. Х. Праведным и инж. О. А. Румянцевым, а приложения 3 и 4 — ст. научн. сотр., канд. техн. наук В. Г. Пантелеевым.

В составлении «Руководства» приняли участие от Теплоэлектропроекта: зам. гл. инженера Г. С. Агеев, гл. специалисты Т. Н. Булычев и К. П. Боричев, гл. инженер проекта Д. С. Седлович.

В текст «Руководства» внесены замечания комиссии Ученого Совета ВНИИГа.

Министерство энергетики и электрификации СССР	**Руководство по проектированию дренированных золоотвалов тепловых электрических станций**	П 64-77 ВНИИГ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее «Руководство» регламентирует вопросы проектирования дренированных золоотвалов тепловых электрических станций и служит дополнением к «Руководству по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций», П 20-74.

Примечание. В настоящем «Руководстве» использованы почти все термины, принятые в «Руководстве» П 20-74. Дополнительно введены следующие термины:

шлаковая зона — зона отложений шлаковых частиц (крупнее 0,25 мм) при почти полном отсутствии зольных;

золошлаковая зона — зона отложений смеси шлаковых и зольных частиц;

зольная зона — зона отложений зольных частиц.

1.2. Дренированные золоотвалы подразделяются на следующие типы (рис. 1).

Золоотвал I-А имеет дренированное основание по всей площади. На золоотвалах этого типа вся водная составляющая пульпы профильтровывается через намытые на надводном откосе отложения и поступает в дренажную систему основания. Для золоотвалов типа I-А отпадает надобность в дамбах наращивания и водосбросных сооружениях.

Золоотвал I-Б — золоотвал с дренированным основанием в пределах надводного откоса намыва и места скопления водной составляющей пульпы (пруды инфильтрации). На золоотвале этого типа водная составляющая пульпы в основном профильтровывается через отложения зоны подводного намыва, так как несмотря на более низкий коэффициент фильтрации отложений этой зоны, площадь, покрытая водой

Внесено Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им. Б. Е. Веденеева и Всесоюзным Государственным проектным институтом Теплоэлектропроект	Утверждено ВНИИГом им. Б. Е. Веденеева решением № 61 от 7 июня 1977 г. по согласованию с Главниипроектом Минэнерго СССР	Срок введения IV квартал 1977 г.

(площадь инфильтрации), здесь значительно выше смоченной площади надводного намыва. Водосбросные колодцы и водоотводящие коллекторы на золоотвалах типа I-Б могут предусматриваться лишь как резервные.

Примечание. Дренажная система под надводным откосом намыва проектируется в основном для снижения кривой депрессии.

Золоотвал I-В — комбинированный золоотвал с дренированным основанием боковой зоны и с отстойным прудом (в пределах которого устраиваются водосбросные колодцы и водоотводящий коллектор). На золоотвале этого типа не предусматривается устройство дамб наращивания, так как боковая

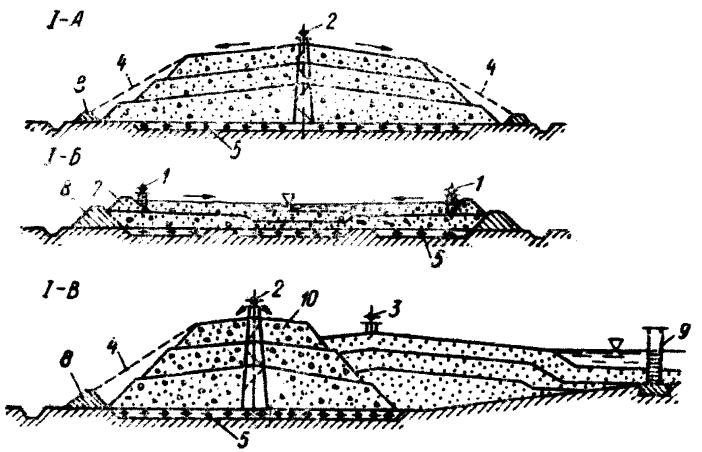


Рис. 1. Типы конструкции дренированных золоотвалов

I-А—золоотвал, образованный надводным намывом; I-Б—золоотвал с прудом инфильтрации; I-В—комбинированный золоотвал с дренированной боковой зоной и отстойным прудом; *1*—пульпопровод для золошлакового материала; *2*—пульпопровод для шлака; *3*—пульпопровод для золы; *4*—проектный откос; *5*—трубчатые дрены; *6*—эстакада; *7*—дамба наращивания; *8*—первичная дамба; *9*—водосбросной колодец; *10*—боковая зона.

зона, определяющая общую устойчивость сооружения, формируется в результате раздельного намыва шлака или крупного золошлакового материала, при инфильтрации водной составляющей пульпы (по типу золоотвала I-А). Таким образом, здесь намывом создается боковая зона, заменяющая дамбы наращивания.

Примечание. Примеры действующих дренированных отвалов приведены в приложении 1.

1.3. В общем случае дренированные золоотвалы позволяют обеспечить:

а) отказ от возведения дамб наращивания с помощью «сухоройной» механизации;

б) формирование более плотных отложений золошлакового материала за счет намыва на дренированное основание;

в) возможность образования боковых зон отвала, надежно определяющих общую устойчивость сооружения за счет низкого положения кривой депрессии и повышенных прочностных свойств отложений золошлакового материала;

г) возможность получения осветленной воды, полностью очищенной от взвеси в результате фильтрации водной составляющей пульпы через намываемый золошлаковый материал.

Для золоотвала типа I-А, кроме того, обеспечиваются безопасные условия эксплуатации вследствие отсутствия отстойного пруда, в котором сосредоточены обычно большие объемы минерализованной воды.

1.4. При технико-экономическом сопоставлении на стадии ТЭО или на стадии технического проекта дренированных золоотвалов с другими типами золоотвалов должны быть учтены следующие факторы:

1) Химико-минералогический состав золошлаковых материалов. По классификации ВТИ золошлаковые материалы 1 группы («Руководство по проектированию золоотвалов ТЭС», П 20-74) характеризуются цементирующей способностью вследствие наличия кальций — и магнийсодержащих минералов, суммарное содержание CaO и MgO в которых в пересчете на окисную форму составляет более 15%. На золоотвалах, на которых складируются золошлаковые материалы 1 группы, наблюдается высокая минерализация фильтрационной воды (до 20—30 г/л) за счет вымыва из отложений растворимых соединений, что может привести к обрастанию карбонатами дренажных труб и даже к их закупорке. Кроме того, установлено снижение во времени коэффициента фильтрации отложений золошлаковых материалов 1 группы, поэтому дренированные золоотвалы рекомендуется проектировать лишь для золошлаковых материалов II и III групп.

Таблица 1

Годовой выход золошлаковых материалов на ТЭС, тыс. т	Площадь золоотвалов, га	Примечание
<100	10—80	Большие площади относятся к равнинным золоотвалам
100—500	20—200	
500—1000	60—300	
1000—1500	100—400	
>1500	200—500	

2) Климатические условия района. В суровых зимних условиях возможно замерзание поверхности отложений золошлакового материала при блуждании русловых потоков на надводном откосе намыва золоотвала, что неизбежно приведет к значительному снижению коэффициента фильтрации верхнего слоя отло-

жений. Поэтому надводный намыв на дренированные основания в зимних условиях, как правило, не рекомендуется.

3) Местные топографические и гидрологические условия. Дренированные золоотвалы не рекомендуется размещать в пределах часто затопляемой поймы рек, вследствие возможности выхода из строя дренажной системы на время паводков.

4) Площадь отвалов. Предварительную оценку необходимой площади отчуждения для золоотвалов вновь строящихся тепловых электрических станций по годовому выходу золошлакового материала можно получить из табл. 1, составленной на основании результатов обследования большого количества действующих золоотвалов.

1.5. Выбор типа дренированного золоотвала производится на основании следующих соображений.

Тип I-А следует использовать только для складирования шлака угольных топлив: жидкого измельченного, жидкого неизмельченного, твердого измельченного, твердого неизмельченного (крупного и средней крупности), т. е. материала, коэффициент фильтрации которого в намытом теле $k_{\Phi} \geqslant 10 \div 20$ м/сут.

Золоотвал типа I-А рекомендуется применять для складирования шлака в теплое время года в тех случаях, когда шлак используется в народном хозяйстве.

Золоотвал типа I-Б рекомендуется проектировать при совместном удалении золошлаковой пульпы на небольших ТЭС при расходе пульпы $Q \leqslant 500 \div 1000$ м³/ч.

Этот тип золоотвала пригоден для эксплуатации и в зимнее время. Дамбы наращивания по периметру возводятся нагребанием золошлакового материала с помощью бульдозера.

Золоотвал типа I-В рекомендуется проектировать: а) при раздельном удалении золы и шлака на ТЭС, причем шлак используется для намыва боковой зоны; б) при совместном удалении золы и шлака с применением классификаторов для отбора из пульпы фракций крупнее 0,05—0,10 мм и использования их для намыва боковой зоны золоотвала.

Золовая пульпа направляется по разводящему пульпопроводу в центральную часть отвала, осветление сточной воды производится в отстойном пруде. Золоотвал этого типа может применяться в различных климатических условиях, причем возведение боковой зоны на дренированном основании производится с опережением по высоте в теплое время года для того, чтобы обеспечить емкость для складирования золошлакового материала зимой.

1.6. Во всех случаях проектирования дренированных отвалов следует предусматривать сгущение пульпы в системе ГЗУ, например, с помощью специальных сгустителей конструкции ВНИИНеруда и др. Это мероприятие позволит уменьшить расход водной составляющей пульпы, подаваемой на отвал, что приведет к сокращению длины зоны инфильтрации и снижению

протяженности дренажной сети в основании. Место установки сгустителя определяется режимом работы гидротранспортной системы и условиями использования осветленной воды.

1.7. Окончательный выбор типа золоотвала для конкретных условий данной тепловой электрической станции выполняется с учетом технико-экономической оценки на стадии ТЭО или технического проекта всех возможных вариантов золоотвалов (дренированных и недренированных).

1.8. В случае наличия фильтрующих грунтов, залегающих на территории, предназначенной для складирования золошлакового материала, взамен устройства дренажной сети под золоотвалом может быть предусмотрен отток водной составляющей пульпы в грунты основания (при условии согласования с органами санитарного надзора, рыбоохраны, Минмелиоводхоза и других организаций).

2. АППАРАТЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Разделение по крупности золошлаковых материалов (в случае их совместного удаления с ТЭС) при возведении золоотвалов типа I-В производится с целью отбора крупной золы и шлака для намыва боковой зоны отвала на дренированном основании.

2.2. Для разделения золошлакового материала по граничной фракции 0,05—0,10 мм могут быть использованы следующие классификаторы [1]:

а) инерционные классификаторы ГЦГ-М ВНИИНеруда;

б) гравитационные классификаторы ВНИИГСа;

в) горизонтальные классификаторы ВНИИСтройдормаша.

Возможно также индивидуальное проектирование классификаторов других типов.

Примечание. По состоянию на 1976 г. перечисленные классификаторы не были испытаны на золошлаковом материале, поэтому в каждом конкретном случае при использовании таких классификаторов рекомендуется привлекать для выполнения опытных работ научно-исследовательские организации, например, ВНИИНеруд (445008, г. Тольятти, Куйбышевская обл., Ярославская ул., 46), ВНИИГС (193148, г. Ленинград, Карловская ул., 4) и др.

2.3. Для отделения из золошлаковой пульпы частиц шлака крупнее 3—5 мм, что необходимо при рассредоточенном намыве из выпусков небольшого сечения во избежание их закупорки, рекомендуется использовать гидрогрохоты, например конструкции ВНИИНеруда, треста Уралсибгидромеханизации и др. Для уменьшения размеров крупных кусков шлака возможно применение дробилок.

---

[1] **Методика** расчета технологических параметров сгустительно-обогатительных аппаратов, ВНИИНеруд, Тольятти, 1974. 35 с.

Сборник статей по проектированию и эксплуатации установок с прямоточными классификаторами, Труды ВНИИГС, Ленинград, 1962. 151 с.

3. ТЕХНОЛОГИЯ НАМЫВА ДРЕНИРОВАННЫХ ЗОЛООТВАЛОВ

3.1. При проектировании технологии намыва дренированных отвалов необходимо обеспечивать максимально возможное рассредоточение сброса пульпы по длине фронта намыва путем устройства выпусков минимального диаметра на разводящем пульпопроводе.

3.2. Минимальный диаметр отверстия выпуска на разводящем пульпопроводе по условию его незабиваемости крупными кусками шлака и другими предметами при работе гидрогрохота и без него для случая совместного и раздельного удаления золы и шлака определяется согласно табл. 2.

Таблица 2

Система золошлакоудаления	Минимальный диаметр выпуска, мм	Минимальное расстояние между выпусками, м
Совместное удаление золы и шлака	100—150	40—50
То же, но с применением гидрогрохотов для отбора фракций крупнее 3—5 мм	20—50	10—20
Раздельное удаление золы	10—20	1—3

3.3. Расчет расхода пульпы из выпуска пульпопровода рекомендуется выполнять по формулам гидравлики чистой воды для случая истечения через отверстия и насадки:

$$Q_0 = \mu\omega\sqrt{2gH_0},$$

где μ — коэффициент расхода; ω — площадь сечения выпуска; g — ускорение силы тяжести; H_0 — полный напор над центром отверстия.

3.4. Выпуски на разводящем пульпопроводе должны быть оборудованы задвижками или съемными заглушками.

3.5. Для намыва золоотвала типа I-А разводящий пульпопровод прокладывается на эстакаде, конструкция которой разрабатывается применительно к принятой высоте отвала или его яруса. При намыве золоотвала типа I-Б разводящий пульпопровод прокладывается на П-образных опорах или на низкой эстакаде.

3.6. Для намыва золоотвала типа I-В прокладываются две нитки разводящего пульпопровода: одна для транспорта крупных фракций золы и шлака (используемых для намыва боковой зоны) и вторая — для транспорта золы, которая должна подаваться в центральную часть отвала. За безморозный период намыв боковой зоны должен обеспечить такое опережение центральной части по высоте, чтобы беспрепятственно заполнять золоотвал в течение зимы при прекращении намыва боковой зоны на дренированное основание.

Объем боковой зоны назначается в соответствии с количеством выдаваемых ТЭС крупных фракций золошлакового материала, а также определяется вопросами устойчивости золоотвала.

3.7. При возведении золоотвалов типа I-А и I-В рекомендуется предусматривать устройство по наружной грани откоса намыва валика обвалования высотой 0,5—1,0 м для предотвращения случайного растекания потока пульпы за пределы расчетной длины откоса намыва.

3.8. При намыве золошлакового материала на дренированное основание имеет место некоторое упрочнение намытого материала [1] за счет вертикальной составляющей потока фильтрационной воды. Указанная особенность намыва определяет возможность более свободного движения «сухоройных» механизмов по отложениям золы и шлака, намытых на дренированное основание, по сравнению с намывом на водоупорное основание.

4. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАМЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ДРЕНИРОВАННОЕ ОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ УКЛОНОВ ПОВЕРХНОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ

4.1. При проектировании намыва на дренированное основание на отвалах типа I-А и I-В необходимо учитывать следующие особенности процесса формирования отложений.

Намываемый материал осаждается на такой длине откоса намыва, в пределах которой вся водная составляющая пульпы профильтровывается в дренированное основание. Эта длина откоса намыва соответствует длине зоны инфильтрации $L_{\text{и}}$. За границей зоны инфильтрации откос формируется вследствие сползания частиц материала под воздействием силы тяжести. Уклон такого откоса близок к тангенсу угла естественного откоса влажного материала.

Примечание. После намыва каждого яруса золоотвала внешний откос должен быть уположен до проектного очертания и закреплен для предотвращения пылеобразования.

4.2. При сбросе пульпы из отдельных выпусков и при свободном ее растекании на откосе намыва имеет место образование русловых блуждающих потоков (многорукавных русел). В системе многорукавных русел может быть выделено главное русло, расход в котором больше, чем в остальных руслах. Возможны случаи образования на откосе намыва однорусловой потока после «отмирания» второстепенных русел (рис. 2).

Эти экспериментально установленные закономерности растекания русловых потоков на откосе намыва связаны с особен-

[1] **Ларина Э. А., Пантелеев В. Г.** О факторах, влияющих на прочность намытого золошлакового материала. — «Энергетическое строительство», № 3, 1977, с. 7—9.

ностью взаимодействия потока пульпы и русла, сложенного из намываемого дискретного материала.

4.3. Ширину и глубину русел потоков пульпы на надводном откосе намыва рекомендуется определять с помощью следующих формул [1], полученных для русел шириной более 0,15—0,20 м:



Рис. 2. Русловые потоки на откосе намыва золоотвала.

$$B = 3{,}52\,(1 + 3{,}5c_p^{2/3})\left(\frac{d_{50}}{d_*}\right)^{1/6}\left(\frac{Q_i}{\sqrt{g}}\right)^{2/5},$$

$$\frac{\sqrt{B}}{H} = 0{,}023\,(1 + 7c_p^2)\left(\frac{d_{50}}{d_*}\right)^{2/3}\frac{1}{d_{50}^{1/2}},$$

Q_i — расход пульпы в русле, м³/с; c_p — придонная консистенция пульпы; d_{50} — медианная (средняя) крупность намытого материала на относительном расстоянии x/L от выпуска пульпы, мм; $d_* = 0{,}005$ мм.

Для облегчения расчетов по формулам приведена номограмма рис. I.

4.4. Осаждение частиц золы и шлака на откосе намыва сопровождается в общем случае фракционированием — раскладкой частиц по крупности от места выпуска из пульпопровода до уреза отстойного пруда и далее в пределах отстойного пруда до водосбросного колодца.

---

[1] **Пантелеев В. Г.** Процесс намыва и морфометрические характеристики русел на отвалах ТЭС. — «Известия ВНИИГ», т. 107, 1975, с. 239—256.

Изменение медианной крупности золошлакового материала по длине надводного откоса намыва представлено в виде графика, приведенного на рис. 3.

$$d_{50} = f\left(\frac{x}{L}\right).$$

Здесь x — расстояние от выпуска пульпы; L — длина откоса намыва.

Примечание. Гранулометрические составы разновидностей шлака и золы на ТЭС приведены в приложении 4.

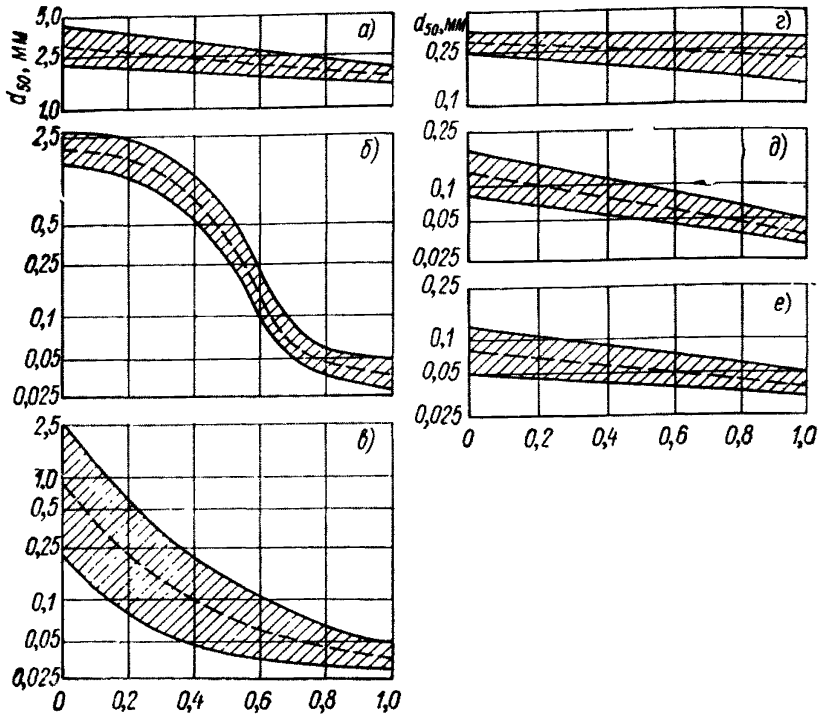


Рис. 3. График $d_{50} = f(x/L)$

а—раздельное удаление жидкого шлака; *б*—совместное удаление золы и жидкого шлака; *в*—совместное удаление золы и твердого шлака (крупного и средней крупности); *г*—раздельное удаление твердого шлака; *д*—совместное удаление золы и твердого шлака; *е*—раздельное удаление золы.

4.5. Для вычисления уклона профиля поверхности намытого золошлакового материала рекомендуется следующая формула [1]:

$$J = \left(\frac{C + \sqrt{C^2 + 4B}}{2B}\right)^2,$$

где

$$C = \frac{0{,}14\sqrt{gh}\,d_{50}}{\nu_{\text{п}}};$$

[1] **Пантелеев В. Г.** Уклоны поверхности отложений при намыве сыпучих материалов на отвалах (хвостохранилищах, золоотвалах, шлакоотвалах и пр.). — «Известия ВНИИГ», т. 108, 1976, с. 55—68.

$$B = \frac{\sqrt{gh}\, d_{50}}{\nu_п \sqrt{П}}.$$

Здесь h — глубина потока пульпы, см. (определяется по номограмме рис. 1); d_{50} — средняя (медианная) крупность намытого материала, см. (определяется с помощью графика рис. 3); $\nu_п$ — коэффициент кинематической вязкости пульпы (принимается равным 0,01 см²/с);

$$П = 1{,}1\,(1 + 30\sqrt[3]{c_p})\,\bar{\rho}_a' g d_{50},$$

где c_p — придонная консистенция пульпы принимается в первом приближении равной средней консистенции в долях единицы; g — ускорение силы тяжести, см/с²;

Таблица 3

Характеристики намытых отложений				Параметры потока пульпы		Вычисленные параметры			
Длина участка, м	Средняя крупность, см	Средний агрегатный удельный вес, гс/см³	Угол естественного откоса	Глубина потока, см	Коэффициент кинематической вязкости воды, см²/с	$П$	B	C	Уклон $I_п$
30	0,0095	3,34	—	6,0	0,01	446	265	10,7	0,0072
100	0,0048	2,34	—	6,2	0,01	56,7	423	5,7	0,0031
17,6		—	20°	—	—	—	—	—	0,364

Примечания: 1. Пример расчета уклонов поверхностей отложений при намыве золошлакового материала на дренированное основание приведен в табл. 3. Профиль поверхности отложений, построенный по результатам расчета, приведен на рис. 4.

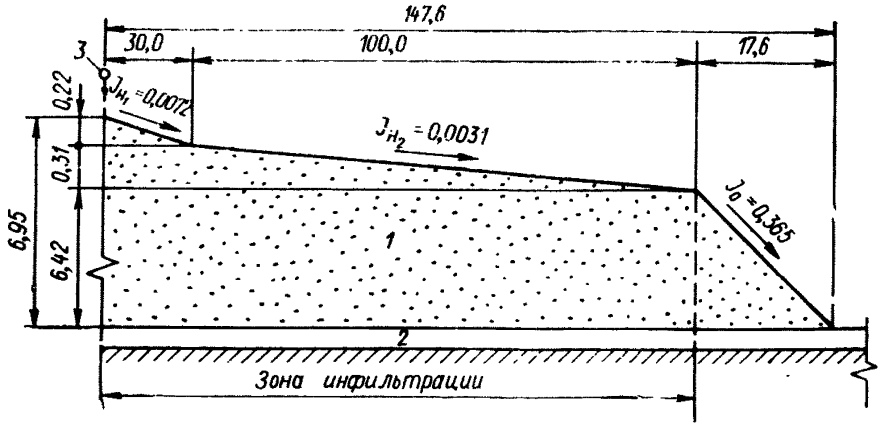


Рис. 4. Профиль намыва на дренированное основание
1—тело намыва; *2*—дренированное основание; *3*—выпуск пульпопровода.

$$\bar{\rho}_a{}^1 = \frac{\bar{\rho}_a - \rho_0}{\rho_0},$$

$\bar{\rho}_a$ — агрегатный удельный вес намытого на надводном откосе материала принимается согласно приложению 4; ρ_0 — удельный вес воды, 1 гс/см³.

2. Для определения параметров $П$, B и C приведены номограммы на рис. IIа, IIб и IIв соответственно.

3. Для определения уклона поверхности отложений по вычисленным параметрам B и C приведена номограмма на рис. IIг.

4.6. Для ориентировочного определения уклона поверхности отложений золошлакового материала при намыве рекомендуется табл. 4, составленная по результатам обобщения натурных данных.

Таблица 4

Зона намыва	Уклон намытой поверхности	
	C_p=4–6%	C_p=20–40%
Шлаковая	0,01–0,02	0,05–0,07
Золошлаковая	0,005–0,01	0,02–0,04
Зольная	0,002–0,005	0,005–0,01

Примечание. Большие величины уклонов относятся к рассредоточенному сбросу пульпы из пульпопровода.

5. РАСЧЕТ ДЛИНЫ ЗОНЫ ИНФИЛЬТРАЦИИ ДРЕНИРОВАННОГО ЗОЛООТВАЛА

5.1. Основное условие нормальной работы дренированного отвала — обеспечение такой смоченной площади поверхности отложений, в пределах которой имеет место полная инфильтрация водной составляющей пульпы в дренажную сеть основания отвала. Это достигается за счет общей площади русловых потоков пульпы в пределах надводного откоса намыва и площади зеркала пруда инфильтрации.

5.2. Определение смоченной площади поверхности отложений, исходя из условия п. 5.1, производится с помощью следующей формулы:

$$F_c = \frac{Q_0}{J_ф \bar{k}_ф},$$

где Q_0 — расход водной составляющей пульпы, условно принимаемый равным расходу пульпы, м³/с; $J_ф = \frac{h_ф}{S_ф}$ — градиент фильтрационного напора; $h_ф$ — напор, м; $S_ф$ — длина пути инфильтрации, м; $\bar{k}_ф$ — осредненный по площади коэффициент фильтрации, м/с.

Расчетная формула для определения смоченной площади поверхности отложений при $J_ф = 1$:

$$F_c = \frac{Q_0}{\bar{k}_ф}.$$

5.3. Определение длины зоны инфильтрации в пределах надводного откоса намыва рекомендуется выполнять для наиболее

неблагоприятного случая, когда на откосе намыва формируется однорукавное русло.

Длина однорукавного русла (при осредненном по длине откоса намыва коэффициенте фильтрации), в пределах которой водная составляющая пульпы профильтруется через намываемые отложения в дренажную сеть основания, определяется по формуле

$$L_{и} = \frac{Q_0}{k_{и} J_{ф} \overline{k}_{ф} \frac{B_0}{2} a},$$

где Q_0 — начальный руслоформирующий расход водной составляющей пульпы в потоке, м³/с; $k_{и} = 1{,}15$ — средний коэффициент извилистости русла; $J_{ф} = 1$ — градиент фильтрационного потока; $\overline{k}_{ф}$ — осредненный коэффициент фильтрации отложений, м/с; B_0 — максимальная ширина русла вблизи выпуска, м; $a = 1{,}15$ — поправочный коэффициент, учитывающий нелинейность изменения ширины русла по длине откоса намыва.

Расчетная формула для определения длины зоны инфильтрации

$$L_{и} = 1{,}5 \frac{q_0}{\overline{k}_{ф}},$$

где $q_0 = \frac{Q_0}{B_0}$ — начальный удельный руслоформирующий расход водной составляющей пульпы.

Для облегчения вычисления длины зоны инфильтрации на рис. 5 приводится номограмма.

Вычисление величины q_0 производится при следующих условиях:

Q_0 принимается равным расходу пульпы из одного выпуска диаметром более 20 мм. Для выпусков диаметром 20 мм и менее величина Q_0 принимается как сумма расходов из 2—3 выпусков.

Величина B_0 вычисляется по формуле п. 4.3. При этом донная консистенция пульпы c_p равна расчетной консистенции пульпы. Медианная крупность d_{50} берется по графику рис. 3 для соответствующего по составу материала при $x/L = 0$—$0{,}2$.

Примечание. Минимальный удельный руслоформирующий расход на откосе намыва для данных конкретных условий определяется по результатам специальных исследований.

5.4. Осредненный коэффициент фильтрации намытого золошлакового материала определяется по уточненной формуле М. П. Павчича (справедливой при $d_{17} \leqslant 0{,}1$ см).

$$k_{ф} = 0{,}00085 \frac{g}{\nu} d_{17}^2 \sqrt[3]{\frac{d_{60}}{d_{10}}} (1 - 0{,}85D'),$$

где d_{10}, d_{17}, d_{60} — показатели гранулометрического состава золошлакового материала после классификатора, см; $\nu = 0{,}01$ см²/с — коэффициент кинематической вязкости пульпы; $D' = 0{,}10$ — осредненный коэффициент относительной плотности намытого золошлакового материала; $g = 980$ см/с² — ускорение силы тяжести.

При вычислении коэффициента фильтрации в м/сут расчетная формула приобретает вид: [1]

$$k_ф = 670 d_{17}^2 \sqrt[3]{\frac{d_{60}}{d_{10}}},$$

(d_{10}, d_{17}, d_{60} в мм).

Коэффициент фильтрации отдельных фракций золошлакового материала может быть принят на основании следующих данных:

Фракция, мм	$k_ф$, м/сут
<0,04	0,2
0,04—0,06	1,5
0,06—0,125	8
0,125—0,50	25
0,50—2,0	100
2—3	300
3—5	500

5.5. Величина коэффициента фильтрации отложений на золоотвалах изменяется в следующих пределах:

шлаковая зона $\geqslant$10 м/сут

золошлаковая зона — 1—10 м/сут

зольная зона надводного намыва — 0,1—1 м/сут

зольная зона подводного намыва $\leqslant$0,1 м/сут.

5.6. При проектировании дренированного отвала могут иметь место следующие расчетные случаи.

1. Задана длина зоны инфильтрации золоотвала. Требуется определить начальный удельный расход русла у места выпуска пульпы из пульпопровода и осредненный коэффициент фильтрации отложений золошлакового материала.

Решение этой задачи проводится с помощью номограммы рис. 5 по следующей схеме:

$$L_и \rightarrow q_0 \rightarrow \overline{k}_ф.$$

2. Задан осредненный коэффициент фильтрации отложений золошлакового материала. Требуется назначить начальный удельный расход русла и длину зоны инфильтрации.

Решение этой задачи проводится с помощью номограммы рис. 5 по следующей схеме

$$\overline{k}_ф \rightarrow q_0 \rightarrow L_и.$$

Порядок решения перечисленных задач рассмотрен на следующих примерах.

Пример 1.

Задано: Шлакоотвал типа I-А. Длина зоны инфильтрации $L_и \leqslant 200$ м. Удаление мелкого твердого шлака раздельное. Консистенция пульпы 0,10.

---

[1] **Мелентьев В. А., Пантелеев В. Г., Кириллов В. Н.** Физико-механические свойства золошлаковых материалов тепловых электрических станций. — «Известия ВНИИГ», т. 102, 1973, с. 156—168.

Решение: Согласно табл. 2 проектируем сброс пульпы из выпусков диаметром 100 мм, расход пульпы на выпуске $Q_0 = 0{,}040$ м³/с. По графику рис. 3, *г* определяем среднюю крупность отложений при $x/L = 0—0{,}2$, $d_{50} = 0{,}25$ мм. Придонная консистенция пульпы $c_p = 0{,}10$.

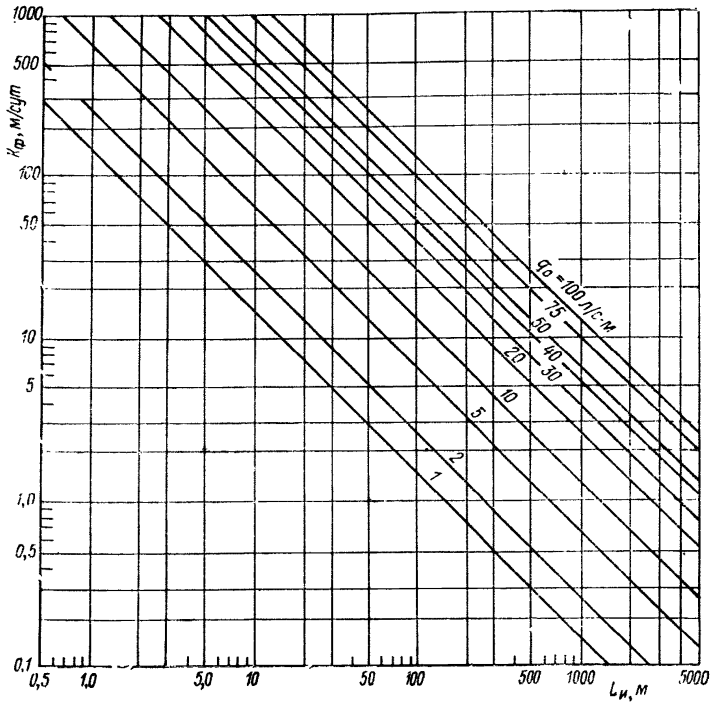


Рис. 5. Номограмма $L_и = f(k_ф, q_0)$.

Рассчитываем начальную ширину однорукавного русла вблизи выпуска пульпы по номограмме рис. I.

$$B_0 = 2{,}5 \text{ м}.$$

Тогда

$$q_0 = \frac{0.04}{2{,}5} = 0{,}016 \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{м} = 16 \text{ л/с}\cdot\text{м}.$$

По номограмме рис. 5 при $L_п = 200$ м и $q_0 = 16$ л/с · м коэффициент фильтрации отложений золошлакового материала должен быть $k_ф = 10$ м/сут.

Согласно п. 5.5 коэффициент фильтрации намытого шлака составляет более 10 м/сут, поэтому заданные условия намыва шлакоотвала при $L_и = 200$ м будут удовлетворяться.

Пример 2

Задано: Коэффициент фильтрации отложений золы $k_ф = 1$ м/сут. Удаление золы раздельное, установка сгустителя не предполагается. Консистенция пульпы $c_s = 0{,}05$

Решение: Согласно табл. 2 проектируется сброс пульпы из выпусков диаметром 20 мм. Расход пульпы на выпуске $Q_0 = 0{,}001$ м³/с. В соответствии с п. 5.3 принимаем начальный расчетный расход $2Q_0 = 0{,}002$ м³/с. По графику рис. 3, *е* определяем среднюю крупность отложений при $x/L = 0—0{,}2$, $d_{50} = 0{,}08$ мм. Придонная консистенция пульпы $c_p = 0{,}05$. Рассчитываем начальную ширину однорукавного русла вблизи выпуска пульпы по номограмме рис. I, $B_0 = 0{,}45$ м. Тогда $q_0 = \frac{0{,}002}{0{,}45} = 0{,}0045$ м³/с · м = = 4,5 л/с · м. По номограмме рис. 5 при $k_ф = 1$ м/сут и $q_0 = 4{,}5$ л/с · м получаем длину зоны инфильтрации $L_и = 500$ м.

Пример 3

Задано: Удаление золы раздельное с установкой сгустителя. Коэффициент фильтрации отложений золы с учетом отмыва части мелких частиц $k_ф = 2$ м/сут. Консистенция пульпы $c_s = 0{,}40$.

Решение. Согласно табл. 2 проектируется сброс пульпы из выпусков диаметром 20 мм. Расход пульпы на выпуске $Q_0 = 0{,}001$ м³/с. В соответствии с п. 5,3 принимаем начальный расход однорукавного русла $2Q_0 = 0{,}002$ м³/с. По графику рис. 3, *е* определяем среднюю крупность отложений при $x/L = 0—0{,}2$, $d_{50} = 0{,}10$ мм (с учетом отмыва части мелких частиц). Придонная консистенция пульпы $c_p = 0{,}40$. Рассчитаем начальную ширину однорукавного русла вблизи выпуска пульпы по номограмме рис. I: $B_0 = 1{,}0$ м. Тогда $q_0 = \frac{0{,}002}{1{,}0} = 0{,}002$ м³/с · м = 2 л/с · м. По номограмме рис. 5 при $k_ф = 2$ м/сут и $q_0 = 2$ л/с · м получаем длину зоны инфильтрации $L_и = 140$ м. Таким образом, применение сгущения пульпы сокращает длину зоны инфильтрации в три с половиной раза.

Таблица 5

Расход водной составляющей пульпы, м³/ч	100	500	1000	2000
Размер пруда, м	150×150	350×350	490×490	690×690
Площадь пруда, га	2,4	12,0	24,0	48,0

5.7. Определение площади пруда инфильтрации золоотвала типа I-Б выполняется с помощью формулы (п. 5.2):

$$F = \frac{Q_0}{k_ф},$$

где коэффициент фильтрации отложений в пределах пруда принимается равным 0,1 м/сут.

В табл. 5 приведена вычисленная площадь пруда инфильтрации и его размеры в плане в зависимости от расхода водной составляющей пульпы.

5.8. В некоторых случаях, например, когда в основании залегают сильнофильтрующие грунты, при длинных откосах намыва (более 150—200 м), а также при больших расходах пульпы на выпуске (более 100—300 м³/ч) возникает необходимость расчета длины зоны инфильтрации при наличии многорукавных русел на надводном откосе намыва и инфильтрации из пруда.

Методика расчета длины зоны инфильтрации при многорукавных руслах на откосе намыва золоотвала приведена в приложении 3.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ В ОСНОВАНИИ ОТВАЛА

6.1. Обязательным элементом дренированных отвалов (кроме случаев, когда отвал располагается на естественном фильтрующем основании) является трубчатый дренаж и водоотводящий коллектор.

Схемы дренажных устройств на дренированных отвалах с фильтрующей подготовкой и без нее приведены на рис. 6.

6.2. При наличии блуждающих однорукавных или многорукавных русел на откосе намыва зона инфильтрации перемещается одновременно с перемещением этих русел; сплошной фильтрационный поток с куполообразной поверхностью устанавливается над дренажной сетью лишь под дном русла.

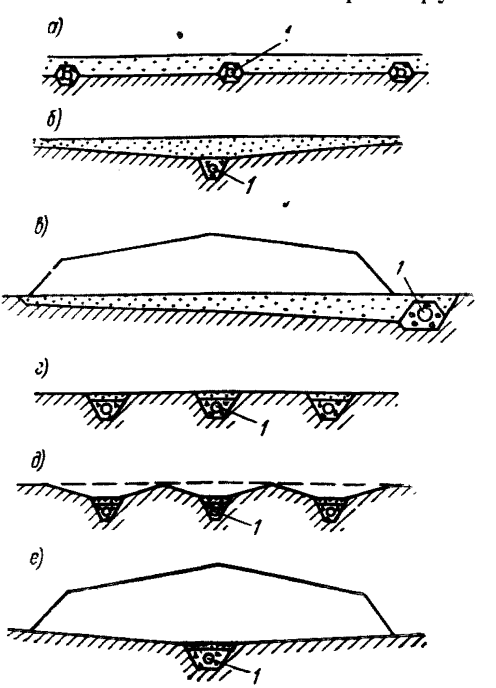


Рис. 6. Схемы дренажных устройств в основании золоотвала *а, б, в*—с подготовкой из крупнозернистого материала; *г, д, е*—без подготовки; *1*—трубчатые дрены.

Расчет дренажной сети под дном пруда инфильтрации выполняется с использованием схемы рис. 7 для случаев незатопленного и затопленного дренажа.

6.3. Для устройства дренажа на дренированных отвалах высотой более 10—15 м могут быть использованы бетонные и железобетонные перфорированные трубы, а также трубофильтры из пористого бетона, изготовляемые по специальному заказу в зави-

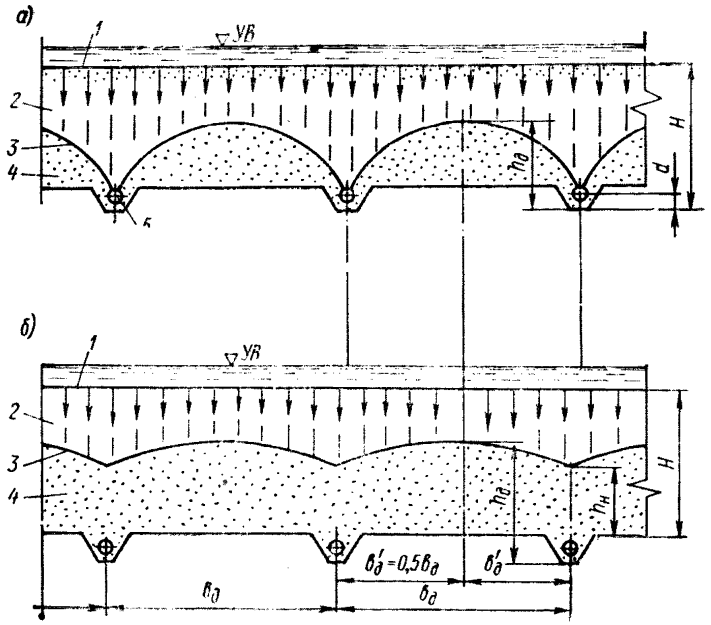


Рис. 7. Схема фильтрации из пруда

а—незатопленный дренаж; *б*—затопленный дренаж; *1*—поверхность намыва; *2*—зона инфильтрации; *3*—кривая депрессии; *4*—фильтрационный поток; *5*—трубчатый дренаж.

симости от требуемой фильтрационной способности. Звенья труб дренажа соединяются с помощью муфт.

Примечание. Широкое распространение на мелиоративных работах получили пластмассовые перфорированные трубы диаметром 50—75 мм бесконечной длины, поставляемые заводами в бухтах. Укладка труб в траншее производится специальными дреноукладчиками. Пластмассовые трубы обладают малой прочностью на раздавливание и рассчитаны на давление засыпки из золошлакового материала высотой не более 5 м, поэтому их применение на золоотвалах ограничено.

6.4. Водоприемная способность трубчатых дрен зависит от напора над дреной, размера приемных отверстий или величины зазора между звеньями и от гидравлических потерь фильтрационного напора, вызванных сужением живого сечения потока на подходе к дрене. Для трубофильтров из пористого бетона приемная способность определяется пористостью материала стенок трубы.

6.5. Водопропускная способность трубчатых дрен определяется из условия их оптимального заполнения по формуле:

$$Q_д = \frac{39{,}3 d_д^3 \sqrt{J}}{0{,}6 + \sqrt{d_д}},$$

где $d_д$ — внутренний диаметр дрены, м; $J > 0{,}002 \div 0{,}003$ — уклон дрены. Для определения $Q_д$ разрешается использовать другие известные формулы.

6.6. Определение диаметра дренажной трубы выполняется подбором с помощью формулы п. 6.5 по заданному расходу воды.

Для облегчения расчетов по подбору диаметра труб на рис. 8 приведен трафик

$$Q_д = f(d_д).$$

6.7. Проектирование дренажной сети в основании надводного откоса намыва (при наличии однорукавного или многорукавных блуждающих потоков пульпы) производится исходя из соблюдения следующего условия.

Максимальный расход воды, отводимый одной дренажной линией, должен быть равен максимальному расходу инфильтрации со всех русел на заданной длине участка откоса намыва.

В случае дождевых расходов высокой интенсивности при определении $Q_д$ следует дополнительно учитывать фильтрационный расход за счет дождевых вод.

6.8. Вследствие уменьшения удельного расхода инфильтрации по длине надводного откоса намыва расстояние между осями дрен по мере удаления от места выпуска пульпы следует увеличивать. Расчет расстояний между дренами выполняется в следующей последовательности.

Задается диаметр трубчатых дрен по конструктивным соображениям.

Определяется $Q_д$ для принятого диаметра дрен с помощью графика рис. 8. Число дренажных линий по длине надводного откоса намыва определяется по формуле $\frac{Q_0}{Q_д} \geqslant 3 \div 4$. Расстояние от разводящего пульпопровода до границы участков равной площади для случая однорукавного русла, в пределах которых расход инфильтрации поглощается одной дреной принятого диаметра, рассчитывается по формуле

$$b_i = L_и - \sqrt{\frac{L_и (B_0 L_и \bar{k}_ф - 2Q_д n)}{B_0 \bar{k}_ф}},$$

где $L_и$ — длина зоны инфильтрации, м; B_0 — начальная ширина однорукавного русла, м; $\bar{k}_ф$ — осредненный коэффициент фильтрации отложений, м/с; $Q_д$ — водопропускная способность одной дрены, м³/с; n — порядковый номер дрены.

Расстояние от разводящего пульпопровода до оси дренажной трубы подсчитывается по формуле:

$$b_{дi} = b_i + \frac{b_{i+1} - b_i}{2}.$$

Пример расчета величин b_i и $b_{дi}$ приведен в табл. 6.

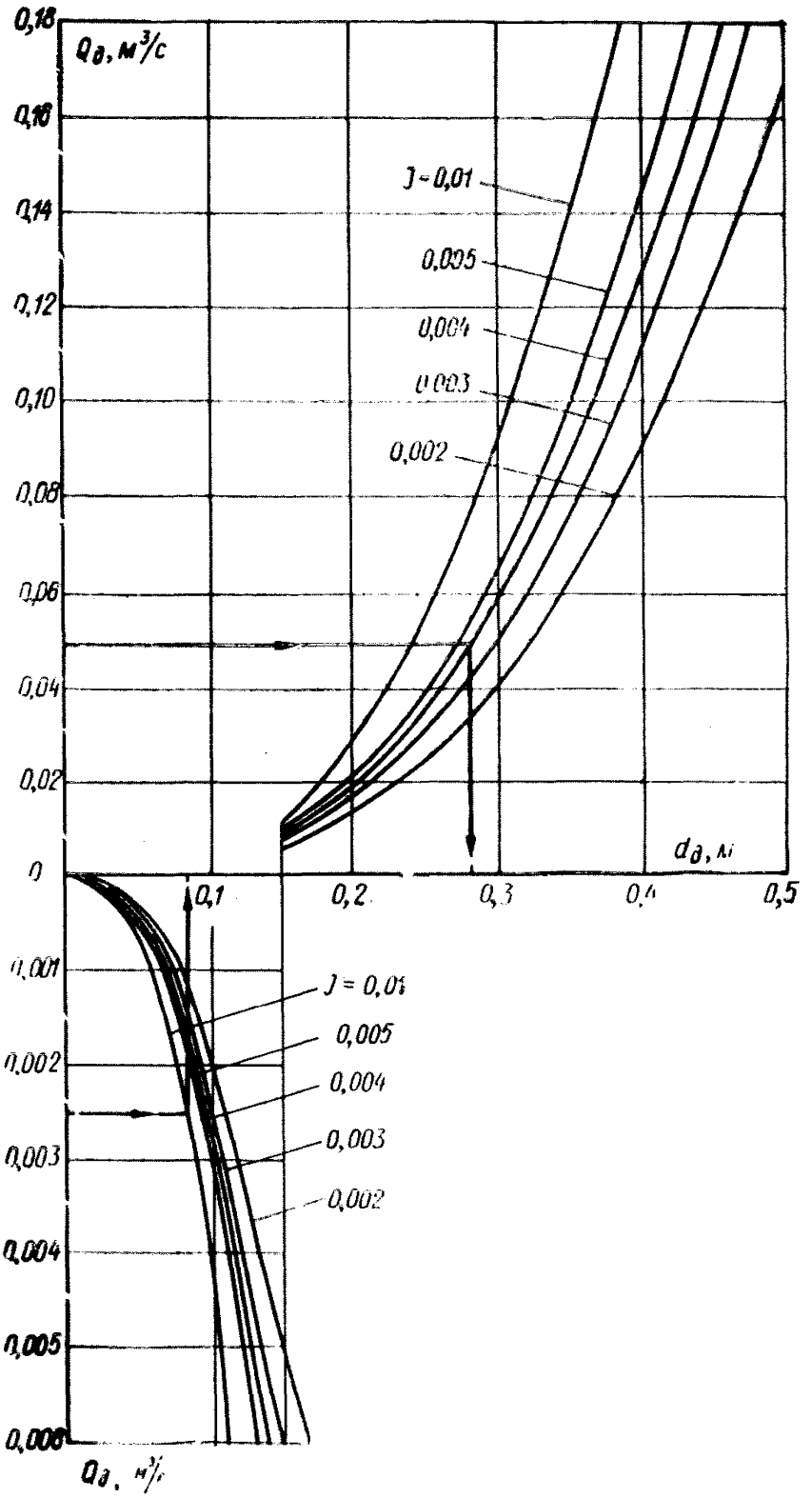


Рис. 8. График $Q_д = f(d_д)$.

Таблица 6

Исходные данные						B_0, м	$\frac{Q_0}{Q_д}-1$	$L_и$, м	n, шт.	b_l, м	$b_{дl}$, м
Q_0, м³/с	$d_д$, мм	$Q_д$, м³/с	c_p	d_{50}, мм	$\bar{k}_ф$, м/с / м/сут						
0,05	150	0,01	0,1	0,5	$\frac{0{,}000116}{10}$	3,0	4,0	220	1	25	13
									2	61	43
									3	107	84
									4	220	164

6.9. Дренажная сеть в основании надводного откоса намыва располагается, как правило, перпендикулярно потокам пульпы при намыве.

6.10. Проектирование дренажной сети в основании пруда инфильтрации для заданных его площади и коэффициента фильтрации отложений включает выбор планового размещения дренажной сети, расчеты диаметра дрен и расстояний между осями дрен. Расчет диаметра дрен выполняется по формуле п. 6.5 из условия задания максимальной длины дренажа с учетом конфигурации пруда в плане:

$$Q_д = \bar{k}_ф l_{д\ макс} b_д,$$

где $Q_д$ — водопропускная способность дренажа м³/с; $\bar{k}_ф$ — коэффициент фильтрации отложений, м/с; $l_{д\ макс}$ — максимальная длина дренажа, м; $b_д$ — расстояние между осями дрен, м.

Расстояние между осями дрен для случая незатопленного и затопленного дренажа определяется по известным способам расчета [1].

6.11. Дренажные трубы, уложенные в основание отвала, должны быть проверены на прочность при раздавливании с учетом проектной высоты отложений.

Расчет выполняется по методике, изложенной в соответствующих нормативных документах и технической литературе [2].

6.12. Дренажи золоотвала должны укладываться с заглублением в грунт основания таким образом, чтобы верх обратного фильтра был на одном уровне с поверхностью основания. В случае укладки слоя подготовки на основание отвала верх обратного фильтра должен быть, во всяком случае, ниже поверхности подготовки.

---

[1] **Аверьянов С. Ф.** Расчет понижения и подъема грунтовых вод при осушении системой каналов (дрен). — «Гидротехника и мелиорация», № 12, 1957, с. 49—60.

Аравин В. И., Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, Госиздат литературы по строительству и архитектуре. Л., 1955. 291 с.

[2] **Рекомендации** по технологическому проектированию обогатительных фабрик руд цветных и черных металлов. Механобр. 1972 г. 90 с.

Дренажи и фильтры из пористого бетона. Б-ка «Гидротехника и гидроэнергетика». М., «Энергия», вып. 27, 1972. 112 с. с ил. Авт.: Осипов А. Д., Ронжин И. С., Панфилов В. С., Вощинин А. П.

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБРАТНЫХ ФИЛЬТРОВ ДРЕНАЖЕЙ ЗОЛООТВАЛОВ

7.1. Обратные фильтры дренажей золоотвалов устраиваются в виде дренажной призмы — обсыпки трубы. В отдельных случаях может применяться подготовка из крупнозернистого материала (например, песка), прикрывающего площадь основания золоотвала, взамен обсыпки каждой трубы.

7.2. Проектирование гранулометрического состава обратных фильтров, защищающих отложения золошлакового материала, производится в соответствии с его гранулометрическим составом, исходя из условия непросыпаемости мелких фракций золы в тело фильтра.

7.3. При проектировании состава обратных фильтров дренажей различают два случая.

1. При достаточно однородном гранулометрическом составе материала золоотвала для обратного фильтра применяется естественный или искусственный грунтовый материал.

2. При разнородном по гранулометрическому составу золошлаковом материале для обратных фильтров может быть использован шлак, полученный путем отделения его на классификаторах.

7.4. Проектирование гранулометрического состава обратных фильтров для дренажной системы дренированных золоотвалов выполняется согласно «Инструкции по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений» ВСН 02-65. Л., «Энергия», 1965. Рекомендации по учету особенностей, присущих золошлаковым материалам, приведены в приложении 2. Там же помещены примеры расчетов обратных фильтров дренажей на золоотвалах.

8. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

8.1. В проекте дренированного золоотвала должна быть предусмотрена установка контрольно-измерительной аппаратуры (пьезометров, мерных водосливов, реперов и др.)[1].

8.2. Пьезометры должны устанавливаться по поперечникам нормально к оси разводящего пульпопровода. В зависимости от класса капитальности золоотвала расстояние между пьезометрическими поперечниками принимают от 100 до 200 м. На каждом поперечнике устанавливают 5—6 шахтных пьезометров с приемными отверстиями, опущенными ниже расчетной поверхности фильтрационного потока.

На золоотвалах типа I-А и I-В пьезометры устанавливаются на надводном откосе намыва, причем должны приниматься спе-

[1] Временные указания по проведению контрольных наблюдений и исследований на плотинах из местных материалов во время их возведения и эксплуатации, ВСН 35-70, Л., «Энергия», 1971. 23 с.

циальные меры по их своевременному наращиванию во избежание замыва отложениями золошлакового материала.

8.3. Мерные водосливы должны быть установлены на каждом выпуске дренажных вод для контроля расхода фильтрационной воды.

8.4. Измерения осадки отложений золошлакового материала и грунтов основания выполняются с помощью поверхностных и глубинных реперов, установка которых производится в характерных местах золоотвала.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ПРИМЕРЫ ДЕЙСТВУЮЩИХ ДРЕНИРОВАННЫХ ОТВАЛОВ

Дамбы отвала Тихвинского глиноземного завода

В результате переработки бокситов на Тихвинском глиноземном заводе выдается за год около 500 тыс. т отходов производства — хвостов. Хвосты удалялись с завода напорным гидротранспортом по двум ниткам пульпопровода диаметром 300 мм на расстояние около 4 км, расход пульпы 1500 м^3/ч, консистенция по весу 10—15%.

Складирование хвостов осуществлялось на отвале равнинного типа площадью 80 га. Основанием отвала служит моренный суглинок. Хвосты (продукт переработки и обжига глин) состоят из частиц сферической формы. Преобладающая фракция 1—5 мм (около 70%). Удельный вес 3,2 гс/см^3, объемный вес в предельно-рыхлом состоянии около 1 гс/см^3.

Первичная дамба на отвале была отсыпана из местного суглинка и имела высоту до 3 м, уклоны откосов 1 : 1,5.

Дамбы наращивания на отвале возводились намывным способом. По оси возводимой дамбы укладывался на легкой металлической эстакаде разводящий пульпопровод, в котором снизу прорезались отверстия 15×20 см, снабженные шиберными заслонками, через которые производился сброс пульпы, содержащей крупные фракции, перемещаемые по дну трубы во влекомом состоянии.

Вследствие большой фильтрационной способности намываемых отложений водная составляющая пульпы профильтровывалась к основанию отвала, а твердая фаза осаждалась на поверхность, образуя тело намыва — дамбу. Через отверстия в пульпопроводе отбирались преимущественно фракции 1—8 мм, коэффициент фильтрации отложений такого материала составлял около 1000 м/сут. Мелкие фракции хвостов, находившиеся в потоке пульпы во взвешенном состоянии, сливались в торец пульпопровода и сбрасывались в отвал за пределы дамбы. Незначительная длина зоны инфильтрации (менее 2 м) не позволяла создать требуемый по проекту профиль намываемой дамбы. Поэтому для увеличения ширины гребня под выпускные отверстия ставились

металлические жолоба, которые отводили пульпу на расстояние до 3—4 м от пульпопровода (рис. 1—1).

Таким образом, меняя расстояние от места поступления пульпы из пульпопровода до участка выпадения твердой фазы, можно было создать требуемую ширину гребня дамбы.

На отвале Тихвинского глиноземного завода таким способом намывались дамбы наращивания шириной по гребню 7 м, высотой до 3,5, м с уклоном откосов 1 : 2,2. Длина каждого яруса дамбы по периметру отвала более 3 км. По классификации «Руководства» дамбы отвала Тихвинского глиноземного завода можно отнести к сооружениям типа I-А, размер которых определяется длиной зоны инфильтрации водной составляющей пульпы.



Рис. 1-1. Намыв ограждающей дамбы на отвале Тихвинского завода.

Гидроотвал Шевелев Яр Белгородского цементного завода

Отложения мела, используемые в качестве сырья для цементного завода, покрыты мощным слоем, до 10—15 м, осадочных пород, представленных мелкими песками, супесью и суглинком. Разработка этой вскрышной породы производилась с помощью гидромониторов, а образовавшаяся пульпа перекачивалась землесосными установками по пульпопроводу в гидроотвал балки Шевелев Яр.

Полная длина балки, где расположен отвал, около 7 км, площадь водосбора 16 км^2, средний уклон тальвега 0,012, склоны задернованы и имеют высоту 30—40 м, часто обрывисты и изрезаны оврагами. Склоны балки сложены меловыми и четвертичными отложениями. В пределах тальвега поверхность мела залегает на глубине от 3 до 10 м. Отложения, покрывающие мел, представлены в основном супесью и суглинком с прослойками песка.

Первичная дамба гидроотвала высотой около 10 м отсыпана в 1959 г. из местного суглинка. Заполнение отвала велось по схеме «от дамбы — к пруду», отстойный пруд размещался в верховье балки (рис. 1—2).

Дамбы наращивания высотой по 5—10 м отсыпались из местного суглинка, а намыв вскрышного грунта производился под защитой этих дамб. По состоянию на 1975 год высота отвала по

створу дамб составляла 40 м. Длина надводного откоса намыва достигала 2000 м.

В 1965 г. площадь, занятая отложениями грунта, составляла 625 тыс. м² (в том числе пруд инфильтрации 115 тыс. м²).

Осредненный гранулометрический состав намытого грунта в зоне сброса пульпы из пульпопровода и на урезе пруда приведен в таблице.

Наименование зоны	Содержание фракций в мм, %								
	>2	2–1	1–0,5	0,5 0,25	0,25 0,10	0,10 0,005	0,05 0,01	0,01– 0,005	<0,005
Боковая зона	2	2	4	10	42	18	7	15	—
Около уреза отстойного пруда	—	—	—	—	3	22	30	10	35

Уже в первые годы эксплуатации выявилось, что вследствие инфильтрации в дно и борта балки, а также в результате испарения, приток воды в течение рабочего сезона за счет подачи

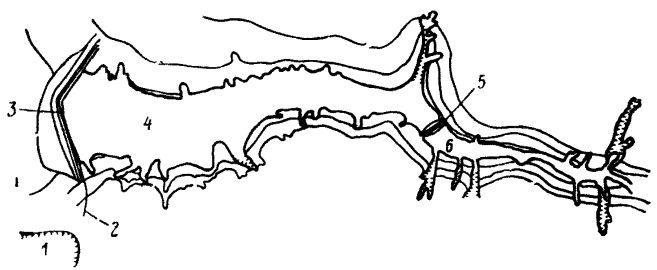


Рис. 1-2. План гидроотвала Шевелев Яр

1—карьер; *2*—пульпопровод; *3*—дамба; *4*—гидроотвал; *5*—отсечная дамба; *6*—пруд.

пульпы с расходом 300 л/с (1100 м³/ч) не обеспечивал накопления воды в верховье балки, поэтому отпала необходимость в постройке водосбросных сооружений.

Осредненный коэффициент фильтрации отложений грунта в зоне надводного намыва был принят равным 0,015 м/сут по опусканию уровня воды в контрольных шурфах. Осредненный коэффициент фильтрации зоны пруда инфильтрации, определенный по опусканию уровня воды при длительном прекращении намыва, оказался равным 0,06 м/сут.

Не исключено, что фильтрация происходила в отдельные отложения мела на склонах балки.

Гидроотвал эксплуатировался без водосбросных сооружений в течение 15 лет с 1960 по 1975 гг., причем за это время никаких

неожиданностей, связанных с режимом работы пруда, не наблюдалось. Уровень пруда поднимался с некоторым отставанием от поверхности отложений грунта в зоне выпуска пульпы около дамб наращивания.

Так, с 1960 по 1966 гг. поверхность отложений грунта повысилась на 15 м, тогда как уровень воды пруда — всего лишь на 7 м.

Необходимо иметь в виду, что вскрышные работы на карьере производились лишь в теплое время года, в течение 220—240 дней в году. Работа гидромеханизации трехсменная без выходных дней. Гидромониторы работали на грунтовой воде, которая перекачивалась артезианскими насосами из буровой скважины, опущенной в отложения мела по тальвегу балки ниже откоса гидроотвала.

Таким образом, осуществлялся водооборот с естественной очисткой осветленной воды в процессе фильтрации в отложениях мела под гидроотвалом. За время пятнадцатилетней эксплуатации каких-либо перебоев с водоснабжением установок гидромеханизации не было; вода, откачиваемая насосами, чистая, без взвеси.

Возможность загрязнения грунтовых вод рассматривалась лишь по содержанию взвеси, так как на гидроотвале складировались грунты, не содержащие растворимых соединений.

Гидроотвал Шевелев Яр — пример отвала с естественным дренированным основанием и прудом инфильтрации (тип I-В).

Приложение 2

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБРАТНЫХ ФИЛЬТРОВ ДРЕНАЖЕЙ ЗОЛООТВАЛОВ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА[1]

Общие положения

В качестве расчетных показателей гранулометрического состава следует принимать: $d_{3(5)}$; d_{10}; d_{17}; d_{50}; d_{60}; d_{100}. Коэффициент разнозернистости $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$. Пористость n в расчетах при подборе фильтров определяется по гранулометрическому составу грунта:

$$n = n_0 - 0{,}1 \lg \eta, \qquad (1)$$

где $n_0 = 0{,}45$ для угловатых фракций грунта; $n_0 = 0{,}40$ для окатанных фракций грунта.

Примечание. Вследствие особенностей формы частиц золы и шлака для отложений золошлаковых материалов на отвалах введено понятие «активной» пористости, которая определяет объем пор (за вычетом объема каверн, замкнутых пор частиц и зон затенения), в пределах которых осуществляется движение фильтрационной воды.

---

[1] **Инструкция** по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений, ВСН 02-65, М.-Л., «Энергия», 1965. 97 с. с ил.

Формула (1) может быть использована для вычисления активной пористости золошлакового материала при подборе обратных фильтров. Величина n_0 принимается в этом случае равной 0,45, как для угловатых фракций грунта.

Оценка суффозионности (несуффозионности) золошлакового материала, грунтов фильтра и определение процента выноса суффозионных частиц

Для решения вопроса о суффозионности золошлакового материала (или грунта фильтра) и определения процента выноса суффозионных частиц из его состава рекомендуется следующий метод расчета.

Для расчетного гранулометрического состава золошлакового материала или грунта фильтра определяются следующие параметры.

Максимальный размер (диаметр) пор грунта находится по следующей формуле:

$$d_0^{\text{макс}} = \varkappa C \frac{n}{1-n} d_{17}, \tag{2}$$

где $\varkappa$ — коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте, или коэффициент локальности суффозии:

$$\varkappa = 1 + 0{,}05\,\eta, \tag{3}$$

n — пористость; d_{17} — диаметр частиц, меньше которых в составе грунта содержится 17% по весу;

$$C = 0{,}46\sqrt[6]{\eta}. \tag{4}$$

Максимальный размер частиц, которые могут быть вынесены из данного состава грунта при определенных гидродинамических условиях, вычисляется по следующей зависимости:

$$d_{ci}^{\text{макс}} = 0{,}77 d_0^{\text{макс}}. \tag{5}$$

Если $d_{ci}^{\text{макс}} < d^{\text{мин}}$, где $d^{\text{мин}}$ — минимальный размер частиц грунта, то такой состав золошлакового материала или грунта следует считать несуффозионным. При $d_{ci}^{\text{макс}} > d^{\text{мин}}$ материал (зола, шлак или грунт) следует считать суффозионным.

Если $d_{ci}^{\text{макс}} \leqslant 3\%$, то такой материал следует считать практически несуффозионным.

Определение процента выноса суффозионных частиц по геометрическому критерию (без учета действующих градиентов напора) производится по графику кривой гранулометрического состава, где на кривой находим значение $d_{ci}^{\text{макс}}$, а на оси ординат — искомый процент выноса.

Выбор расчетного гранулометрического состава золошлакового материала и расчетных размеров сводообразующих фракций $d_{\text{сг}}^{\text{расч}}$

Если золошлаковый материал несуффозионный, «расчетная зона» может быть описана в следующих границах: верхний предел зоны — по самому мелкому гранулометрическому составу,

нижний предел зоны — по гранулометрическому составу грунта, размер фракций которого $d_{(20-25)} \leqslant d_{50}$ грунта верхнего предела зоны.

За расчетную кривую может быть принята кривая среднего гранулометрического состава полученной расчетной зоны. Расчетный размер сводообразующих фракций $d_{cr}^{расч}$ для подбора состава фильтра следует принимать по графику $P_{cr}^{расч} = f(\eta_r)$ (рис. 2-1).

Если золошлаковый материал суффозионный, «расчетная зона» должна назначаться в пределах группы кривых наиболее мелкого гранулометрического состава. За расчетный гранулометрический состав грунта следует принимать состав, близкий к

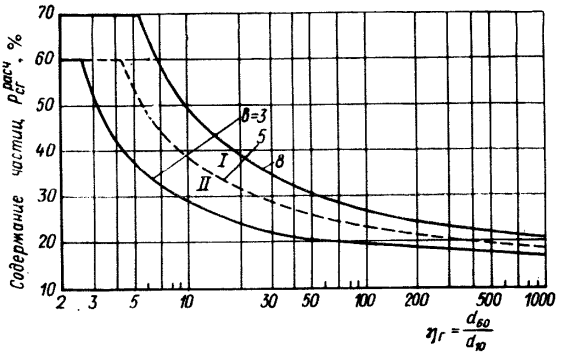


Рис. 2-1. График $P_{cr}^{расч} = f(\eta_r)$ для определения расчетных размеров сводообразующих частиц грунта $d_{cr}^{расч}$

I—**область выбора расчетных значений d_{cr} для фильтров из щебенистого материала;** *II*—**область выбора расчетных значений d_{cr} для фильтров из песчано-гравелистого материала.**

верхнему пределу «расчетной зоны» с условием, что размер фракций грунта расчетного состава был бы не больше размера фракций $d_{15}^{в.п}$ грунта верхнего предела расчетной зоны, т. е. $d_{10}^{расч} \leqslant d_{15}^{в.п}$.

Расчетный размер сводообразующих фракций $d_{cr}^{расч}$ для суффозионного состава золошлакового материала должен определяться по следующей формуле:

$$d_{cr}^{расч} = Bd_{3(5)}, \qquad (6)$$

где $B = 3 \div 8$.

Допускаемая разнозернистость грунтов фильтров $\left(\eta_ф = \frac{D_{60}}{D_{10}}\right)$

Максимальное значение коэффициента разнозернистости грунтов обратных фильтров не должно превышать величины:

а) для несуффозионного состава золошлакового материала

$$\eta_{\text{ф}}^{\text{доп}} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leqslant 20 \div 25, \tag{7}$$

$\eta_{\text{ф}}^{\text{доп}} \leqslant 20$ — для песчано-гравелистых грунтов;

$\eta_{\text{ф}}^{\text{доп}} \leqslant 25$ — для щебенистых грунтов;

б) для суффозионного состава золошлакового материала

$$\eta_{\text{ф}}^{\text{доп}} = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leqslant 15. \tag{8}$$

Примечание. Грунты, коэффициент разнозернистости которых превышает допустимые значения, могут быть рекомендованы только после надлежащего обоснования (лабораторной проверки).

Определение допустимых междуслойных коэффициентов

Действительный междуслойный коэффициент $\eta_{\text{м}}$ должен определяться по следующей зависимости:

$$\eta_{\text{м}} = \frac{D_{17}^{\text{I}}}{d_{\text{сг}}} = \frac{D_{17}^{\text{II}}}{D_{\text{сг}}^{\text{I}}}, \tag{9}$$

где D_{17}^{I} и D_{17}^{II} — размеры фракций грунтов первого и второго слоев обратного фильтра (для двухслойного фильтра); $d_{\text{сг}}$ и $D_{\text{сг}}^{\text{I}}$ — размеры сводообразующих частиц материала золоотвала и грунта первого слоя обратного фильтра.

Действительный междуслойный коэффициент должен удовлетворять следующей зависимости:

$$\eta_{\text{м}} \leqslant \eta_{\text{м}}^{\text{доп}}, \tag{10}$$

где $\eta_{\text{м}}^{\text{доп}}$ — допустимый междуслойный коэффициент, определяется по формуле:

$$\eta_{\text{м}}^{\text{доп}} = \frac{1}{0{,}275\sqrt[6]{\eta_{\text{ф}}}} \frac{1 - n_{\text{ф}}}{n_{\text{ф}}}. \tag{11}$$

Водопроницаемость обратного фильтра

По условию водопроницаемости материал обратного фильтра должен удовлетворять следующему соотношению:

$$\frac{\left(D_{17}^{\text{ф}}\right)^2}{d_{17}^2} \geqslant 5, \tag{12}$$

где $D_{17}^{\text{ф}}$ и d_{17} — соответственно размеры фракций фильтра и золошлакового материала.

Толщина слоев фильтра

Толщина слоя обратного фильтра по фильтрационным условиям должна быть:

$$T_{\text{мин}} \geqslant 7\, D_{85}, \tag{13}$$

где D_{85} — размер фракций фильтра.

По условиям производства работ толщину слоя фильтра для дренажей следует принимать при ручной укладке (с планировкой и уплотнением) — не менее 10 см.

При механизированной укладке (с планировкой и уплотнением) — не менее 20 см.

Расчетные случаи проектирования гранулометрического состава грунтов обратных фильтров

I. Проектирование гранулометрического состава обратных фильтров при отсутствии данных о карьерных грунтах.

II. Подбор гранулометрического состава фильтров из имеющихся карьерных грунтов или из золошлакового материала.

В I и II случаях независимо от состава (суффозионного или несуффозионного) защищаемого золошлакового материала состав грунта фильтра может быть несуффозионным.

Порядок расчета

Для дренажей дренированных золоотвалов проектирование (подбор) гранулометрического состава грунта фильтров должно осуществляться по условию непросыпаемости мелких фракций золошлакового материала в несуффозионный грунт фильтра.

Условие непросыпаемости золошлакового материала в фильтр выражается следующей зависимостью:

$$\frac{D_0}{d_{\text{сг}}} \leqslant 1{,}8, \tag{14}$$

или

$$d_{\text{сг}} \geqslant 0{,}555\, D_0, \tag{15}$$

где D_0 — средний диаметр пор в слое фильтра:

$$D_0 = 0{,}455 \sqrt[6]{\eta_\Phi}\, \frac{n_\Phi}{1 - n_\Phi}\, D_{17}, \tag{16}$$

$d_{\text{сг}}$ — диаметр сводообразующих частиц золошлакового материала.

Из условия непросыпаемости определяется действующий диаметр частиц грунта слоя фильтра D_{17}, по зависимостям (15) и (16), из которых следует:

$$D_{17} = \frac{4}{\sqrt[6]{\eta_\Phi}}\, \frac{1 - n_\Phi}{n_\Phi}\, d_{\text{сг}}, \tag{17}$$

где n_Φ определяется по формуле (1); $\eta_\Phi = \frac{D_{60}}{D_{10}}$.

По полученному значению D_{17} из зависимости

$$\frac{D_i}{D_{\text{мин}}} = 1 + (0{,}1P_i)^x\, \frac{\eta_\Phi - 1}{5\eta_\Phi}, \tag{18}$$

где

$$x = 1 + 1{,}28 \lg \eta_\Phi, \tag{19}$$

$D_{\text{мин}}$ — минимальный размер частиц в данном грунте; P_i — процентное содержание в грунте частиц по весу, имеющих диаметр D_i, определяется

$$D_{\text{мин}} = \frac{D_{17}}{1 + 1{,}7^x\, \frac{\eta_\Phi - 1}{5\eta_\Phi}}, \tag{20}$$

Подставляя значение $D_{мин}$ в зависимость (18), получим уравнение несуффозионного состава грунта фильтра для заданного золошлакового материала:

$$D_i = \left[1 + (0{,}1P_i)^x \frac{\eta_ф - 1}{5\eta_ф}\right] D_{мин}, \qquad (21)$$

из которого определяем другие размеры фракций фильтра D_{10}; D_{20}; $D_{50} \ldots D_{100}$, после подстановки в (21) соответственно значений $P_i = 10 \ldots 30 \ldots 50 \ldots 100\%$. По полученным значениям строится расчетная кривая несуффозионного состава грунта фильтра.

Зона допустимого гранулометрического состава грунта фильтра, пригодного для укладки в дренаж, должна назначаться исходя из следующего:

1) верхняя граница зоны должна проходить от точки D_{100} расчетной кривой и на 3—5% выше (по вертикали) точки D_{10} до примыкания к горизонтальной оси d; при этом может быть допущено в составе фильтра 3—5% пылеватых фракций;

2) нижняя граница зоны назначается от точки $D_{мин}$, касательной к расчетной кривой, до верхней линии D_{100}.

Запроектированный по данной методике гранулометрический состав грунта фильтра является несуффозионным и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к дренажам дренированных золоотвалов.

Примечание. Приведенная методика проектирования (подбора) гранулометрического состава фильтров для дренажных систем дренированных золоотвалов проверена опытами с золошлаковым материалом в больших фильтрационных приборах лаборатории грунтовых сооружений ВНИИГа.

Примеры расчетов

Пример 1. Требуется запроектировать слой обратного фильтра несуффозионного состава, защищающего материал золоотвала, представленный золой.

Исходные данные

На рис. 2-2 показана зона изменения гранулометрического состава материала золоотвала. Средняя кривая «зоны» принимается за расчетную кривую гранулометрического состава.

Расчетные фракции золошлакового материала:

$d_{мин} = 0{,}003$ мм; $d_5 = 0{,}0044$ мм; $d_{10} = 0{,}006$ мм;
$d_{17} = 0{,}009$ мм; $d_{50} = 0{,}027$ мм; $d_{60} = 0{,}030$ мм;
$d_{100} = 0{,}2$ мм.

Коэффициент разнозернистости $\eta_г = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0{,}030}{0{,}006} = 5{,}0$. Удельный вес частиц материала $\gamma_ч = 2{,}32$ гс/см^3.

Активная пористость золошлакового материала при проектировании фильтров определяется по формуле (1):

$$n_г = n_0 - 0{,}1 \lg \eta_г = 0{,}45 - 0{,}1 \lg 5{,}0 = 0{,}38,$$

где $n_0 = 0{,}45$.

Порядок расчета

1. Для решения вопроса, является ли данный материал суффозионным или несуффозионным, рекомендуется следующий метод расчета.

По расчетным данным исследуемого материала определяется максимальный диаметр фильтрационных пор $d_0^{макс}$ по следующей зависимости:

$$d_0^{макс} = 0{,}455 \varkappa \sqrt[6]{\eta_г} \frac{n_г}{1 - n_г} d_{17},$$

где $\varkappa$ — коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте или коэффициент локальности суффозии:

$$\varkappa = 1 + 0{,}05\, \eta_г = 1 + 0{,}05 \cdot 5{,}0 = 1{,}25;$$

d_{17} — диаметр частиц защищаемого материала золоотвала, меньше которых в его составе содержится 17% по весу.

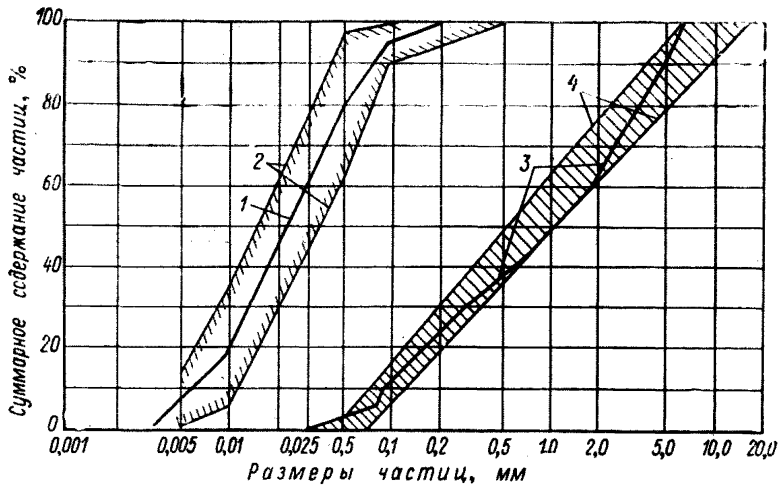


Рис. 2-2. График гранулометрического состава обратного фильтра дренажей на отвале золы

1—расчетная кривая защищаемого материала; *2*—граница зоны изменения гранулометрического состава золы угля; *3*—расчетная кривая 1-го слоя обратного фильтра; *4*—границы зоны изменения гранулометрического состава 1-го слоя обратного фильтра дренажа.

$$d_0^{макс} = 0{,}455 \cdot 1{,}25 \sqrt[6]{5{,}0} \frac{0{,}38}{1 - 0{,}38} 0{,}009 = 0{,}00413 \text{ мм}.$$

Максимальный диаметр частиц, которые могут быть вынесены фильтрационным потоком из данного материала, определяется следующей зависимостью:

$$d_{ci}^{макс} = 0{,}77 d_0^{макс},$$

$$d_{ci}^{макс} = 0{,}77 \cdot 0{,}00413 = 0{,}00318 \text{ мм}.$$

Практика показывает, что если будут вынесены самые мелкие незащемленные частицы в количестве не более 3—5% по весу, то прочность грунта и работа дренажа не будут нарушены. Следовательно, если $d_{ci}^{\text{макс}} < 3\%$ (5%) по весу, то такой материал следует считать практически несуффозионным.

По вычисленному максимальному размеру суффозионных частиц $d_{ci}^{\text{макс}}$ находим по графику кривой гранулометрического состава материала искомый максимальный процент выноса (на оси ординат).

Согласно расчетной кривой «зоны», возможный процент выноса мелких фракций материала золоотвала ($d_{ci} \leqslant 0{,}00318$ мм) составляет 2%. Следовательно, материал золоотвала является практически несуффозионным.

2. По заданному несуффозионному гранулометрическому составу материала (рис. 2-2) выбираем по графику $P_{\text{сг}}^{\text{расч}} = f(\eta_{\text{г}})$ (рис. 2-1) расчетный диаметр сводообразующих частиц $d_{\text{сг}}$. При $\eta_{\text{г}} = 5{,}0$ по графику рис. 2-1 для песчано-гравелистого материала фильтра (область II) принимаем $P_{\text{сг}} = 40\%$. Далее, по кривой гранулометрического состава находим $d_{\text{сг}} = d_{40} = 0{,}02$ мм.

3. Средний диаметр пор первого слоя фильтра D_0 определяется из условия непросыпаемости.

$$D_0 = 1{,}8 d_{\text{сг}}^{\text{расч}},$$

$$D_0 = 1{,}8 \cdot 0{,}02 = 0{,}036 \text{ мм}.$$

4. Действующий размер фракции фильтра D_{17} вычисляется по следующей формуле:

$$D_{17} = \frac{4}{\sqrt[6]{\eta_{\text{ф}}}} \frac{1 - n_{\text{ф}}}{n_{\text{ф}}} d_{\text{сг}}.$$

Для несуффозионного состава золошлакового материала принимаем коэффициент разнозернистости фильтра $\eta_{\text{ф}} = 20$. Пористость материала фильтра $n_{\text{ф}}$ принимаем по зависимости (1):

$$n_{\text{ф}} = n_0 - 0{,}1 \lg \eta_{\text{ф}};$$

для песчано-гравийно-галечниковых грунтов фильтра $n_0 = 0{,}40$.

$$n_{\text{ф}} = 0{,}40 - 0{,}1 \lg 20 = 0{,}27.$$

После подстановки значений в (17) получаем:

$$D_{17} = \frac{4}{\sqrt[6]{20}} \frac{1 - 0{,}27}{0{,}27} 0{,}02 = 0{,}131 \text{ мм}.$$

5. Объемный вес скелета грунта фильтра, укладываемого в дренаж, может быть определен по следующей зависимости:

$$\gamma_{\text{ск}} = \gamma_{\text{ч}} (1 - n_{\text{ф}}),$$

где $\gamma_{\text{ч}} = 2{,}60$—$2{,}72$ гс/см³ — удельный вес частиц грунта; $n_{\text{ф}} = 0{,}27$.

После подстановки значений получим

$$\gamma_1 = 2{,}60 (1 - 0{,}27) = 1{,}90 \text{ гс/см}^3;$$

$$\gamma_2 = 2{,}72 (1 - 0{,}27) = 1{,}98 \text{ гс/см}^3.$$

6. Определяем размер фракции $D_{мин}$ материала первого слоя обратного фильтра. По полученному значению $D_{17}=0{,}131$ мм и зависимости (18) для несуффозионного грунта находим $D_{мин}$ фильтра, определив сначала значение степени x:

$$x=1+1{,}28\ \lg \eta_ф,$$

$$x=1+1{,}28\ \lg\ 20=2{,}66.$$

$$D_{мин}=\frac{D_{17}}{1+(0{,}1P_{17})^x\dfrac{\eta_ф-1}{5\eta_ф}}=\frac{0{,}131}{1+(0{,}1\cdot 17)^{2{,}66}\dfrac{20-1}{5\cdot 20}}=0{,}072\ \text{мм}.$$

Подставляя значение $D_{мин}$ в формулу (18), а также значения $\eta_ф=20$ и $x=2{,}66$, получим расчетную формулу:

$$D_i=0{,}072+0{,}014\,(0{,}1P_i)^{2{,}66}.$$

Задаваясь различными значениями $P_i=10\ldots 20\ldots 100$, вычисляем соответствующие значения D_i. Так, для $P_i=10\%$ получаем:

$$D_{10}=0{,}072+0{,}014\,(0{,}1\cdot 10)^{2{,}66}=0{,}0865\ \text{мм}.$$

Ниже приведены результаты вычислений, где значения D_i даны в миллиметрах.

D_{10}	D_{20}	D_{50}	$D_{60}=\eta_ф D_{10}$	D_{85}	D_{100}
0,0865	0,163	1,08	1,74	4,39	6,62

По этим данным строим искомую расчетную кривую несуффозионного состава грунта первого слоя фильтра (рис. 2-2).

При подборе гранулометрического состава грунта фильтра допускаются небольшие отклонения от расчетной кривой в пределах «зоны допускаемого гранулометрического состава грунта, пригодного для укладки в первый слой фильтра», которую следует назначать так, чтобы расчетная кривая была ограничена снизу касательной к кривой, проходящей через точку $D_{мин}$. Верхняя граница зоны должна проходить через точку $D_{макс}$ и на 3% выше точки D_{10} до примыкания к линии, показанной на рис. 2-2, пересекающейся с расчетной кривой (пунктир на рис. 2-2) на уровне $P_i=6\%$. Эта линия ограничивает допустимый процент содержания в материале фильтра мелких пылеватых фракций (6%).

По условию водопроницаемости материал обратного фильтра должен удовлетворять соотношению (12):

$$\frac{(D_{17}^{ф})^2}{d_{17}^2}\geqslant 5,$$

где $D_{17}^{ф}$ и d_{17} соответственно размеры фракций материала фильтра и золы.

Подставляя соответствующие значения в (12), получим

$$\frac{(D_{17}^{\Phi})^2}{d_{17}^2} = \frac{0{,}131^2}{0{,}009^2} = 212 \gg 5.$$

Следовательно, условие водопроницаемости вполне удовлетворяется.

Таким образом, подобранный несуффозионный гранулометрический состав фильтра обеспечивает прочное и надежное сопряжение с материалом золоотвала и исключает вынос материала золоотвала в систему дренажа.

Пример 2. Требуется подобрать слой обратного фильтра несуффозионного состава, защищающего материал золоотвала, представленный золошлаковым материалом.

Исходные данные

Гранулометрический состав материала золоотвала представлен на рис. 2-3, где выделены две зоны (зона I и зона II) в пределах изменения гранулометрического состава материала золоот-

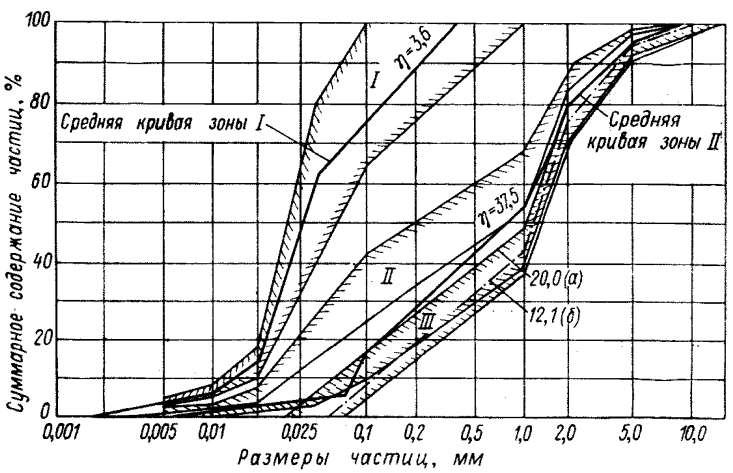


Рис. 2-3. График гранулометрического состава обратного фильтра дренажей на отвале золы и золошлакового материала

I—зона изменения гранулометрического состава золы; *II*—зона изменения гранулометрического состава золошлакового материала; *III*—рекомендуемая зона изменения гранулометрического состава 1-го слоя обратного фильтра.

вала. Средняя кривая зоны I принимается за расчетную кривую гранулометрического состава материала, защищаемого обратным фильтром. Средняя кривая зоны II принимается за расчетную кривую гранулометрического состава материала первого слоя обратного фильтра, защищающего материал золоотвала от фильтрационно-суффозионных деформаций.

Данные защищаемого материала

Расчетные фракции золошлакового материала:

$d_{мин}=0{,}0015$ мм $\quad d_3=0{,}0034$ мм $\quad d_{10}=0{,}014$ мм

$d_{17}=0{,}021$ мм $\quad d_{60}=0{,}05$ мм $\quad d_{100}=0{,}36$ мм.

Коэффициент разнозернистости $\eta_г=\frac{d_{60}}{d_{10}}=\frac{0{,}05}{0{,}014}=3{,}6$; удельный вес частиц материала $\gamma_ч=2{,}86$ гс/см^3.

Пористость золошлакового материала при проектировании (подборе) фильтров должна определяться по формуле (1):

$$n_г=n_0-0{,}1\lg\eta_г=0{,}45-0{,}1\lg 3{,}6=0{,}39.$$

Данные материала, предназначенного для первого слоя обратного фильтра

Расчетные фракции намытого золошлакового материала (зона II):

$D_{мин}=0{,}003$ мм $\quad D_3=0{,}014$ мм $\quad D_{10}=0{,}032$ мм

$D_{17}=0{,}054$ мм $\quad D_{60}=1{,}2$ мм $\quad D_{100}=10{,}3$ мм.

Коэффициент разнозернистости $\eta_г^{ф}=\frac{D_{60}}{D_{10}}=\frac{1{,}2}{0{,}032}=37{,}5$. Удельный вес частиц материала $\gamma_ч=2{,}90$ гс/см^3. Пористость определяется по формуле (1)

$$n_г^{ф}=0{,}45-0{,}1\lg\eta_г^{ф}=0{,}45-0{,}1\lg 37{,}5=0{,}29.$$

Порядок расчета

1. По расчетным данным защищаемого материала определяется максимальный диаметр фильтрационных пор $d_0^{макс}$ по следующей зависимости:

$$d_0^{макс}=0{,}455\varkappa\sqrt[6]{\eta_г}\frac{n}{1-n_г}d_{17};$$

где $\varkappa$ — коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте или коэффициент локальности суффозии:

$$\varkappa=1+0{,}05\,\eta_г,$$

$$\varkappa=1+0{,}05\cdot 3{,}6=1{,}18.$$

Подставив соответствующие значения в (2), получим

$$d_0^{макс}=0{,}455\cdot 1{,}18\sqrt[6]{3{,}6}\,\frac{0{,}39}{1-0{,}39}\,0{,}021=0{,}00895\text{ мм}.$$

Максимальный диаметр частиц, которые могут быть вынесены фильтрационным потоком из данного материала, определяется зависимостью:

$$d_{cl}^{макс}=0{,}77d_0^{макс},$$

$$d_{cl}^{макс}=0{,}77\cdot 0{,}00895=0{,}0069\text{ мм}.$$

По вычисленному максимальному размеру суффозионных частиц $d_{ci}^{\text{макс}}$ находим по графику кривой гранулометрического состава искомый максимальный процент выноса (на оси ординат).

Согласно расчетной кривой зоны-I, возможный процент выноса мелких фракций материала золоотвала ($d_{ci} \leqslant 0{,}0069$ мм) составляет 5%. Следовательно, материал является практически несуффозионным.

2. По данному несуффозионному составу материала (рис. 2-3) выбираем по графику (рис. 2-1) расчетный диаметр сводообразующих частиц $d_{\text{сг}}$.

Для материала с коэффициентом разнозернистости $\eta_{\text{г}} = 3{,}6$ по графику (рис. 2-1) находим $P_{\text{сг}} = 45—60\%$; $d_{\text{сг}}$ может быть выбран в пределах $d_{45} \div d_{60}$. Принимаем $d_{\text{сг}} = d_{50} = 0{,}04$ мм.

3. Данный материал зоны II, предназначенный для обратного фильтра, не может быть использован в качестве первого слоя фильтра, так как коэффициент разнозернистости его больше максимально допускаемого:

$$\eta_{\text{г}}^{\text{ф}} = 37{,}5 > \eta_{\text{г}}^{\text{доп}} = 20.$$

Поэтому производим отсев его мелких фракций диаметром $D < 0{,}03$ мм, что составляет 9% от весового состава материала.

Полученный новый состав материала с $\eta'_{\text{г}} = 20$ показан на рис. 2-3, где a — кривая гранулометрического состава.

4. Определяем суффозионность (несуффозионность) материала, полученного в результате отсева мелких фракций диаметром $D < 0{,}03$ мм.

По расчетным данным (рис. 2-3, a) определяем максимальный диаметр фильтрационных пор $D_0^{\text{макс}}$:

$$D_0^{\text{макс}} = 0{,}455 \varkappa' \sqrt[6]{\eta_{\text{г}}'} \frac{n_{\text{г}}'}{1 - n_{\text{г}}'} D_{17}',$$

где

$$\eta_{\text{г}}' = \frac{D_{60}'}{D_{10}'} = \frac{1{,}3}{0{,}065} = 20,$$

$$\varkappa' = 1 + 0{,}05\,\eta'_{\text{г}} = 1 + 0{,}05 \times 20 = 2,$$

$$n'_{\text{г}} = 0{,}45 — 0{,}1 \lg \eta'_{\text{г}} = 0{,}45 — 0{,}1 \lg 20 = 0{,}32.$$

Подставляя соответствующие значения в (2), получим:

$$D_0^{\text{макс}} = 0{,}455 \cdot 2 \sqrt[6]{20} \frac{0{,}32}{1 - 0{,}32} \cdot 0{,}105 = 0{,}0742 \text{ мм}.$$

Определяем максимальный диаметр частиц, которые могут быть вынесены фильтрационным потоком из данного материала:

$$D_{ci}^{\text{макс}} = 0{,}77 D_0^{\text{макс}} = 0{,}77 \cdot 0{,}0742 = 0{,}057 \text{ мм}.$$

Согласно расчетной кривой a зоны II, возможный вынос мелких фракций материала первого слоя обратного фильтра, $D_{ci} \leqslant 0{,}057$ мм составляет 9% от весового состава материала. Следовательно, материал, предназначенный для первого слоя фильтра,

полученный в результате отмыва мелких фракций диаметром $D<0{,}03$ мм, является суффозионным.

Примечание. Вопрос о допустимом проценте выноса в дренаж мелких фракций и их размере, а также вопрос использования суффозионных грунтов для фильтров следует решать в каждом конкретном случае с учетом требований, предъявляемых к дренажным устройствам, уклонов дрен в натуре, возможности их самопромывки или искусственной промывки и пр.

5. В данном примере для того, чтобы состав материала, предназначенного для первого слоя фильтра, был несуффозионным, намечаем отмыв его мелких фракций диаметром $D<0{,}06$ мм, что составляет 18% от весового состава первоначально заданного материала.

Гранулометрический состав материала, полученный в результате отсева фракций диаметром $D<0{,}06$ мм, показан на рис. 2-3 (кривая *б*).

6. По расчетным данным (рис. 2-3, *б*) нового состава материала определяем максимальный диаметр фильтрационных пор $D_0^{\text{макс}}$.

$$D_0^{\text{макс}} = 0{,}455\varkappa'' \sqrt[6]{\eta_\Gamma''}\,\frac{n_\Gamma''}{1-n_\Gamma''}\,D_{17}'',$$

где

$$\eta_\Gamma'' = \frac{D_{60}''}{D_{10}''} = \frac{1{,}45}{0{,}12} = 12{,}1,$$

$$\varkappa'' = 1 + 0{,}05\eta_\Gamma'' = 1 + 0{,}05 \cdot 12{,}1 = 1{,}61,$$

$$n_\Gamma'' = 0{,}45 - 0{,}1 \lg \eta_\Gamma'' = 0{,}45 - 0{,}1 \lg 12{,}1 = 0{,}34.$$

Подставляя соответствующие значения в (3), получим

$$D_0^{\text{макс}} = 0{,}455 \cdot 1{,}61 \sqrt[6]{12{,}1}\,\frac{0{,}34}{1-0{,}34} \cdot 0{,}19 = 0{,}109 \text{ мм}.$$

Определяем максимальный диаметр частиц, которые могут быть вынесены фильтрационным потоком из данного материала:

$$D_{cl}^{\text{макс}} = 0{,}77 D_0^{\text{макс}} = 0{,}77 \cdot 0{,}109 = 0{,}084 \text{ мм}.$$

Согласно расчетной кривой *б* зоны II, возможный вынос мелких фракций материала первого слоя обратного фильтра $D_{cl} \leqslant \leqslant 0{,}084$ мм составляет 5%.

Следовательно, материал, предназначенный для первого слоя фильтра, полученный в результате отмыва мелких фракций диаметром $D<0{,}06$ мм, является практически несуффозионным.

7. Определяем пригодность полученного материала для первого слоя обратного фильтра из условия непросыпаемости мелких фракций защищаемого материала в поры фильтра (по геометрическому критерию).

Определяем средний размер диаметра пор D_0 первого слоя фильтра.

$$D_0 = \frac{D_0^{\text{макс}}}{\varkappa''},$$

$$D_0 = \frac{0{,}109}{1{,}61} = 0{,}0677 \text{ мм}.$$

Чтобы частицы защищаемого материала не просыпались в поры материала фильтра, должно выполняться следующее условие:

$$\frac{D_0}{d_{\text{сг}}} \leqslant 1{,}8,$$

где $d_{\text{сг}}$ — диаметр сводообразующих частиц золошлакового материала (п. 2).

Подставляя соответствующие значения в (14), получим:

$$\frac{0{,}0677}{0{,}04} = 1{,}69 < 1{,}8.$$

Следовательно, условие непросыпаемости выполняется.

8. Материал обратного фильтра по водопроницаемости должен удовлетворять следующему условию:

$$\frac{(D_{17}'')^2}{d_{17}^2} \geqslant 5,$$

где D_{17}'' и d_{17} — соответственно размеры фракций материала фильтра и золошлака, значение D_{17}'' находится по кривой *б* (рис. 2-3).

Подставляя соответствующие значения в (12), получим:

$$\frac{0{,}185^2}{0{,}021^2} = 77{,}8 > 5.$$

Следовательно, условие водопроницаемости выполняется.

Зона допускаемого гранулометрического состава, пригодного для укладки в первый слой фильтра, определяется в результате отмыва (отсева) мелких фракций диаметром $D<0{,}06$ мм (рис. 2-3).

Таким образом, материал золоотвала, кривые гранулометрического состава которого вписываются в рекомендуемую зону, будет удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к материалам первого слоя фильтра, и поэтому он может быть применен в качестве обратного фильтра.

Приложение 3

РАСЧЕТ МНОГОРУКАВНЫХ РУСЕЛ НА ОТКОСЕ НАМЫВА

Общие расчеты

В приложении приведена методика расчета многорукавных русел, позволяющая определить длину зоны инфильтрации и смоченную площадь отложений надводного намыва.

При совместном удалении золы и шлака, а также при раздельном удалении золы при разбиении потока на рукава число русел рекомендуется определять по формуле [1]

$$P_{\text{п}} = 1 + 19{,}8\,(x/L)^{1/6} Q^{4/5} d_{50}^{1/2}, \qquad (1)$$

где x — расстояние от выпуска пульпы до расчетного поперечника, м; L — длина откоса намыва от выпуска до уреза отстойного пруда, м; Q — расход пульпы на выпуске, м³/с; d_{50} — средняя крупность отложений, мм (рис. 3-1).

При раздельном удалении шлака число русел на надводном откосе намыва в различных расстояниях от выпуска пульпы вычисляется по формуле

$$P_{\text{п}} = 1 + 35\,(x/L)^{2/3} Q^{1/6}. \qquad (2)$$

Для облегчения вычислений по формулам (1) и (2) приведены номограммы на рис. IIIа и IIIб. В многорукавных руслах выделяется главное русло, в котором расход пульпы будет наибольшим по сравнению с другими руслами.

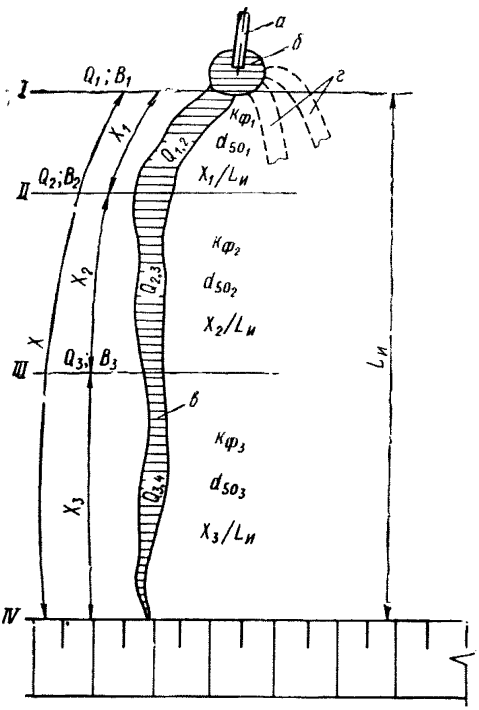


Рис. 3-1. Расчетная схема русла с изменяющимися физико-механическими характеристиками отложений

а — выпуск пульпы; *б* — воронка размыва; *в* — главное русло; *г* — другие русла (многорукавный поток).

Расход пульпы в P_i количестве русел для золоотвала на водоупорном основании вычисляется с помощью следующей формулы:

$$\sum_i Q = \left(\frac{P_i}{P_n}\right)^{\alpha} Q, \qquad (3)$$

где i и n — индексы, обозначающие соответственно порядковый номер данного русла и общее число русел на рассматриваемом расстоянии от выпуска пульпы; ΣQ — суммарный расход пульпы в P_i числе русел; Q — расход пульпы на выпуске; α — показатель степени, принимаемый для золошлаковых и зольных отложений соответственно равным 2/3 и 3/4.

Порядок вычисления расходов пульпы в многорукавных руслах по формуле (3) следующий:
определяется расход в главном русле при $P_i = 1$

[1] **Пантелеев В. Г.** Процесс намыва и морфометрические характеристики русел на отвалах ТЭС. — «Известия ВНИИГ», т. 107, 1975, с. 239—256.

$$Q_1 = \left(\frac{1}{P_n}\right)^{\alpha} Q,$$

расход во втором русле при $P_i = 2$

$$Q_2 = \left(\frac{2}{P_n}\right)^{\alpha} Q - Q_1,$$

расход в третьем русле при $P_i = 3$

$$Q_3 = \left(\frac{3}{P_n}\right)^{\alpha} Q - (Q_1 + Q_2) \text{ и т. д.}$$

При наличии в основании отвала хорошо фильтрующего грунта или дренажных устройств приводимые зависимости используются для определения длины зоны инфильтрации для отвала типа I-А и профильтровавшегося расхода водной составляющей пульпы в пределах надводного откоса намыва для отвала с прудом инфильтрации.

Определение длины зоны инфильтрации многорукавных русел [1]

Случай А. Характеристики намытого материала и параметры потока пульпы, влияющие на русловые процессы, по длине откоса намыва принимаются осредненными. При разделении потока пульпы на рукава длина зоны инфильтрации вычисляется в следующей последовательности.

Определяется по формулам (1) или (2) число русел $P_п$ на поперечнике, отстоящем от выпуска пульпы на расстоянии $x/L = 0{,}01 \div 0{,}1$ (меньшее значение $x/L = 0{,}01$ принимается при раздельном сбросе на отвал шлака, а большее — при совместном удалении золы и шлака или раздельном удалении золы).

Выделяется главное русло ($i = 1$, $P_i = 1$), для которого длина зоны инфильтрации будет наибольшей. Длина зоны инфильтрации для главного русла вычисляется по методике однорукавного русла.

Вычисляется по формуле (3) расход пульпы в главном русле Q_1.

Находится расчетный расход

$$Q_1 = Q\xi,$$

где $\xi = 1{,}1 \div 1{,}3$ — коэффициент, учитывающий возможный приток (слияние потоков) части расхода в главное русло из соседнего. Меньшее значение этого коэффициента принимается при раздельном удалении на отвал золы или шлака, а большее — при совместном удалении золы и шлака (жидкого и твердого — крупного и средней крупности).

Определяется по номограмме рис. I ширина главного русла для расчетного расхода Q_1.

Находится длина зоны инфильтрации для однорукавного (главного) русла по номограмме рис. 5 основного текста.

---

[1] **Пантелеев В. Г.** Определение длины откоса намыва, обеспечивающей полную инфильтрацию водной составляющей пульпы для дренированных отвалов. — «Труды координационных совещаний по гидротехнике». Вып. 113, Л., 1977, с. 28—35 (ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева).

Пример определения длины зоны инфильтрации при наличии многорукавных русел

Исходные данные: на отвал раздельно подается мелкий твердый шлак при расходе водной составляющей пульпы на выпуске $Q=0{,}04$ м³/с и консистенции $c_p=0{,}2$; характеристики намытого материала $d_{50}=0{,}25$ мм, $k_ф=5$ м/сут$=0{,}0000579$ м/с.

По номограмме рис. IIIб определяется число русел $P_п$ при $x/L=0{,}01$:

$$P_п=2.$$

Вычисляется расход в главном русле ($P_i=1$) по формуле (3)

$$Q_1=\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}0{,}04=0{,}025 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Находится расчетный расход в русле

$$Q_1=0{,}025\cdot 1{,}1=0{,}0275 \text{ м}^3/\text{с};$$

Определяется ширина русла по номограмме рис. I.

$$B=2{,}55 \text{ м}.$$

Находится длина зоны инфильтрации для главного русла по формуле п. 5.3 или рис. 5 при удельном расходе $q_0=\frac{0{,}0275}{2{,}55}=$ $=0{,}0108$ м³/с · м:

$$L_и=280 \text{ м}.$$

Случай Б. Характеристики намытого материала и параметры потока пульпы изменяются по длине откоса. При этом расчете характеристики намытого материала принимаются осредненными по зонам фракционирования.

Длина зоны инфильтрации главного русла для этого расчетного случая вычисляется с помощью фрагментарного метода, основанного на учете инфильтрации водной составляющей по отдельным участкам откоса намыва — фрагментам. Расчет выполняется в следующей последовательности.

Определяется приближенно длина зоны инфильтрации для главного русла (случай А) при осредненных характеристиках намытого по фрагментам материала. Осредненные характеристики, например средняя крупность, вычисляются по следующей формуле (формула для вычисления коэффициента фильтрации аналогична)

$$d_{50}=d_{50_1}\left(\frac{x_1}{L_и}\right)+d_{50_2}\left(\frac{x_2}{L_и}\right)+\ldots+d_{50_n}\left(\frac{x_n}{L_и}\right), \tag{4}$$

где d_{50_1}, d_{50_2}, ... d_{50_n} — средняя крупность отложений в пределах выделенных фрагментов, относительные длины которых равны соответственно

$$\frac{x_1}{L_и}=A_1,\ \frac{x_2}{L_и}=A_2,\ \ldots,\ \frac{x_n}{L_и}=A_n. \tag{5}$$

Вычисляется полная длина русел x и длины русел в пределах фрагментов $x_1, x_2, \ldots x_n$:

$$x_1 = L_и k_и A_1, \quad x_2 = L_и k_и A_2, \ \ldots\ , \ x_n = L_и k_и A_n; \quad x = L_и k_и; \tag{6}$$

где $k_и$ — коэффициент извилистости русел, $k_и = 1{,}15$.

Разбиваются поперечники на границах фрагментов. Поперечник № 1 назначается у выпуска пульпы (рис. 3-1).

Определяется профильтровавшийся расход в пределах каждого фрагмента

$$Q_{k,\,k+1} = \frac{B_k + B_{k+1}}{2} x_k k_{фk}, \tag{7}$$

где F_k — смоченная площадь отложений в пределах рассматриваемого фрагмента.

$$F_k = \frac{B_k + B_{k+1}}{2} x_k; \tag{8}$$

Здесь B_k и B_{k+1} — ширины русла в начале и в конце фрагмента; $k_{ф,k}$ — коэффициент фильтрации отложений в пределах рассматриваемого фрагмента.

Для решения уравнения (7) необходимо знать ширины русла B_k и B_{k+1} (величины x_k и $k_{ф,\,k}$ должны быть известны). При этом расчете ширина русла первоначально определяется в первом поперечнике (B_1), в котором известен расход пульпы Q_2 (случай А). Для вычисления ширины русла во втором поперечнике (B_2) должен быть известен расход пульпы в этом русле Q_2. Величина расхода Q_2 будет равна разности расходов в первом русле и профильтровавшегося между первым и вторым поперечниками $Q_{1,2}$, т. е.

$$Q_1 = Q_{1,2} + Q_2, \tag{9}$$

в общем виде

$$Q_k = Q_{k,\,k+1} + Q_{k+1}. \tag{10}$$

Однако для вычисления профильтровавшегося расхода $Q_{1,2}$ необходимо знать ширину русла B_2. Таким образом, для вычисления двух неизвестных расхода $Q_{1,2}$ и B_2 имеется лишь одно уравнение (7).

Поэтому эти два неизвестных рекомендуется вычислять методом подбора. Для этого задаемся расходом во втором русле $Q_2 (Q_2 < Q_1)$ и вычисляем ширину русла B_2, а по формуле (7) — расход $Q_{1,2}$. Расчет считается завершенным, если выполняется условие уравнений (9), (10). При невыполнении этого условия, т. е. $Q_1 \neq Q_{1,2} + Q_2$ следует задаться другим расходом Q_2 и расчет по определению неизвестных величин выполняется снова.

Вычислив методом подбора расходы $Q_{1,2}$ и Q_2, выполняем подобный расчет во втором, третьем и т. д. фрагментах.

Вычисляется на последнем фрагменте (начиная от верхней границы фрагмента, где известны Q_{n-1}, B_{n-1}) длина зоны инфильтрации этого русла ($L_и$) по формуле п. 6,3, *а* при известной длине $L_и$ находится длина русла

$$x'_n = L_и k_и. \tag{11}$$

Определяется полная длина русла, в которой осуществляется инфильтрация водной составляющей

$$x' = x_1 + x_2 + \ldots + x'_n. \qquad (12)$$

Расчет считается завершенным, если полученная длина русла x' будет равна заданной длине x (допускается разница в значениях этих длин не более 2—5%)

$$x' \simeq x. \qquad (13)$$

Если условие (13) не соблюдается, то расчет повторяется для другой длины русла.

Пример. На золоотвале при совместном сбросе золы и шлака выделены три зоны фракционирования (рис. 3-1), размеры которых равны, соответственно

$$\frac{x_1}{L_и} = 0{,}2; \quad \frac{x_2}{L_и} = 0{,}4 \text{ и } \frac{x_3}{L_и} = 0{,}4.$$

Характеристики намытого материала в пределах выделенных фрагментов $d_{50_1} = 2$ мм и $k_{ф1} = 20$ м/сут $= 0{,}000232$ м/с; $d_{50_2} = 1{,}15$ мм и $k_{ф2} = 5$ м/сут $= 0{,}0000579$ м/с; $d_{50_3} = 0{,}045$ мм и $k_{ф3} = 1$ м/сут $= 0{,}0000116$ м/с.

Осредненные характеристики намытого по длине откоса материала, вычисленные по зависимости (4): $d_{50} = 0{,}88$ мм, $k_ф = 6{,}4$ м/сут $= 0{,}000074$ м/с.

По методике, изложенной для случая А, был получен расход в главном русле $Q_1 = 0{,}04$ м³/с (расход на поперечнике № 1), а приближенная длина зоны инфильтрации главного русла $L_и = 290$ м.

Приближенная длина русла с учетом извилистости, вычисленная по зависимости (6), $x = 332$ м.

Дальнейший расчет ведется в табличной форме. Исходные данные на поперечнике № 1: $Q_1 = 0{,}040$ м³/с, $d_{50_1} = 2$ мм, $c_p = 0{,}1$, $B_1 = 3{,}2$ м (вычисляется по зависимости п. 4.3 или номограмме рис. I).

1. Длина русла $x = 332$ м

Расчет на поперечнике № 2 ($k_1 = 0{,}000232$ м/с, $x_1 = 332 \cdot 0{,}2 = 66{,}2$ м, $d_{50_1} = 2$ мм).

Задаемся	Получим			
Q_2, м³/с	B_2, м	$F_{1,2}$, м²	$Q_{1,2}$, м³/с	$Q_1 = Q_{1,2} + Q_2$
0,02	2,6	191	0,0444	$0{,}04 \neq 0{,}0444 + 0{,}02$
0,01	2,0	172	0,04	$0{,}04 \neq 0{,}04 + 0{,}01$
0,0045	1,4	151	0,035	$0{,}04 = 0{,}035 + 0{,}0045$

Расчет на поперечнике № 3 ($k_2 = 0{,}000058$ м/с, $x_2 = 332 \cdot 0{,}4 = 132$ м, $d_{50_2} = 1{,}15$ мм). Расчет по зависимости п. 5.3 показал, что в пределах заданных границ фрагмента № 2 расход водной составляющей пульпы $Q_2 = 0{,}0045$ м³/с профильтруется полностью

на длине $L_{и_2} = \frac{1{,}5 \cdot 0{,}0045}{1{,}4 \cdot 0{,}000058} = 81$ м, $x'_2 = 1{,}15 \cdot 81 = 91{,}5$ м. Таким образом, полученная длина русла $x'_2 = 91{,}5$ м меньше заданной $x_2 = 132$ м. Общая длина русла:

$$x' = x_1 + x'_2 = 66{,}2 + 91{,}5 = 157{,}7 \text{ м}.$$

Таким образом, $x' \neq x$. Следовательно, длина русла $x = 332$ м задана неверно.

2. Длина русла $x = 251$ м

Расчет на поперечнике № 2 ($x_1 = 251 \cdot 0{,}2 = 50{,}2$ м)

Задаемся	Получим			
Q_2	B_2	$F_{1,2}$	$Q_{1,2}$	$Q_1 = Q_{1,2} + Q_2$
0,012	2,35	135	0,0314	$0{,}04 \neq 0{,}0314 + 0{,}012$
0,01	2,0	130	0,0302	$0{,}04 \simeq 0{,}0302 + 0{,}01$

Расчет на поперечнике № 3 ($x_2 = 251 \cdot 0{,}4 = 100{,}4$ м)

Задаемся	Получим			
Q_3	B_3	$F_{2,3}$	$Q_{2,3}$	$Q_2 = Q_{2,3} + Q_3$
0,0025	1,0	151	0,0088	$0{,}01 \neq 0{,}0088 + 0{,}0025$
0,0017	0,8	142	0,0083	$0{,}01 = 0{,}0083 + 0{,}0017$

Длина зоны инфильтрации на фрагменте 3 ($k_3 = 0{,}0000116$ м/с; $B_3 = 0{,}8$ м; $Q_3 = 0{,}0017$ м^3/с); $L_{и_3} = 319$ м, $x'_3 = 362$ м.

Общая длина русла по расчету

$$x' = x_1 + x_2 + x'_3 = 50{,}2 + 100{,}4 + 362 = 512{,}6 \text{ м}.$$

Таким образом, $x' \neq x$. Следовательно, длина русла $x = 251$ м задана неверно.

3. Длина русла $x = 285$ м

Расчет на поперечнике № 2 ($x_1 = 285 \cdot 0{,}2 = 57$ м)

Задаемся	Получим			
Q_2	B_2	$F_{1,2}$	$Q_{1,2}$	$Q_1 = Q_{1,2} + Q_2$
0,0076	1,68	139	0,0324	$0{,}04 = 0{,}0324 + 0{,}0076$

Расчет на поперечнике № 3 ($x_2 = 285 \cdot 0{,}4 = 114$ м)

Задаемся	Получим			
Q_3	B_3	$F_{2,3}$	$Q_{2,3}$	$Q_2 = Q_{2,3} + Q_3$
0,00039	0,5	124,5	0,00721	$0{,}0076 = 0{,}00721 + 0{,}00039$

Длина зоны инфильтрации на фрагменте 3 ($Q_3 = 0{,}00039$ м^3/с, $B_3 = 0{,}5$ м), $L_{и_3} = 100$ м, $x'_3 = 114$ м. Общая длина русла по рас-

чету $x'=57+114+114=285$ м. Таким образом $x=x'$. Следовательно, длина русла $x=285$ м задана верно. Таким образом, длина зоны инфильтрации $L_и=\frac{x}{k_и}=\frac{285}{1,15}=249,5$ м.

Расчет смоченной площади отложений для отвала с прудом инфильтрации и дренированным основанием

Для конструкции отвала с прудом инфильтрации и дренированным основанием (в том числе, при устройстве отвала, в основании которого залегают пески — естественное дренированное основание) водная составляющая пульпы фильтруется как со смоченной поверхности отложений надводного намыва $F_н$, так и с пруда инфильтрации площадью F_0. Необходимая для полной инфильтрации смоченная поверхность отложений ΣF равна

$$\Sigma F=F_н+F_0, \tag{14}$$

$$F_н=F_1+F_2+\ldots+F_k, \tag{15}$$

где F_1, F_2, ... F_k — смоченная потоками пульпы поверхность отложений надводного намыва в пределах фрагментов, выделенных поперечниками 1, 2, ... $k+1$;

$$F_1=\sum_{P_k}\frac{Q_{1,2}}{k_{ф1}},\ F_2=\sum_{P_k}\frac{Q_{2,3}}{k_{ф2}},\ \ldots,\ F_k=\frac{Q_{k+1,k}}{k_{фk}}. \tag{16}$$

Знак суммирования $\sum_{P_к}$ указывает, что в пределах выделенных поперечников число русел может быть больше 1; $Q_{1,2}$, $Q_{2,3}$, ..., $Q_{k+1,k}$, Q_0 — профильтровавшийся во всех руслах в каждом из выделенных фрагментов надводного намыва и в пруде инфильтрации (индекс «0») расход водной составляющей пульпы. При полной инфильтрации выполняется равенство

$$Q=\sum_{P_k}Q_{1,2}+\sum_{P_k}Q_{2,3}+\ldots+\sum_{P_k}Q_{k+1,k}+Q_0. \tag{17}$$

Для вычисления профильтровавшегося в пределах надводного откоса намыва расхода водной составляющей необходимо определить смоченную поверхность отложений $F_н$. Для этого прежде всего следует построить план растекания потоков (план растекания условно строится для отвала на водоупорном основании).

Для этого:

а) задаются технологические параметры пульпы, схема намыва, а также (например, из конструктивных соображений) длина надводного откоса;

б) разбивается откос намыва с помощью поперечников на фрагменты. При этом поперечники назначаются на границах изменения физико-механических характеристик золошлакового материала и параметров потока пульпы, влияющих на русловые процессы. В общем случае рекомендуется брать 4 поперечника, отстоящих от выпуска пульпы из пульпопровода на расстояниях $x/L=0,05$; 0,3; 0,6 и 1 (урез пруда);

в) определяются характеристики намытого материала и параметры пульпы, необходимые для вычисления числа русел в каждом поперечнике;

г) находятся длина фрагментов и полная длина русел с учетом извилистости;

д) вычисляется число русел P_n в каждом поперечнике (по зависимостям (1), (2) или номограммам IIIа и IIIб;

г) вычерчивается план растекания потоков.

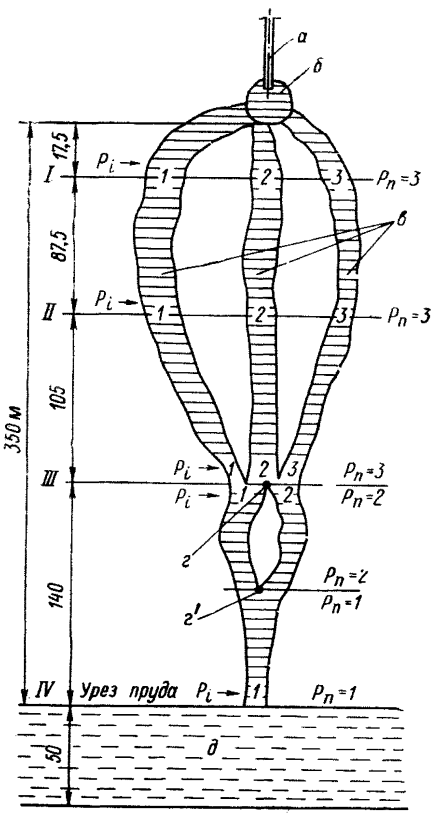


Рис. 3-2. План растекания потоков на надводном откосе намыва золоотвала

а—выпуск пульпы; *б*—воронка размыва; *в*—русла потоков пульпы (многорукавные русла); *г* и *г'*—точки слияния потоков; *д*—пруд инфильтрации.

Пример расчета, а также построенный план растекания потоков, приведены в табл. 3-1 и рис. 3-2. При намыве на дренированное основание вся водная составляющая пульпы из некоторых русел может профильтроваться полностью, поэтому план растекания потоков с учетом полученной длины зоны инфильтрации для этих русел корректируется. Отметим, что эта корректировка выполняется при фильтрационном расчете.

Профильтровавшийся расход водной составляющей пульпы для каждого русла в пределах каждого фрагмента при построенном плане растекания потоков вычисляется методом подбора, приведенным в этом приложении.

Если расчетом будет установлено, что из некоторого русла в пределах определенного фрагмента вся водная составляющая профильтруется полностью (русло исчезнет), то в этом случае в нижестоящем поперечнике количество русел по сравнению с вычисленным для отвала на водоупорном основании, будет меньшим. С учетом полученной для таких русел длины зоны инфильтрации план растекания потоков корректируется.

При известном профильтровавшемся на надводном откосе намыва расходе водной составляющей пульпы, по зависимости (17) определяется расход Q_0, поступающий в пруд инфильтра-

Таблица 3-1

№ поперечника	Исходные данные: Расстояние между поперечниками, м	Средняя крупность отложений, м	Коэффициент фильтрации, м/с	Характеристика отложений	Общие вычисления: Относительное расстояние x/L	Полная длина русел потоков между поперечниками с учетом извилистости, м (по ф-ле (6))	Количество русел в каждом поперечнике, $P_п$ (по номограмме рис. IIIа)	Номера русел, P_i	Вычисления в каждом поперечнике для конкретных русел: Отвал на водоупорном основании: Расход пульпы, м³/с (по ф-ле (3))	Ширина русел (по номограмме рис. 1), м	Смоченная площадь откоса намыва, м² (по ф-ле (8))	Отвал на дренированном основании: Ширина русел, м	Смоченная площадь откоса намыва, м²	Расход водной составляющей пульпы, м³/с: Профильтровавшийся на участке в отдельных руслах (по ф-ле (7))	Профильтровавшийся по длине откоса	В русле
0—(выпуск пульпы)									Диаметр воронки размыва 1 м							0,063
I	17,5	2,0	0,000023 (2 м/сут)	Золошлаковые	0,05	20,0	2,8	1	0,0303	2,3	33,0	2,3	33,0	0,0008		0,0295
							$P_п = 3,0$	2	0,0178	1,95	29,5	1,95	29,5	0,0007	0,002	0,0171
	87,5					99,7		3	0,0149	1,8	20,0	1,8	20,0	0,0005		0,0144
II		1,40			0,3		3,0	1	0,0303	2,2	225,0	2,15	222,0	0,0051		0,0244
	105						$P_п = 3,0$	2	0,0178	1,8	187,0	1,75	184,0	0,0042	0,0152	0,0129
		0,16			0,6	119,7	Точка слияния потоков	3	0,0149	1,65	172,0	1,62	170,3	0,0039		0,0105
III			0,000006 (0,5 м/сут)	Зольные			1,8	1	0,0375	1,75	236,0	1,5	219,0	0,0012	0,0174	0,0272
							$P_п = 2,0$	2	0,0255	1,6	203,0	1,1	170,5	0,001		0,0184
IV Урез отстойного пруда	140	0,035			1,0	159,5 (80) (79,5)	Точка слияния потоков $P_{п\ расч} = 1,4$	1	0,0375	1,4	—	1,2	108,0	0,0006	0,0185	0,0266
								2	0,0255	1,2	—	1,1	88,0	0,0005		0,0179
							$P_п = 1$	1	0,063	1,65	271,0	1,45	115,2	0,0007	0,0192	0,0438
Прудок инфильтрации	50	0,02	0,0000012 (0,1 м/сут)		—		—	—	—	—	—	—	36500	0,0438	0,063	—

Примечания: 1. В скобках показаны расчетные расстояния от границ поперечников до точки слияния потоков.
2. Расстояние от выпуска пульпы до уреза пруда $L = 350$ м; консистенция пульпы 0,045.

ции. При известном Q_0 по методике раздела 5 (п. 5.7) вычисляется площадь пруда инфильтрации.

В табл. 3-1 и на рис. 3-2 приводится пример расчета многорукавных русел на золоотвале для сосредоточенного намыва.

Иногда с увеличением расстояния от выпуска пульпы число русел уменьшается (например, при совместном сбросе золы и жидкого шлака) и, следовательно, русла потоков в некоторой точке откоса намыва сливаются. Точку слияния потоков при расчетах в основном следует назначать посредине расстояния между поперечниками. В случае, когда количество русел будет близко к принятому (например $P_{n\,\text{расч}}=1{,}8$, $P_n=2$ или же $P_{n\,\text{расч}}=2{,}2$, $P_n=2$ и т. д.), точка слияния потоков назначается на поперечнике. В точке слияния потоков расход водной составляющей пульпы для нового числа русел вычисляется вновь по зависимости (3), при этом расход Q будет равен суммарному расходу, поступающему в точку слияния.

Приложение 4

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЭС[1]

Выбор расчетных физико-механических характеристик золы и шлака на ТЭС

Гранулометрический состав золы (при раздельном удалении)

Гранулометрический состав золы, поступающей в багерную насосную станцию, при расчетах систем ГЗУ следует принимать в зависимости от рода твердого топлива и конструкции пылеугольных мельниц, согласно табл. 4-1 (рис. 4-1) (для золоуловителей первой группы).

Таблица 4-1

Измельчающие устройства	Процентное содержание фракций, мм						
	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,02	0,02—0,01	<0,01
Угольные топлива:							
барабанно-шаровые мельницы	—	4	9	21	39	22	5
молотковые мельницы	—	4	12	25	39	15	5
среднеходовые валковые мельницы	—	5	9	20	56	10	—
мелющие вентиляторы	—	8	15	22	31	18	6
Сланцы } молотковые мельницы	—	2	12	25	38	16	7
Торф }	5	5	27	32	19	8	4

[1] **Руководство** по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций, П 20-74. Л., «Энергия», 1974.

Гранулометрический состав шлака (при раздельном удалении)

На работающих ТЭС в зависимости от конструкции котлоагрегата в топках образуются две разновидности шлака — твердый и жидкий.

При твердом шлакоудалении в зависимости от рода твердого топлива, режима работы котлоагрегата и его конструкции в топках может образовываться мелкий по составу шлак торфа и сланцев или достаточно крупный, но обладающий крайне малой прочностью шлак некоторых угольных топлив. К таким разновидностям шлака угольных топлив относятся тугоплавкие шлаки,

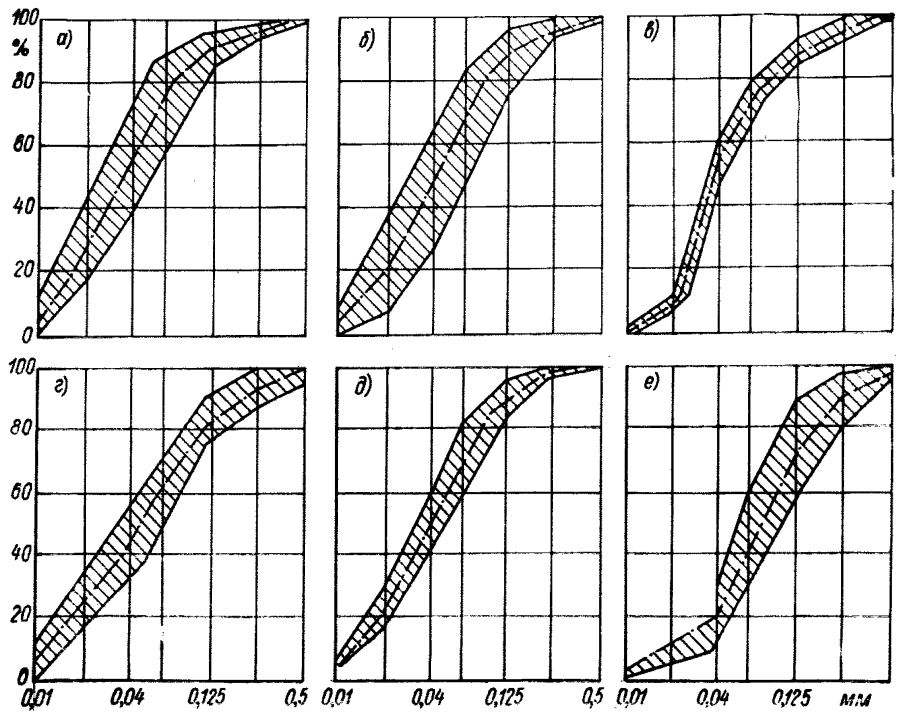


Рис. 4-1. Кривые гранулометрического состава золы золоуловителей группы 1 (предельные и осредненные)

а, б, в, г—угольные топлива; *д*—сланцы; *е*—торф. Топливо измельчалось: *а*—барабанно-шаровыми мельницами; *б, д, е*—молотковыми мельницами; *в*—среднеходовыми валковыми мельницами; *г*—мелющими вентиляторами.

имеющие температуру размягчения $t_2 \geqslant 1350°$ С [1] экибастузского, карагандинского, райчихинского, лермонтовского, смеси ткибульского и ткварчельского, азейского, черемховского и некоторых других углей. Крупные куски такого шлака легко разрушаются шлакоудаляющими устройствами — шнеками, ленточными тран-

[1] Данные о температурах размягчения золошлаковых материалов ТЭС приводятся в «Теплотехническом справочнике», т. I, М-Л. Госэнергоиздат, 1957. 728 с.

спортерами — перемещающими шлак из холодных воронок в смывной канал.

Твердый шлак угольных топлив среднеплавких ($t_2 = 1350 \div 1250°$ С), а также легкоплавких ($t_2 \leqslant 1250°$ С), гусиноозерских,

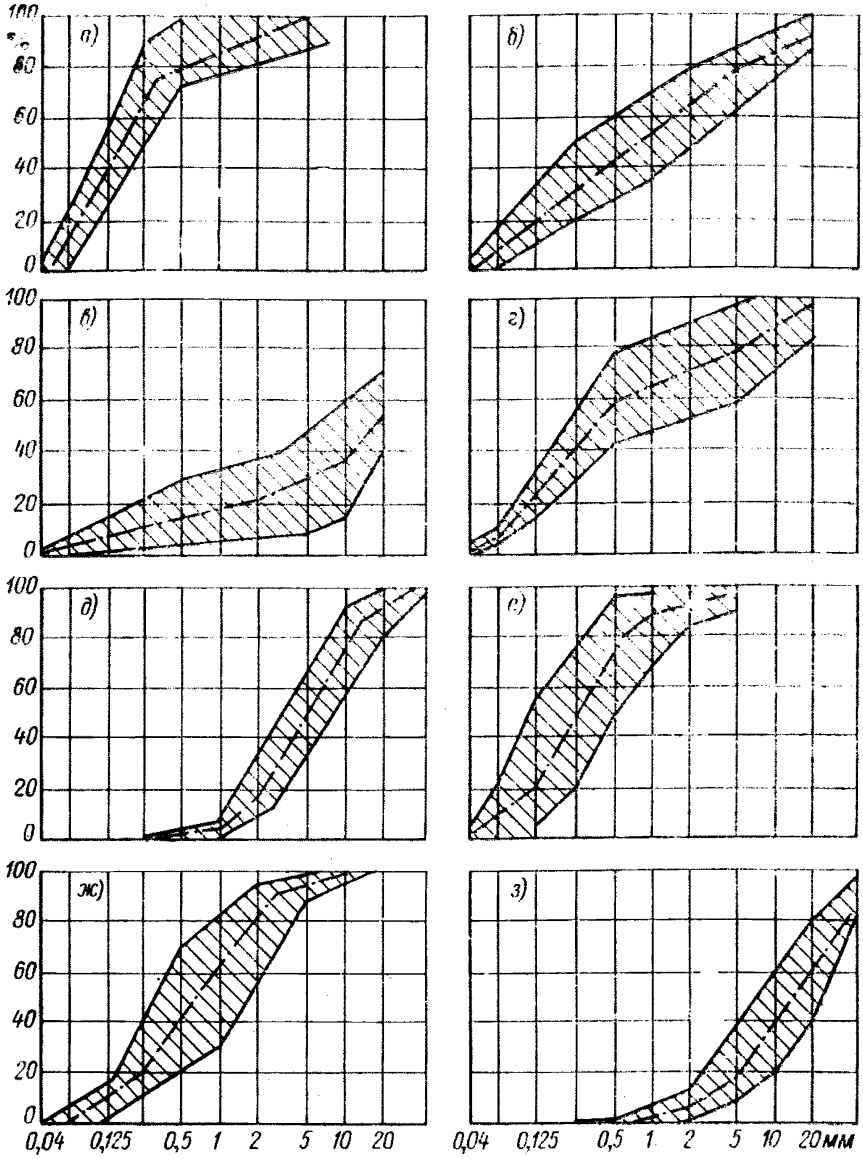


Рис. 4-2. Кривые гранулометрического состава шлака

а, б, в, г, д, з—угольные топлива; *е*—сланец; *ж*—торф; *а, б, в, г, е, ж*—твердый; *д, з*—жидкий шлак; *а, б, в, е, ж, з*—неизмельченный; *г, д*—измельченный шлак. Твердый шлак угольных топлив: *а*—мелкий; *б*—средней крупности; *в*—крупный.

некоторых месторождений кузнецких, смеси черновских и харанорских, киргизских, челябинских, ангренских, львовско-волынских и некоторых других углей при периодическом сбросе и не-

большом выходе шлака с каждого котлоагрегата перед сбросом в смывной канал иногда измельчают только шлакоудаляющими устройствами.

Крупный твердый и жидкий шлак, особенно при большом выходе на ТЭС, целесообразно измельчать дробилками.

Шлак твердых топлив ТЭС разделяется на девять групп:

твердый измельченный шлак угольных топлив;

твердый неизмельченный шлак угольных топлив;

твердый шлак крупный, средней крупности и мелкий;

жидкий шлак измельченный;

жидкий шлак неизмельченный;

шлак сланцев;

шлак торфа.

Гранулометрический состав шлака приведен на рис. 4-2.

Таблица 4-2

Разновидности шлака	Процентное содержание фракций, мм									
	40—20	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	<0,05
Угольные топлива:										
твердый измельченный	—	11	10	9	5	6	19	22	13	5
твердый неизмельченный:										
мелкий	—	—	—	8	7	6	14	35	20	10
средней крупности	7	8	6	14	11	11	12	15	12	4
крупный	46	16	7	9	3	3	3	6	3	4
жидкий измельченный	9	16	27	32	12	2	2	—	—	—
жидкий неизмельченный	37	23	20	13	5	2	—	—	—	—
Сланцы	—	—	—	6	4	19	25	29	11	6
Торф	—	—	7	13	19	21	21	11	6	2

К мелкому, кроме шлака торфа и сланцев, относится тугоплавкий шлак угольных топлив, а к крупному — легкоплавкий.

При раздельном удалении шлака его гранулометрический состав следует принимать в зависимости от рода сжигаемого топлива, системы шлакоудаления, наличия на ТЭС дробилок и температуры плавления согласно табл. 4-2.

Гранулометрический состав смеси золы и шлака (при совместном удалении)

При совместном удалении гранулометрический состав смеси продуктов сгорания должен быть получен на основании пересчета по известному содержанию шлака в общем количестве золошлаковых материалов, выдаваемых ТЭС. При этих вычислениях содержание шлака следует принимать либо на основании технологического задания, либо приближенно в зависимости от конструкции котлоагрегата: для топок с холодными воронками — 15%,

для топок с утепленными воронками — 25%, для однокамерных топок с жидким шлакоудалением — 40% и для циклонных топок ВТИ с жидким шлакоудалением — 55% [1].

Таблица 4-3

Золошлаковые материалы		Процентное содержание фракций, мм											
		40—20	20—10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,02	0,02—0,01	<0,01
Угольные топлива	Смесь золы и твердого шлака: измельченного	—	1,6	1,5	1,4	0,7	0,9	6,3	13,4	23,2	34,0	12,7	4,3
	неизмельченного мелкого	—	—	—	1,2	1,1	0,9	5,5	15,4	24,2	34,7	12,7	4,3
	неизмельченного средней крупности [1]	1,1	1,2	0,9	2,1	1,6	1,6	5,2	12,5	23,0	34,2	12,7	4,3
	неизмельченного крупного [1]	6,9	2,4	1,1	1,3	0,4	0,4	3,9	11,1	21,7	33,8	12,7	4,3
	Смесь золы и жидкого шлака: измельченного	3,6	6,4	10,8	12,8	4,8	0,8	3,2	7,2	15,0	23,4	9,0	3,0
	неизмельченного [1]	14,8	9,2	8,0	5,2	2,0	0,8	2,4	7,2	15,0	23,4	9,0	3,0
Сланцы	Смесь золы и твердого шлака	—	—	—	0,9	0,6	2,8	5,5	14,6	22,8	33,3	13,6	5,9
Торф		—	—	0,4	0,6	0,9	5,8	5,8	26,2	30,7	18,2	7,6	3,8

[1] Максимальный размер фракций шлака, поступающих в каналы ГЗУ, составляет 80—100 мм.

В табл. 4-3 приводятся наиболее характерные средние гранулометрические составы смеси золы и шлака различных твердых топлив.

При этих вычислениях гранулометрический состав шлака был принят согласно табл. 4-2, золы — табл. 4-1, причем для угольных топлив состав золы соответствует составу для молотковых мельниц, как наиболее распространенных на ТЭС.

ТЭС оборудованы котлоагрегатами либо с холодными воронками при твердом шлакоудалении (для твердого шлака), либо

[1] **Мелентьев В. А., Нагли Е. З.** Гидрозолоудаление и золоотвалы. Л., «Энергия», 1968. 238 с. с ил.

с однокамерными топками при жидком шлакоудалении (для жидкого шлака).

Отметим, что для торфа выход шлака был принят на основании производственных данных равным 5%.

Таблица 4-4

Род топлива	Средний агрегатный удельный вес, гс/см³		
	Зола	Твердый шлак	Жидкий шлак
Угли:			
назаровский	3,2—3,0	—	3,0
подмосковный	2,8—2,35	2,8—2,3	—
ангренский	2,6—2,45	2,4—2,2	2,9—2,6
райчихинский	2,55—2,40	2,4—2,0	—
донецкий	2,45—2,3	2,0	2,65
львовско-волынский	2,45—2,3	2,2	2,45
печорский	2,40	2,4—2,2	—
азейский, черемховский	2,4—2,3	2,0—1,9	—
черновский, гусиноозерский	2,4—2,3	2,3—1,7	—
кизил-кийский и др. киргизские угли	2,4—2,25	2,3—2,15	—
челябинский	2,3—2,1	2,2—2,1	2,45—2,5
ташкумырский и др. киргизские угли	2,3—2,1	2,0—1,9	—
ткварчельский и ткибульский	2,3	2,35	—
богословский	2,3	—	—
карагандинский	2,2—2,05	2,1—2,05	—
аркагалинский	2,2	2,2	—
реттиховский, подгороднеченский, партизанский, артемовский и др. дальневосточные угли	2,2—2,1	1,9—1,8	—
харанорский	2,2	—	—
воркутинский	2,15—2,10	2,15—2,0	—
кузнецкий	2,15	1,9	2,5
экибастузский	2,15—1,95	2,2—2,1	—
ургальский	2,14	1,60	—
быковский, синегорский (месторождения о. Сахалин)	2,13	2,0—1,8	—
лермонтовский (месторождение о. Сахалин)	2,0	1,9	—
Торф:			
тростниковый	3,4—3,25	2,42	—
месторождения Ярославской области	3,1	2,9	—
месторождения Белорусской ССР, Латвийской ССР, Ленинградской обл.	2,8—2,35	2,8—2,3	—
месторождения Московской обл.	2,6—2,4	2,0	—
Сланцы:			
эстонский	3,1—2,9	2,9—2,7	3,2
гдовский	2,8	2,8	—
кашпирский	2,75	2,8	—

Приводимые в табл. 4-1; 4-2 и 4-3 данные соответствуют средним составам золы, шлака, смеси золы и шлака. В практике иногда необходимо знать предельные составы (минимальные или максимальные), которые могут быть получены с графиков рис. 4-1 и 4-2, при известном проценте выхода золы и шлака с ТЭС.

Средний агрегатный удельный вес золы и шлака

Средний агрегатный удельный вес пробы золошлакового материала, состоящей из совокупности неоднородных частиц — физическая величина, равная отношению веса всех кусков естественной крупности в пробе к их объему.

Таблица 4-5

Сжигаемое топливо	Наименование ТЭС	Агрегатный удельный вес отложений на надводном откосе намыва, гс/см³	
		Золошлаковая зона	Зольная зона
Назаровский уголь	Назаровская ГРЭС	3,10	—
Львовско-Волынский уголь	Добротворская ГРЭС	—	2,60
	Бурштынская ГРЭС	2,90	2,50
Райчихинский уголь	Райчихинская ГРЭС	2,90	2,50
Донецкий уголь	Трипольская ГРЭС	3,10	2,50
	Старобешевская ГРЭС	2,70	2,20
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	—	2,45
Печорский уголь	Интинская ТЭЦ	—	2,45
Подмосковный уголь	Новомосковская ГРЭС	3,20	2,35
Ташкумырский и др. киргизские угли	Ферганская ТЭЦ	2,95	2,30
Харанорский уголь	Читинская ГРЭС	2,50	2,25
Карагандинский уголь	Алма-Атинская ГРЭС	—	2,20
Экибастузский уголь	Троицкая ГРЭС	—	2,20
Подгородненский, партизанский и др. угли	Партизанская ГРЭС	2,56	2,20
Воркутинский уголь	Воркутинская ТЭЦ-2	—	2,20
Челябинский уголь	Челябинская ТЭЦ-2	—	2,20
	Южно-Уральская ГРЭС	3,20	2,18
Липовецкий, реттиховский, артемовский и др. угли	Артемовская ГРЭС	2,75	2,15
Лермонтовский уголь	Сахалинская ГРЭС	3,10	2,10
Эстонский и гдовский сланцы	Прибалтийская ГРЭС	2,90	2,90
Торф (Московской, Ленинградской, Ярославской обл., Белорусской ССР)	Кировская ГРЭС (Ленинградская обл.)	2,70	2,65
	Ярославская ТЭЦ-1	3,10	2,82
	Смолевичская ГРЭС	2,75	2,65

Средний агрегатный удельный вес является основной физической величиной, характеризующей вес пробы золошлакового ма-

териала, которую необходимо использовать при расчетах гидротранспорта, объемного веса скелета и пр. В табл. 4-4 раздельно приводятся данные по среднему агрегатному удельному весу золы, жидкого и твердого шлака различных твердых топлив.

При совместном удалении золы и шлака средний агрегатный удельный вес смеси должен быть вычислен на основании расчета по известному выходу золы и шлака с ТЭС.

Агрегатный удельный вес золошлаковых материалов на золоотвалах [1]

В зависимости от физико-механических и химических свойств продуктов сжигания ТЭС, а также в зависимости от особенностей сброса пульпы, на надводном откосе намыва имеет место фракционирование золошлаковых материалов по агрегатному удельному весу. Величина агрегатного удельного веса золошлаковых материалов необходима для вычисления уклонов поверхности отложений, намытых на отвалах.

При сосредоточенном сбросе пульпы на золоотвал осредненные значения агрегатного удельного веса золошлаковых материалов по зонам фракционирования могут быть приняты по данным табл. 4-5.

Таблица 4-6

Сжигаемое топливо	Наименование ТЭС	Агрегатный удельный вес шлаковых отложений, г/см³
Твердый шлак		
Подмосковный уголь	Щекинская ГРЭС	2,70
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	2,50
Львовско-волынский уголь	Добротворская ГРЭС	2,25
Челябинский уголь	ТЭЦ Челябинского металлургического завода	2,20
	Южно-Уральская ГРЭС	2,30
Быковский и синегорский угли	Южно-Сахалинская ТЭЦ-2	1,90
Жидкий шлак		
Донецкий уголь	Молдавская ГРЭС	2,60
	Мироновская ГРЭС	2,50
Донецкий и кузнецкий угли	Черепетская ГРЭС	2,55
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	2,55
Львовско-волынский уголь	Бурштынская ГРЭС	2,45

При раздельном удалении шлака агрегатный удельный вес отложений на отвале принимается равным агрегатному удельному весу шлакового материала на ТЭС (табл. 4-4).

[1] **Пантелеев В. Г.** Фракционирование золошлаковых материалов по агрегатной плотности. — «Электрические станции», 1977, № 1, с. 20—25.

В качестве справочного материала в табл. 4-6 приводятся данные по агрегатному удельному весу шлака, намытого на шлакоотвалах.

Приложение 5[1]

КЛАССИФИКАТОРЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гидроциклон

Гидроциклон ГЦГ-1М конструкции ВНИИНеруда (рис. 5-1) состоит из цилиндрической циклонной камеры *1* с тангенциально подключенным питающим патрубком *2* и коническим днищем

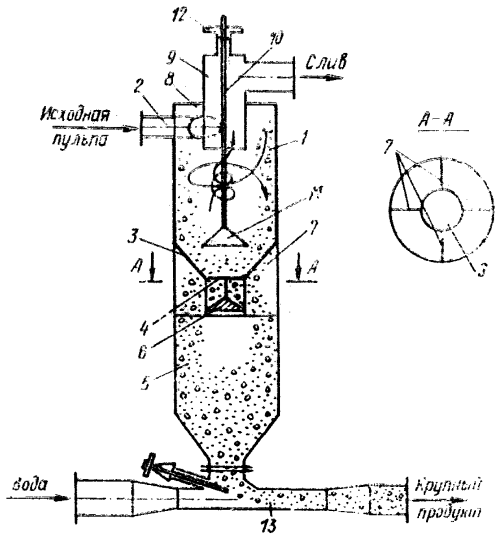


Рис. 5-1. Гидроциклон ГЦГ.

3, имеющим в центральной части уширенное отверстие *4*, через которое циклонная камера соединена с грунтосборником *5*. В месте стыковки циклонной камеры *1* с грунтосборником смонтировано стабилизирующее устройство, включающее направляющий диск и радиальные перегородки *7*. В крышку 8 гидроциклона вмонтирован сливной патрубок *9*, через который пропущен шток *10* с коническим экраном *11* на нижнем конце и регулировочным

[1] Составлено по материалам лаборатории технологии и оборудования для гидромеханизированной добычи и переработки сырья ВНИИНеруда.

маховиком *12* наверху. К грунтосборнику *5* подключено гидротранспортное устройство *13*.

Работает аппарат следующим образом. Исходная золошлаковая пульпа по питающему патрубку *2* поступает в циклонную камеру *1*, где в образовавшемся центробежном поле происходит разделение пульпы. Сгущенная ее часть в основном с крупными фракциями прижимается к стенкам, по винтовой линии опускается вниз и через отверстие *4* попадает в грунтосборник, где происходит гравитационное осаждение частиц.

Улучшению процесса осаждения и сгущения материала в грунтосборнике способствует стабилизирующее устройство с диском *6* и радиальными перегородками *7*, которое ликвидирует вихрь пульпы, поступающей из циклонной камеры *1*, в грунтосборник *5*.

Из грунтосборника крупный продукт поступает в гидротранспортное устройство *13*, с помощью которого транспортируется к месту укладки. Центральную часть циклонной камеры *1* заполняет пульпа, содержащая в основном мелкие фракции золы, которая через сливной патрубок *9* транспортируется к золоотвалу. Вертикальные перемещения штока *10* с коническим экраном *11* посредством регулировочного маховика *12* позволяют изменять направление потока пульпы в циклонной камере и тем самым регулировать крупность и количество материала, уходящего в слив, т. е. регулировать режим классификации.

Для предотвращения абразивного износа на стенки циклонной камеры устанавливается облицовка из износоустойчивого материала.

Гидрогрохот

Для отделения из золошлаковой пульпы частиц шлака крупнее 3—5 мм, что необходимо при рассредоточенном намыве из выпусков небольшого сечения во избежание их закупорки, может быть использован спиральный гидрогрохот типа СГ конструкции ВНИИНеруда. Такой гидрогрохот обеспечивает пропуск крупных включений, отличается стойкостью против абразивного износа и надежностью в работе, обеспечивает надежное обезвоживание крупного продукта и гидротранспорт мелкого, позволяет регулировать режим классификации и настраивать работу на заданную граничную фракцию.

Гидрогрохот типа СГ (рис. 5-2) включает желоб *2*, выполненный в виде растянутой архимедовой спирали с плавным увеличением шага винтовой линии и снабженной по длине, пульпоулавливающими карманами *3*, соединенными посредством патрубков *4* с пульпосборным коллектором *5*.

Кроме того, в нем предусмотрена сменная решетчатая вставка *6*, состоящая из днища и перфорированной боковой стенки.

Действует аппарат следующим образом.

Исходная пульпа через питающий патрубок *1* подается на решетчатую вставку *6* спирального желоба *2*, где за счет центро-

бежных сил и сил гравитации на боковой решетчатой стенке и на решетчатом днище происходит разделение твердого материала по заданной крупности.

Частицы менее граничного размера вместе с водой проходят через решетчатую вставку *6* и, перемещаясь по днищу спирального желоба *2*, попадают в пульпоулавливающие карманы *3* и

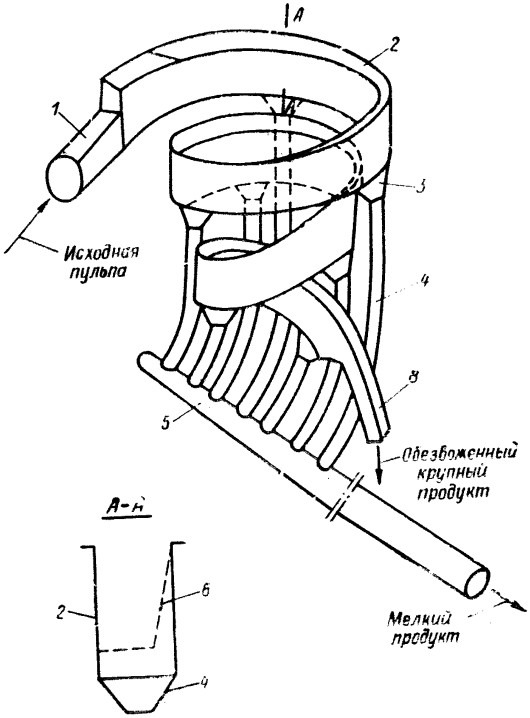


Рис. 5-2. Гидрогрохот СГ.

через патрубки *4* отводятся в пульпосбросный коллектор *5*, а затем по пульпосливной трубе *7* поступают для последующей переработки. Частицы крупнее граничного размера при движении по спиральному желобу *2* остаются на решетчатой вставке и в обезвоженном виде через точку *8* выдаются по конвейеру непосредственно на склад.

Увеличение точности разделения по крупности и повышение степени обезвоживания крупного материала в спиральном гидрогрохоте достигается за счет комплексного использования сил центробежного поля и гравитации. Причем сохранение оптималь-

ной скорости перемещения материала по спиральному желобу обеспечивается за счет плавного уменьшения диаметра спирали и увеличения шага ее винтовой линии. Кроме того, последовательное размещение по днищу желоба пульпоулавливающих карманов с отводными патрубками обеспечивает постепенный отбор гидросмеси с мелким продуктом и разгрузку подрешеточного пространства желоба, что исключает повторное засорение крупного продукта мелким.

Установка на питающем патрубке специального регулирующего устройства в виде поворотного струенаправляющего шибера

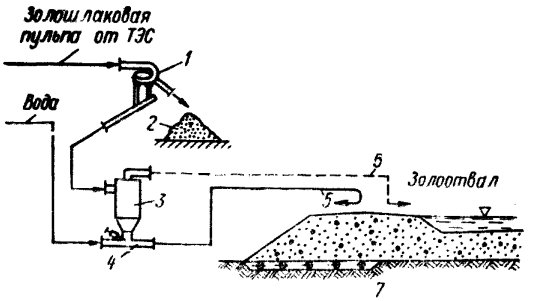


Рис. 5-3. Схема цепи аппаратов для разделения золошлакового материала

1—гидрогрохот; *2*—штабель шлака крупнее 3—5 мм; *3*—гидроциклон; *4*—гидротранспортная установка; *5*—пульпопровод для шлаковой пульпы; *6*—пульпопровод для зольной пульпы; *7*—дренажная сеть.

позволяет изменять скорость подачи исходной пульпы и тем самым регулировать режим классификации и обезвоживания крупного продукта.

Примечания: 1. Для отбора шлака крупнее 3—5 мм могут быть применены конические гидрогрохоты конструкции Уралсибгидромеханизации.

2. Для выделения из золошлаковой пульпы фракций крупнее 3—5 мм и для дальнейшего разделения фракций по граничной крупности 0,05—0,10 мм гидрогрохот и гидроциклон включаются последовательно.

Схема цепи аппаратов для разделения золошлакового материала перед подачей в золоотвал приведены на рис. 5-3.

Аппараты для сгущения пульпы

Для подачи на золоотвал сгущенной пульпы с попутным отделением мелких фракций золы могут быть использованы следующие сгустительно-обогатительные аппараты:

а) гидроциклон с тангенциальным выпуском сгущенной пульпы (ГЦТ) конструкции ВНИИНеруда;

б) горизонтальный сгуститель конструкции ВНИИГа.

Аппараты обеспечивают гидротранспорт как сгущенной, так и осветленной пульпы.

Аппарат ГЦТ (рис. 5-4) состоит из цилиндрического корпуса *1*, в верхней части которого тангенциально установлен питающий патрубок *2*, а в нижней также тангенциально по ходу вращения потока вмонтирован патрубок *3* для выпуска сгущенной и обогащенной пульпы. В центре плоской крышки *4* гидроциклона имеется отверстие, в котором с помощью сальникового уплотнения *5*

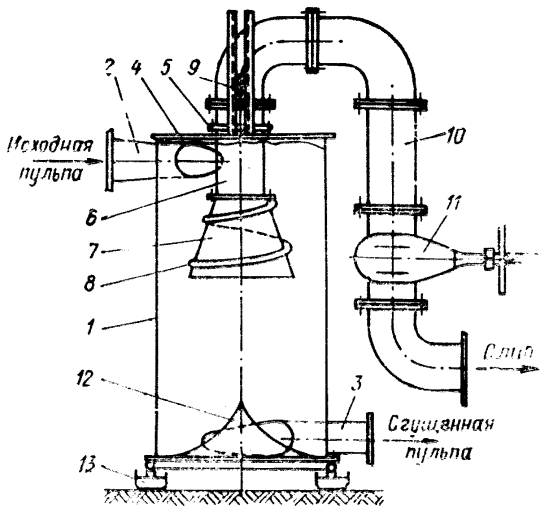


Рис. 5-4. Гидроциклон ГЦТ.

вмонтирован цилиндрический сливной патрубок *6*, оканчивающийся раструбом *7* с закрепленными на внешней его поверхности винтовыми струенаправляющими лопастями *8*.

Патрубок *6* выполнен подвижным по вертикали и фиксируется в заданном положении с помощью стопорного устройства *9*. К патрубку *6* присоединяется сливной трубопровод *10* с регулировочной задвижкой *11*. Днище *12* гидроциклона выполнено параболоидной формы. Гидроциклон установлен на салазках *13*.

Работает гидроциклон следующим образом. Исходная пульпа подводится к питающему патрубку *2*, с помощью которого тангенциально вводится в цилиндрический корпус *1*, где образуется вихревой поток пульпы, спускающийся по спирали вниз. Раструб *7* с винтовыми струенаправляющими лопастями *8* усиливает закрутку потока и тем интенсифицирует процесс его разделения на сгущенную пульпу, отбрасываемую к периферии и осветленную часть ее, заполняющую центральную часть корпуса.

Сгущенная пульпа, вращаясь и опускаясь по стенкам вниз, попадает в отводящий патрубок *3* для последующего гидротранспортирования, а осветленная пульпа с мелкими частицами через

раструб *7* и патрубок *6* попадает в сливной трубопровод *10*. Настройка аппарата на заданный режим по расходу слива осуществляется с помощью задвижки *11*, а регулировка его по количеству материала и крупности частиц, направляемых в слив, производится путем опускания или поднятия раструба *7*.

Горизонтальный сгуститель конструкции ВНИИГа (рис. 5-5) состоит из корпуса диффузора прямоугольного сечения, имеющего входной патрубок для соединения с пульпопроводом и два выходных патрубка — нижний для сгущенной пульпы и верхний

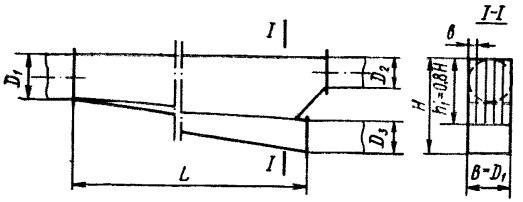


Рис. 5-5. Горизонтальный сгуститель.

для осветленной. Внутри корпуса размещены параллельные плоскости для стабилизации потока.

Наибольшая эффективность работы сгустителя достигается тогда, когда входная скорость равна критической скорости транспортирования в пульпопроводе.

Регулировка работы сгустителя осуществляется изменением соотношения расходов в выходных патрубках с помощью задвижек, в соответствии с основными исходными зависимостями для режима работы аппарата:

$$\frac{c_0}{c_н} = \frac{F_3}{F_1} \text{ и } F_2 = F_1 - F_3,$$

где c_0 — консистенция пульпы на входе в сгуститель; $c_н$ — консистенция сгущенной пульпы в нижнем патрубке; F_1 — площадь сечения входного патрубка; F_2 — площадь сечения верхнего выходного патрубка; F_3 — площадь сечения нижнего выходного патрубка.

Определение основных размеров сгустителя и стабилизатора выполняется следующим образом.

Высота плоскости стабилизатора $h=0{,}80H$, где H — высота сгустителя назначается конструктивно, исходя из необходимости размещения выходных патрубков.

Длина сгустителя $L \geqslant 100b$, где b — расстояние между плоскостями стабилизатора назначается по наибольшему размеру крупных кусков шлака, транспортируемых по пульпопроводу.

Примечания: 1. Опытный горизонтальный сгуститель проходил в 1976 г. испытания на золоотвале Щекинской ГРЭС.

Параметры опытного сгустителя: расход пульпы через сгуститель Q_0 = =400—630 м³/час, при диаметре пульпопровода D=600 мм, отношение расходов верхнего и нижнего выходных отверстий $Q_в/Q_н$=2—4.
Весовая консистенция пульпы:

на верхнем выходном отверстии $c_в$ = 5%

на нижнем выходном отверстии $c_н$=27%.

Сгуститель одновременно работал как классификатор и разделял золошлаковый материал по его крупности:

Пульпа	Процентное содержание фракций, мм						
	>5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	<0,1
Осветленная	—	—	—	0,9	6,0	21,4	71,7
Сгущенная	2,1	4,1	6,4	6,3	45,1	26,0	10,1

2. Горизонтальные сгустители могут изготовляться на ТЭС в соответствии с поставленной задачей сгущения пульпы при намыве золоотвала.

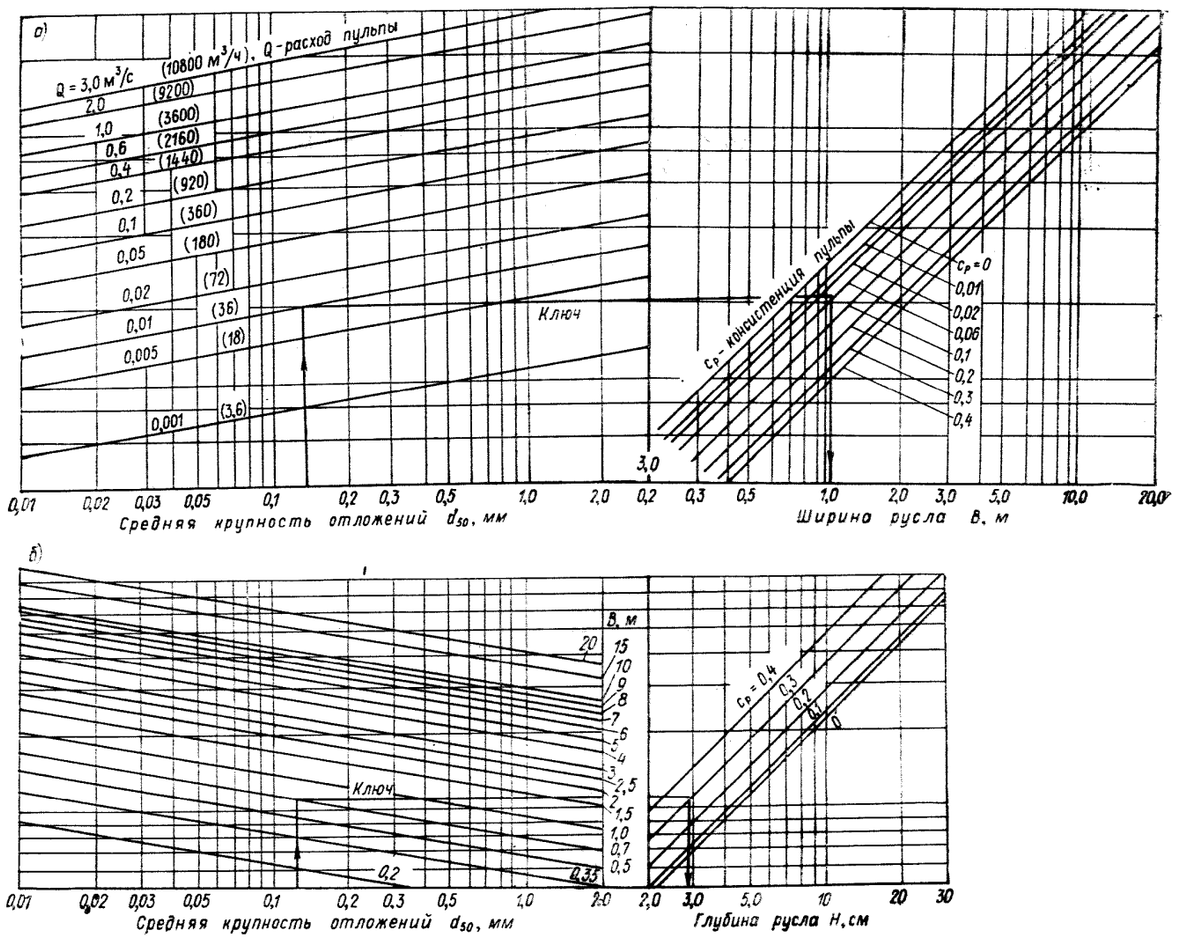


Рис. I. Номограмма для определения ширины (*а*) и глубины (*б*) русла потока пульпы.

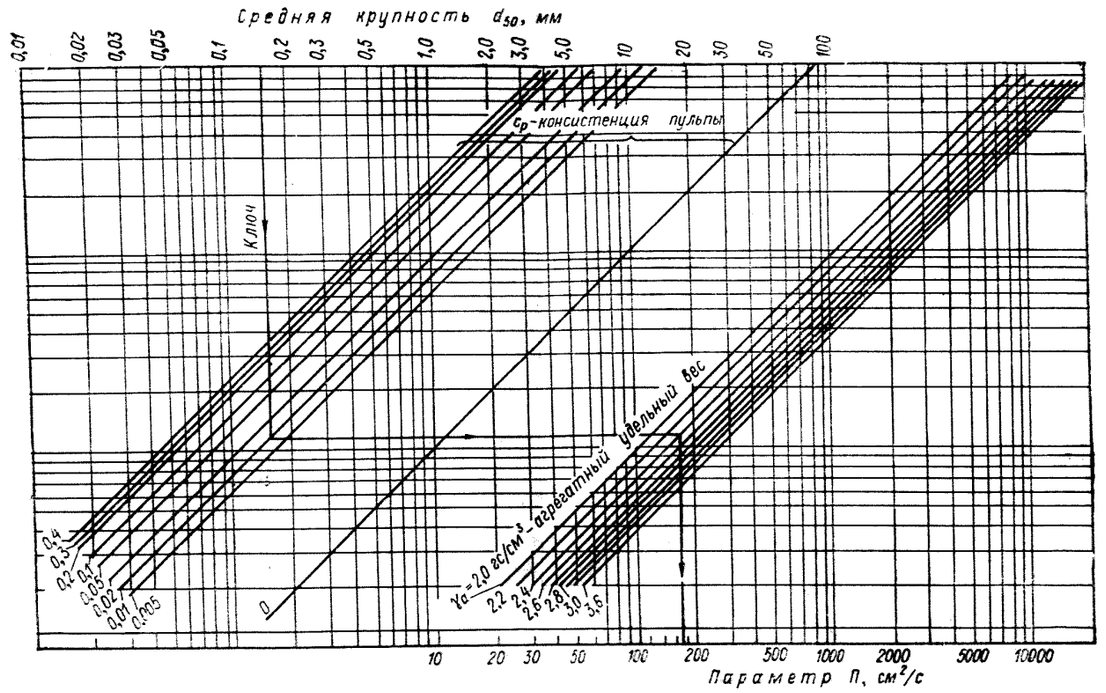


Рис. IIа. Номограмма для определения параметра *П* для отложений

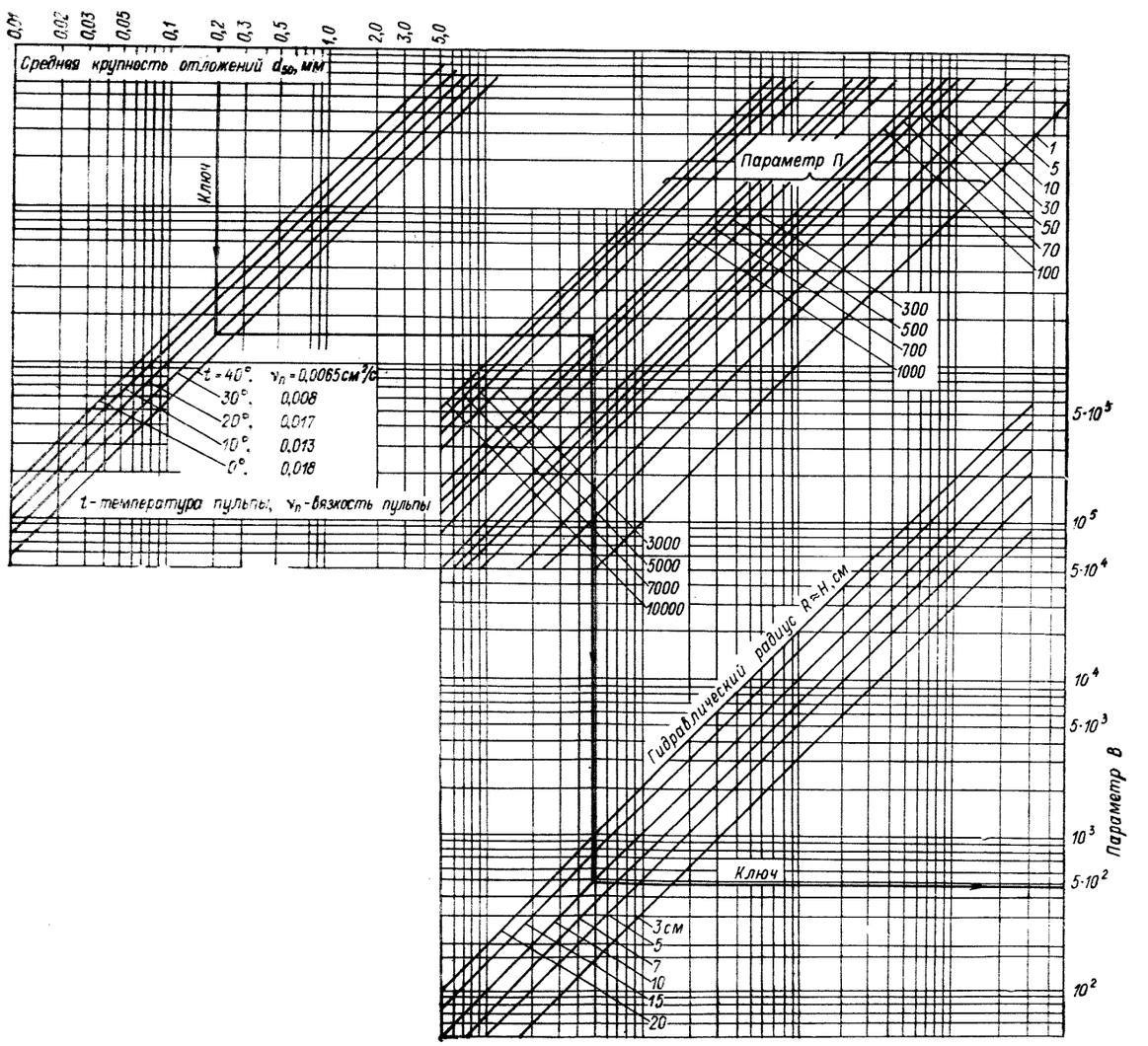


Рис. IIб. Номограмма для определения параметра *В*.

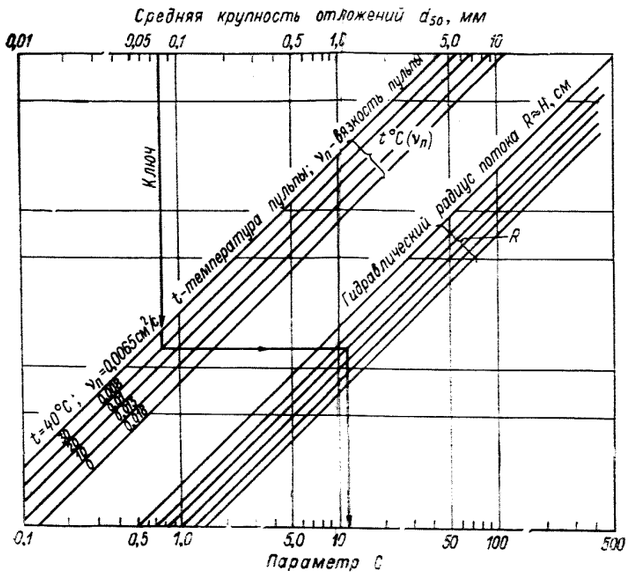


Рис. IIв. Номограмма для определения параметра C.

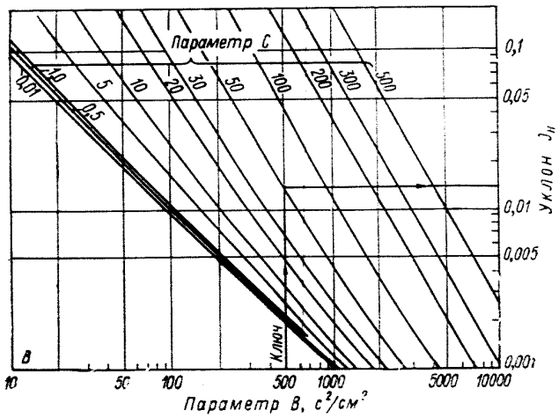


Рис. IIг. Номограмма для определения уклона поверхности отложений.

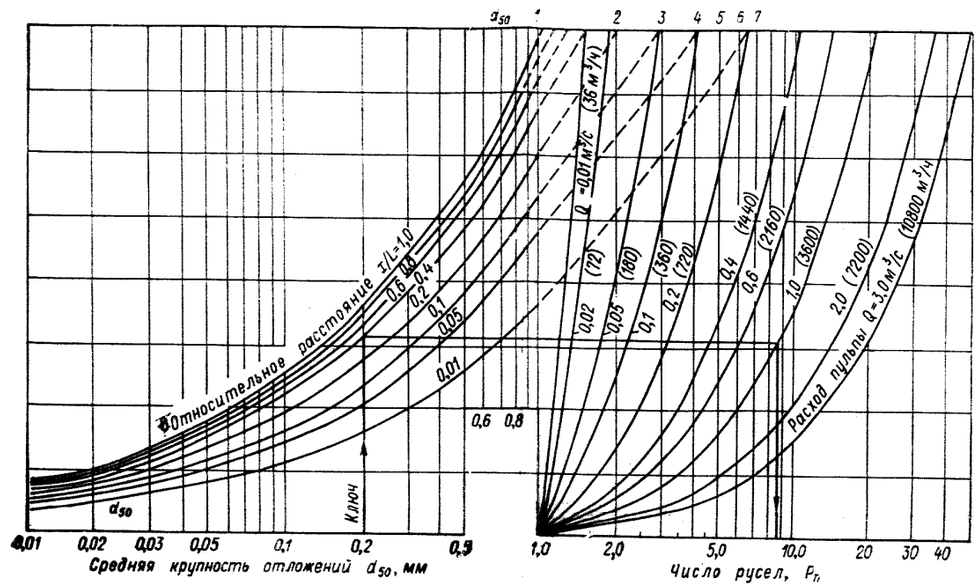


Рис. IIIа. Номограмма для определения числа русел на золоотвалах.

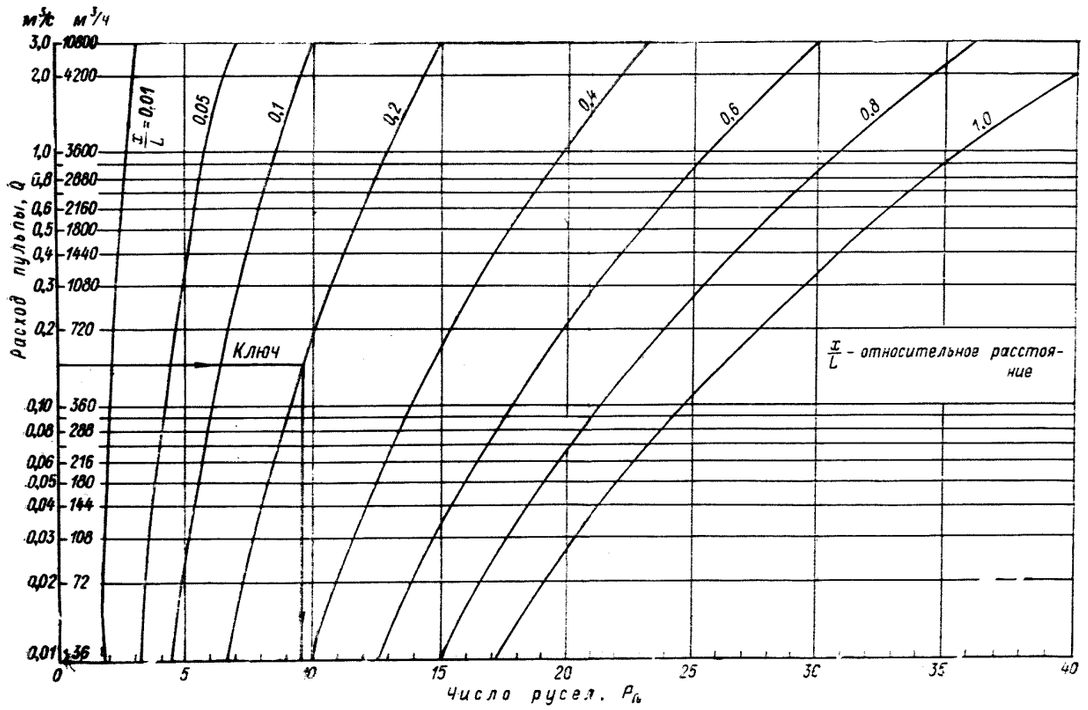


Рис. IIIб. Номограмма для определения числа русел $P_п$ на шлакоотвалах.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 6
2. Аппараты для разделения по крупности золошлаковых материалов 10
3. Технология намыва дренированных золоотвалов 11
4. Особенности формирования намываемого материала на дренированное основание и расчет уклонов поверхности отложений 12
5. Расчет длины зоны инфильтрации дренированного золоотвала . . 16
6. Проектирование дренажной сети в основании отвала 21
7. Проектирование гранулометрического состава обратных фильтров дренажей золоотвалов 26
8. Контрольно-измерительная аппаратура 26

Приложения

1. Примеры действующих дренированных отвалов 28
2. Методика проектирования гранулометрического состава обратных фильтров дренажей золоотвалов и примеры расчета 31
3. Расчет многорукавных русел на откосе намыва 44
4. Физико-механические свойства золошлаковых материалов на ТЭС 54
5. Классификаторы для разделения по крупности золошлаковых материалов 62

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДРЕНИРОВАННЫХ ЗОЛООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Научный редактор *В. А. Мелентьев*

Редактор *Р. Н. Тиназова*

Технический редактор *Т. М. Бовичева*

Сдано в набор 26/VIII 1977 г.
Подписано к печати 1/XI 1977 г.
М-12656. Формат набора 60×90/16.
Бумага типографская № 1.
Печ. л. 4,25+1 вкл. Уч.-изд. л. 3,7.
Тираж 980. Заказ 380.
Цена 56 к.

Типография Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института гидротехники имени Б. Е. Веденеева.
195220, Ленинград, Гжатская ул., 21.

gost.e-ecolog.ru