МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ

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

ВСЕСОЮЗНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗОЛООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 20-74
ВНИИГ

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
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗОЛООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 20-74
ВНИИГ

«ЭНЕРГИЯ»
Ленинградское отделение
1974

УДК 621.182.9

«Руководство по проектированию золоотвалов ТЭС» является уточненным и существенно расширенным переизданием аналогичных «Указаний», разработанных и выпущенных в 1965 г. ВНИИГом им. Б. Е. Веденеева.

«Руководство» составлено с учетом современных требований к намывным гидротехническим сооружениям и дополнено рядом разделов, освещающих основные положения проектирования, выбор конструкций золоотвалов, использование золошлаковых материалов для возведения дамб наращивания, расчеты отстойных прудов и водного баланса при оборотном водоснабжении систем ГЗУ, а также вопросы эксплуатации золоотвалов.

Значительно расширены приложения, в которых отражены результаты изучения физико-механических свойств и химико-минералогического состава золошлаковых материалов, выполненного ВНИИГом, Теплоэлектропроектом и УФТИ. Приведена методика фильтрационных расчетов золоотвала, расчета устойчивости откосов золоотвала и др. «Руководство» разработано во ВНИИГе им. Б. Е. Веденеева при участии Теплоэлектропроекта.

Р $\frac{30314\text{-}550}{051\ (01)\text{-}74}$

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева (ВНИИГ), 1974

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗОЛООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Научный редактор *В. А. Мелентьев*

Редактор *Р. Н. Тиназова*

Технический редактор *Т. М. Бовичева*

Ленинградское отделение издательства «Энергия», 192041, Ленинград, Марсово поле, 1.

Сдано в набор 4/IX 1974 г.
Подписано к печати 23/XII 1974 г.
М-59069. Формат 60×90/16.
Бумага типографская № 2.
Печ. л. 8,37+3 вкл. Уч.-изд. л. 8,41.
Тираж 1500. Заказ 438. Цена 94 коп.

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

ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Указаниях по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций» (Л., «Энергия», 1965) рассматривались основные вопросы проектирования золоотвалов с учетом научно-исследовательских работ, опыта проектирования, строительства и эксплуатации золоотвалов до 1961 г.

За десятилетний период со времени ввода в действие «Указаний» значительно возросли мощности тепловых электрических станций и соответственно увеличился выход золошлакового материала на станциях, использующих твердое топливо. К настоящему времени объем уложенного золошлакового материала на отвалах некоторых станций составляет десятки миллионов кубических метров, а высота отвалов достигает 40 *м*.

Современные золоотвалы тепловых электрических станций являются ответственными гидротехническими сооружениями, авария которых может привести к тяжелым последствиям не только для станции, но и для многих объектов народного хозяйства и населенных пунктов, расположенных вблизи отвала.

В 1970—1973 гг. ВНИИГом и Теплоэлектропроектом на 58 электрических станциях и золоотвалах изучены физико-механические свойства золошлаковых материалов многих твердых топлив, выполнены исследования отстойных прудов, обобщен накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации золоотвалов.

Кроме того, в связи с опубликованием в 1971 г. Основ водного законодательства СССР и в 1972 г. Постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов, особенно остро встали вопросы оборотного водоснабжения систем гидрозолоудаления и осветления воды на золоотвалах.

Все это послужило основанием для пересмотра «Указаний по проектированию золоотвалов» и переработки их с учетом современных требований к проектированию этих специфических объектов энергетического строительства.

В настоящее время известны четыре типа конструкции золоотвалов ТЭС:

I. Дренированные золоотвалы.

II. Золоотвалы с поярусным обвалованием из золошлакового материала.

III. Золоотвалы с поярусным обвалованием из грунта.

IV. Золоотвалы с ограждающей дамбой из грунта, возводимой на проектную высоту отвала.

Идея дренированного золоотвала заключается в том, что намыв золошлакового материала производится на основание с развитой дренажной сетью, служащей для сбора водной составляющей пульпы, которая профильтровывается через намытые отложения. Таким образом, на дренированном золоотвале осветление воды происходит за счет фильтрации в отложениях золошлакового материала. На таком золоотвале не требуется возведения обвалования, поскольку формирование откоса намыва обусловлено инфильтрацией водной составляющей пульпы.

Вопросы проектирования и расчета дренированных золоотвалов настоящим «Руководством» не регламентируются, ввиду незавершенности соответствующих исследований в 1973 г. Предполагается, что «Руководство по проектированию дренированных золоотвалов» будет разработано после окончания полного комплекса исследований.

В целях повышения качества проектирования золоотвалов и усиления авторского надзора за их строительством, особенно в случае использования золошлакового материала для поярусного обвалования, настоящим «Руководством» золоотвалу присвоено следующее определение: «золоотвал — гидротехническое сооружение, намываемое из золошлакового материала в процессе его складирования». На основе этого определения в «Руководстве» введена новая терминология для отдельных элементов отвала. Исключен термин «ограждающая дамба золоотвала», который имел в виду условный объем намытого золошлакового материала в пределах низового клина золоотвала. Вместо этого в «Руководстве» введены следующие термины для отдельных элементов золоотвала с поярусным обвалованием: «первичная дамба» и «дамба наращивания». Термин «ограждающая дамба» оставлен лишь для золоотвала IV типа, на котором дамба из грунта возводится на проектную высоту отвала и служит как бы подпорной стенкой для намытого золошлакового материала.

При составлении «Руководства» использованы «Временные указания по применению в проектах золоотвалов рассредоточенного выпуска пульпы из золопроводов и устройству дрен внутри золоотвалов» (Теплоэлектропроект, 1971 г.) и «Типовая инструкция по эксплуатации пульпопроводов внешнего гидрозолоудаления и золоотвалов» (ОРГРЭС, 1971 г.).

«Руководство» разработано с учетом отзывов и замечаний следующих организаций: Среднеазиатского отделения ТЭП, Львовского отделения ТЭП, Рижского отделения ТЭП, Киевского отделения ТЭП, Союзводоканалпроекта, Промэнергопроекта, НИИ гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана, ОРГРЭСа, Южного отделения ОРГРЭСа, Управления по водным проблемам и очистке сточных вод Минмелиоводхоза РСФСР, ЦУРЭНа Минрыбхоза

СССР, заместителя Главного государственного санитарного врача СССР. Кроме того, в окончательный текст «Руководства» внесены замечания и пожелания комиссии ученого совета ВНИИГа и специалистов Теплоэлектропроекта.

«Руководство» разработано в лабораториях земляных гидросооружений и гидропневмотранспорта ВНИИГа им. Б. Е. Веденеева ст. научн. сотр., доктором техн. наук В. А. Мелентьевым и ст. инженером Э. Л. Добкиным.

Приложения составили сотрудники Института: мл. научн. сотр., канд. техн. наук В. Г. Пантелеев (приложения 1 и 2), ст. инженер Т. М. Гольдина (приложение 3) и мл. научн. сотр., канд. техн. наук Т. В. Матрошилина (приложение 5). Рекомендации по борьбе с пылением разработаны ст. инженером лаборатории гидроизоляции ВНИИГа В. П. Яковлевым.

От Института «Теплоэлектропроект» в составлении «Руководства» приняли участие — зам. гл. инженера Г. С. Агеев, гл. гидротехник Р. Г. Минасян, гл. специалист по гидрозолоудалению Т. Н. Булычев и гр. инженер Д. С. Седлович.

Настоящее «Руководство» согласовано с заместителем Главного государственого санитарного врача СССР, с Главрыбводом Минрыбхоза СССР и с Управлением по водным проблемам и очистке сточных вод Минмелиоводхоза РСФСР.

«Руководство» утверждено решением Главниипроекта Минэнерго СССР № 41 от 15 марта 1974 г. С выходом в свет «Руководства» аннулируются «Указания по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций», МЭиЭ-63, переведенные решением Главниипроекта № 132 от 8/IV 1972 г. в разряд пособий.

Министерство энергетики и электрификации СССР	**Руководство по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций**	П 20-74 ВНИИГ взамен МЭиЭ-63

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область применения

1.1. Настоящее «Руководство» регламентирует вопросы проектирования золоотвалов, предназначенных для складирования золошлаковых материалов, удаляемых с тепловых электрических станций гидравлическим транспортом.

1.2. При проектировании золоотвалов, расположенных в сейсмических областях (более 6 *балл*), в районах распространения вечной мерзлоты, на участках с просадочными грунтами, в горных районах, подверженных действию селевых потоков и т. д., кроме настоящего «Руководства» следует применять соответствующие специальные нормативные документы, а также учитывать имеющийся опыт строительства в аналогичных условиях.

Терминология

1.3. При проектировании золоотвалов надлежит придерживаться следующей терминологии.

Золошлаковый материал — смесь негорючих веществ, оставшихся после полного сгорания топлива.

Зола (летучая зола) — частицы золошлакового материала, которые выносятся дымовыми газами из топки и улавливаются золоуловителями.

Шлак — частицы золошлакового материала крупностью более 0,25 *мм* по строительной классификации. По теплотехнической классификации шлак — материал, который образуется в топке котла и скапливается по мере сгорания топлива в шлакосборниках.

Золошлаковая, золовая, шлаковая пульпа — смесь золошлакового материала или золы, шлака с водой.

Пульпопровод (золошлакопровод, золопровод, шлакопровод) — трубопровод, по которому транспортируется золошлаковая, золовая, шлаковая пульпа.

Внесено Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им. Б. Е. Веденеева и Всесоюзным государственным проектным институтом Теплоэлектропроект	Утверждено Главниипроектом Минэнерго СССР решением № 41 от 15 марта 1974 г.	Срок введения IV кв. 1974 г.

Золоотвал, шлакоотвал — гидротехническое сооружение, намываемое из золошлаковых материалов в процессе их складирования.

Шлаковая зона золоотвала — зона отложения шлаковых частиц, пространство между которыми заполнено золой, образующаяся в результате фракционирования материала при намыве.

Зольная зона — зона отложения зольных частиц.

Первичная дамба — дамба, возводимая до начала заполнения золоотвала и предназначенная для образования начальной емкости отвала. Конструктивно первичная дамба является частью низового клина золоотвала. Низовым клином именуется часть сечения золоотвала от оси дамбы, примыкающая к наружному откосу.

Дамба наращивания (дамба обвалования, обвалование) — дамба из золошлакового материала или из грунта, возводимая на поверхности намытого золошлакового материала и предназначенная для предотвращения растекания пульпы на наружный откос золоотвала.

Ограждающая дамба — дамба из грунта, возводимая на проектную или конечную высоту отвала и служащая как бы подпорной стенкой для намытого золошлакового материала.

Откос намыва (пляж) — поверхность отложений золошлакового материала выше уровня воды отстойного пруда, в пределах которой происходит осаждение из потока пульпы частиц золы и шлака.

Отстойный пруд (золоотстойник) — водоем в пределах золоотвала, предназначенный для осаждения наиболее мелких частиц золы, т. е. для осветления воды.

Подводный откос намыва — поверхность зольных отложений ниже уровня воды.

Осветленная вода (сбросная вода) — вода, отводимая из отстойного пруда.

Водосброс осветленной воды — сооружение для приема осветленной воды из отстойного пруда и для регулирования уровня воды в отстойном пруде. В качестве водосбросов, как правило, применяются водосбросные колодцы.

Коллектор осветленной воды (водоотводящий коллектор) — трубопровод, предназначенный для отвода осветленной воды от водосброса.

Примечание. В скобках приведены не рекомендованные, но имеющие распространение термины.

Классификация систем гидрозолоудаления и золоотвалов

1.4. Различают следующие системы гидрозолоудаления (ГЗУ):

совместную, когда при удалении золы и шлака осуществляется смешение золовой и шлаковой пульпы, которая

транспортируется по общим пульпопроводам и поступает в один отвал, и

раздельную, когда удаление золы и шлака осуществляется без смешения, транспортирование золовой и шлаковой пульпы производится по отдельным пульпопроводам, а складирование — на разных отвалах.

Примечание. Раздельная система ГЗУ применяется при соответствующем технико-экономическом обосновании или при наличии реальных потребителей золы или шлака ТЭС.

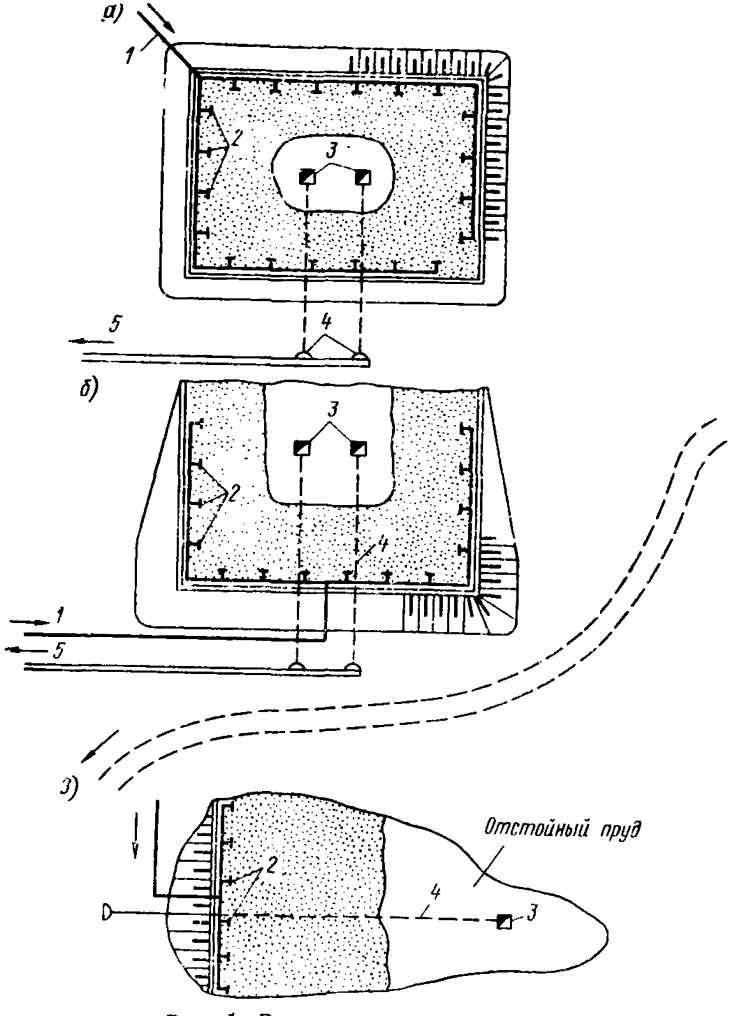

Рис. 1. Виды золоотвалов

а — равнинный золоотвал; *б* — пойменный золоотвал; *в* — овражный золоотвал; *1* — пульпопровод; *2* — выпуски; *3* — водосбросной колодец; *4* — коллектор осветленной воды; *5* — водоотводной канал.

1.5. Системы водоснабжения ГЗУ могут быть:
оборотными, когда отводимая из отстойного пруда осветлен-

ная вода возвращается на ТЭС и повторно используется для ГЗУ или других нужд станции,

прямоточными, когда осветленная вода сбрасывается из золоотвала в прилегающие водоемы, а подача воды для ГЗУ производится из системы водоснабжения ТЭС.

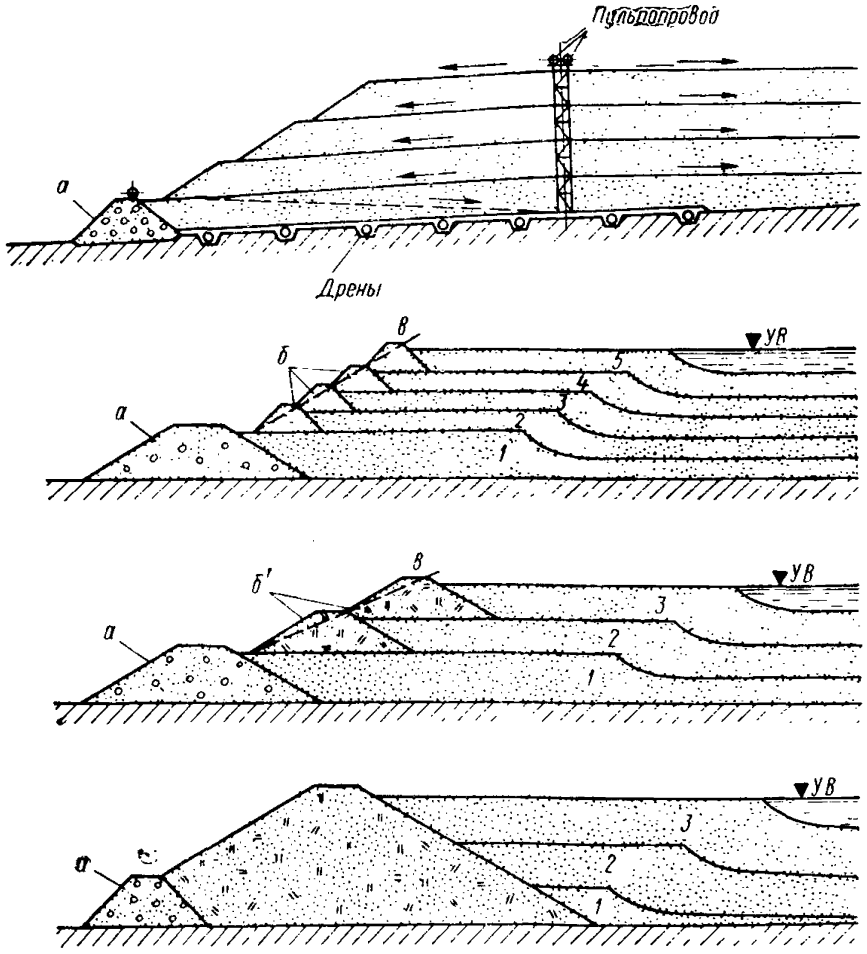

Рис. 2. Типы конструкции золоотвалов

I—дренированный золоотвал; *II*—золоотвал с поярусным обвалованием из золошлакового материала; *III*—золоотвал с поярусным обвалованием из грунта; *IV*—золоотвал с ограждающей дамбой из грунта; *а*—первичная дамба; *б*—дамба наращивания из золошлакового материала; *б'*—то же, из грунта; *в*—проектный откос.

Примечание. Прямоточная система водоснабжения может применяться лишь в исключительных случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании и соблюдении правил охраны поверхностных вод и положения об охране рыбных запасов в водоемах, а также согласовании с органами санитарного надзора, рыбоохраны, Минмелиоводхоза и других заинтересованных организаций.

1.6. В зависимости от характера рельефа местности и гидрографической сети района различают следующие виды золоотвалов (рис. 1):

равнинные, пойменные, косогорные (склоновые), овражные, подводные (в пределах водоемов).

1.7. По конструкции золоотвалы делятся на следующие основные типы (рис. 2):

дренированный золоотвал, тип I;

золоотвал с поярусным обвалованием из золошлакового материала, тип II;

золоотвал с поярусным обвалованием из грунта, тип III;

золоотвал с ограждающей дамбой из грунта, возводимой на проектную (конечную) высоту отвала, тип IV.

Примечание. Разрешается применять на одном отвале разные типы конструкций. Например, в пределах отстойного пруда, где невозможно накопление шлакового материала, может быть запроектирована ограждающая дамба из грунта на проектную высоту отвала, а на участке прокладки разводящих пульпопроводов — поярусное обвалование из золошлакового материала.

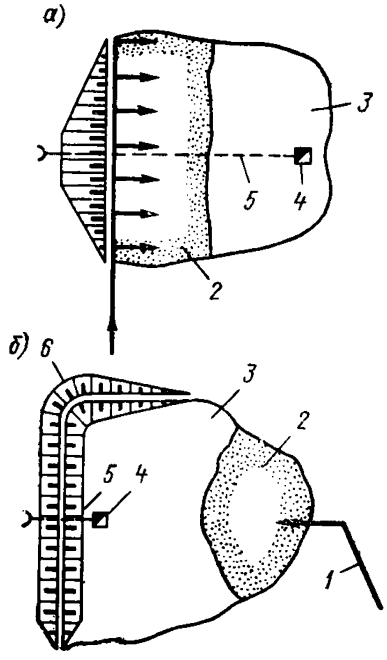

Рис. 3. Схемы заполнения золоотвалов

а — от дамбы к пруду; *б* — от берега к дамбе; *1* — отстойный пруд; *2* — отложения золошлакового материала; *3* — пульпопровод; *4* — водосбросной колодец; *5* — коллектор осветленной воды; *6* — ограждающая дамба.

1.8. Заполнение золоотвала может производиться по двум схемам (рис. 3):

„от дамбы к пруду", „от берега к дамбе".

Примечание. Заполнение по схеме „от берега к дамбе" может быть применено в исключительных случаях только на золоотвале с ограждающей дамбой из грунта на проектную высоту отвала и когда не предполагается его дальнейшее наращивание.

1.9. Различают рассредоточенный и сосредоточенный способы намыва. При рассредоточенном способе сброс пульпы производится из выпусков на разводящем пульпопроводе, при сосредоточенном — из одного—двух ответвлений от разводящего пульпопровода, либо из торца пульпопровода.

1.10. Пропуск поверхностного стока осуществляется в обход золоотвала или через него следующими способами:

1) по обводному каналу, трассируемому в обход отвала,

2) по трубопроводному коллектору, укладываемому по ложу отвала;

3) свободным течением по территории золоотвала с предварительным подтоплением отложений золошлакового материала для обеспечения пропуска расхода воды со скоростями меньше неразмывающей скорости для таких отложений [1];

4) с аккумуляцией всего паводка в пределах золоотвала.

Примечание. Пропуск паводковых вод через территорию золоотвала свободным течением или с аккумуляцией паводка в пределах золоотвала может применяться при соблюдении правил охраны поверхностных вод и положения об охране рыбных запасов в водоемах, а также согласовании в каждом отдельном случае с органами государственного санитарного надзора, рыбоохраны, Минмелиоводхоза и другими заинтересованными организациями.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗОЛООТВАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Основные положения проектирования

2.1. Под золоотвал следует использовать земли, малопригодные для другого хозяйственного использования. В проекте необходимо предусмотреть наиболее полное использование отведенной территории путем возведения золоотвала на максимально возможную по техническим соображениям высоту и устройства карьеров грунта в чаше золоотвала.

2.2. Выбор технологии намыва должен быть подчинен условию заполнения золоотвала по схеме «от дамбы к пруду», что обеспечивает отложение шлаковых фракций в зоне обвалования у наружного откоса золоотвала. При такой схеме заполнения создаются наиболее благоприятные условия для возведения обвалования из золошлакового материала и для образования надежного основания для дамб наращивания.

2.3. Обезвоживание золошлаковых отложений путем снижения кривой депрессии обеспечивает увеличение несущей способности отложений, а также повышает статическую устойчивость откоса золоотвала. Это положение проектирования золоотвала должно лежать в основе выбора конструкции и размещения дренажных устройств.

2.4. Золоотвал, как правило, рекомендуется назначать только для складирования золошлаковых материалов ТЭС. Стоки других промышленных предприятий разрешается направлять на золоотвал только в том случае, если они не изменят строительных свойств золошлакового материала (что затруднит его использование в народном хозяйстве), не повлияют на нормальную рабо-

---

[1] **Мелентьев В. А., Пантелеев В. Г.** О неразмывающих скоростях зольных отложений на золоотвалах тепловых электрических станций. Труды ГГИ, вып. 183. Л., Гидрометеоиздат, 1970, с. 166—179.

Пантелеев В. Г. Методика расчета и экономическое обоснование пропуска паводковых вод через территорию отвалов (хвостохранилищ, гидроотвалов и золоотвалов). — «Известия ВНИИГ», т. 99, 1972, с. 74—88.

Добкин Э. Л., Пантелеев В. Г. Методика расчета пропуска паводковых вод через отвалы при намыве «от дамбы к пруду». — «Известия ВНИИГ», т. 103, 1973, с. 58—71.

ту системы ГЗУ и не создадут избытка воды в системе (что приведет к необходимости периодического сброса воды из системы ГЗУ).

2.5. При составлении проекта золоотвала необходимо учитывать возможность использования намытого золошлакового материала в народном хозяйстве. В случае наличия потребителей намытого золошлакового материала должны быть намечены конкретные мероприятия по организации разработки этого материала при условии непрерывной эксплуатации золоотвала, что достигается специальным секционированием.

2.6. Возможные варианты расположения золоотвала проектируемой станции (или варианты наращивания существующего золоотвала действующей станции) с основными техническими и экономическими характеристиками сооружений внешнего ГЗУ и золоотвального хозяйства рассматриваются на стадии ТЭО. В результате этого рассмотрения обосновывается рекомендуемый вариант, а также необходимость выполнения научно-исследовательских работ. ТЭО согласовывается со всеми заинтересованными организациями.

2.7. Золоотвалы проектируются в соответствии с «Временной инструкцией по разработке проектов и смет для промышленного строительства» (СН 202-69), как правило, в две стадии — технический проект и рабочие чертежи, а в некоторых случаях в одну стадию — технорабочий проект. Проект организации эксплуатации золоотвала разрабатывается в соответствии с «Типовой инструкцией по эксплуатации пульпопроводов внешнего гидрозолоудаления и золоотвалов» (ОРГРЭС, 1971 г.).

Исходные данные для проектирования

2.8. Для разработки технического (технорабочего) проекта составляется задание на проектирование комплекса внешнего ГЗУ и золоотвального хозяйства, в котором приводятся решение об утверждении ТЭО, акт выбора площадки золоотвала, трассы пульпопроводов и трубопроводов осветленной воды, а также дорог, перечисляются потребители золы, шлака и золошлаковой смеси. В задании на проектирование приводится перечень научно-исследовательских работ, необходимых для обоснования проекта.

2.9. Разработка технического (технорабочего) проекта производится на основании следующих исходных материалов:

1) технологических данных, характеризующих род топлива, выход золы и шлака по годам и по сезонам, систему котлов и золоуловителей, характеристику системы внутристанционного золо- и шлакоудаления, типы багерных насосов и их размещение; для проектирования нового золоотвала действующей электрической станции, кроме того, приводятся данные об опыте эксплуатации ГЗУ и уже работающего золоотвала, абразивном износе пульпо-

проводов, обрастании труб оборотного водоснабжения и пульпопроводов минеральными отложениями, данные об особенностях намыва золошлакового материала в летнее и зимнее время, о цементации отложений на золоотвале, об использовании золы и шлака для возведения дамб и др.;

2) топографических, инженерно-геологических, гидрогеологических и гидрологических материалов, представляемых в соответствии с «Временным руководством по инженерным изысканиям для теплоэнергетического строительства» (Теплоэлектропроект, М., 1972 г.);

3) сведений о грунтах полезных выемок и о возможности использования этих грунтов для возведения дамб золоотвала;

4) требований о выполнении работ, вызванных изъятием земли под золоотвалы и карьеры (в соответствии с основами земельного законодательства).

2.10. Расчет выхода золошлакового материала выполняется по количеству сжигаемого топлива, его зольности, теплотворной способности и наличию недожога.

Для определения часового выхода золошлакового материала рекомендуется пользоваться следующей формулой:

$$\left[\frac{A_р}{100} + \frac{q_н Q_н^р}{7000 \cdot 100}\right],$$

где $A^{\circ}_{зш}$ — выход золошлакового материала, *т/ч*; B — расход топлива, *т/ч*; $A_р$ — зольность топлива, %; $q_н$ — недожог (доля горючей массы топлива, остающаяся в шлаке и золе), %; $Q_н^р$ — низшая теплотворная способность топлива, *ккал/кг*.

Выход золошлакового материала за год определяется по следующей формуле:

$$A_{зш} = \eta_1 n A^{\circ}_{зш},$$

где $A_{зш}$ — выход золошлакового материала, *т/год*; η_1 — коэффициент полезного действия золоуловителей; n — число часов работы в год агрегатов станции.

Определение расчетных показателей физико-механических свойств намытого золошлакового материала

2.11. Для расчетов золоотвала на фильтрацию, устойчивость откоса и осадку, а также для определения полезной емкости золоотвала должны быть известны следующие показатели физико-механических свойств намытого золошлакового материала: удельный вес и агрегатный удельный вес, объемный вес скелета, объемный вес в состоянии естественной влажности, в водонасыщенном и во взвешенном состоянии, коэффициент фильтрации, угол внутреннего трения и сцепление, коэффициент сжимаемости или модуль деформации.

2.12. Показатели гранулометрического состава намытого золошлакового материала определяются на основе данных о гра-

нулометрическом составе исходных золы и шлака на станции (приложение 1) с учетом:

а) измельчения шлаковых фракций в дробилках, багерных насосах и в пульпопроводе;

б) фракционирования в пределах надводного откоса намыва от выпуска пульпы до уреза воды отстойного пруда и от уреза до водосброса осветленной воды.

Примечание. Метод расчета фракционирования золошлакового материала не разработан, поэтому для определения расчетных показателей гранулометрического состава намытого материала рекомендуется пользоваться золоотвалами-аналогами.

2.13. В сечении золоотвала рекомендуется выделить следующие зоны, различающиеся по гранулометрическому составу намытого материала: шлаковую зону, зольную зону, зону отстойного пруда. Границы зон определяются расчетом (п. 4.5).

2.14. На стадии ТЭО при отсутствии данных лабораторных и полевых исследований расчетные, осредненные по зонам золоотвала показатели физико-механических свойств намытого золошлакового материала допускается определять с помощью формул, графиков и таблиц, приведенных в приложении 2.

2.15. На стадии технического (технорабочего) проекта выбор осредненных по зонам расчетных показателей физико-механических свойств намытого золошлакового материала для золоотвалов первого, второго и третьего, а в особых случаях и четвертого классов капитальности рекомендуется выполнять на основании полевых и лабораторных исследований на золоотвале-аналоге или данном золоотвале (при разработке проекта его расширения или наращивания).

Расчет необходимой емкости золоотвала

2.16. В соответствии с нормами технологического проектирования вновь вводимая в эксплуатацию электрическая станция должна располагать емкостью золоотвала, рассчитанной на срок не менее 5 лет работы (после ввода станции на полную проектную мощность). Емкость нового золоотвала действующей станции проектируется также на 5 лет работы станции.

В особых случаях, при неблагоприятных топографических, гидрологических и других местных условиях, разрешается с соответствующим обоснованием проектировать золоотвал исходя из десятилетнего срока его заполнения.

В проекте должны быть приведены технические соображения о складировании золошлакового материала в течение 25 лет.

Примечания: 1. В районах перспективной застройки рекомендуется резервирование площадей для золоотвалов на весь срок возможной амортизации основного оборудования ТЭС (до 50 лет).

2. При определенных условиях, например при наличии потребителей золошлакового материала и при соответствующем обосновании, допускается уменьшение емкости проектируемого золоотвала.

2.17. Необходимая емкость золоотвала для заполнения в течение каждого года эксплуатации станции вычисляется по формуле:

$$W = \frac{A_{зш}}{\eta_з \gamma_{ск}},$$

где W — емкость золоотвала, $м^3$; $A_{зш}$ — годовой выход золошлакового материала, $т$; $\eta_з$ — коэффициент заполнения золоотвала; для небольших (менее 5 млн. $м^3$) золоотвалов $\eta_з = 0{,}75—0{,}80$, для золоотвалов большей емкости $\eta_з = 0{,}85—0{,}90$; $\gamma_{ск}$ — осредненный объемный вес скелета золошлакового материала, намытого в отвал, $т/м^3$.

Назначение класса капитальности золоотвала

2.18. Классификацию золоотвалов по капитальности следует определять по конечной проектной высоте золоотвала согласно табл. 1.

2.19. Класс капитальности золоотвалов может быть повышен или понижен в связи с особенностями района расположения золоотвала, ответственностью сооружений и их значением для нормальной эксплуатации станции. Повышение класса капитальности золоотвалов допускается:

Таблица 1

Высота золоотвала, м	Класс капитальности золоотвала
Более 50	I
50—25	II
25—15	III
Менее 15	IV

если авария золоотвала влечет за собой катастрофические последствия для населенных пунктов, крупных предприятий, железнодорожных магистралей, каналов.

если в системе оборотного водоснабжения ГЗУ при аварии сооружения нельзя быстро восполнить недостаток воды из другого источника и предупредить простой электрической станции.

Снижение классов капитальности золоотвалов разрешается:

если золоотвал располагается в малонаселенном, неосвоенном в хозяйственном отношении районе;

если вблизи золоотвала нет населенных мест, промышленных предприятий и других объектов, которые могли бы пострадать в результате аварии сооружения на золоотвале;

если имеется резервная емкость для укладки золошлакового материала, которая может быть быстро включена в эксплуатацию при аварии сооружения на золоотвале.

Рекомендации по выбору вида золоотвалов в зависимости от рельефа местности

2.20. Равнинные золоотвалы устраиваются в районах с малопересеченным рельефом, поэтому такие золоотвалы требуют прокладки разводящих пульпопроводов значительной длины для равномерного намыва золошлакового материала по периметру. Вы-

сота золоотвала (конечная) и его площадь определяются технико-экономическим сравнением вариантов. Особенность равнинного золоотвала — малый приток к водосбросным сооружениям поверхностных вод, поэтому пропускная способность этих сооружений определяется в основном расходом осветленной воды.

2.21. Пойменные золоотвалы устраиваются в поймах рек. Их отличие от равнинных заключается в необходимости защиты наружного откоса от воздействия течения реки. Расчетный расход реки для определения высоты крепления принимается в зависимости от класса капитальности золоотвала по данным табл. 2[1].

Таблица 2

Класс капитальности золоотвала	Обеспеченность расчетного расхода, %	
	расчет высоты крепления	расчет водного баланса
I	0,01	0,5
II	0,1	1
III	0,5	2
IV	1,0	5

2.22. Косогорные (склоновые) золоотвалы устраиваются на склонах возвышенностей выше уровня затопления паводковыми водами.

2.23. Овражные золоотвалы создаются путем перегораживания оврагов, балок и других естественных углублений местности с относительно небольшими уклонами дна (менее 0,10). Овражные золоотвалы обычно имеют большую высоту, поэтому их инженерно-геологическому обоснованию должно быть уделено особое внимание. Для замыва овражных золоотвалов, требуется сравнительно небольшая длина разводящих пульпопроводов. Как правило, проектирование овражных золоотвалов оказывается целесообразным, поскольку используется естественная емкость, созданная природой, а ограждение требуется лишь с одной (низовой) стороны отвала.

2.24. Выбор схем сбора и отвода поверхностного стока при создании золоотвала должен основываться на технико-экономическом сопоставлении вариантов с учетом местных топографических, гидрологических и других условий.

2.25. Подводными золоотвалами в ряде случаев могут служить естественные водоемы, непригодные для рыбохозяйственного, питьевого и культурно-бытового водопользования, а также заливы озер, водохранилищ и староречья. Для избежания загрязнения всего водоема необходимо устройство дамбы по водной границе золоотвала.

2.26. При проектировании равнинных, косогорных и пойменных золоотвалов рекомендуется предусматривать деление золоотвала, как минимум, на две секции — рабочую и резервную, путем устройства межсекционной дамбы. Площадь и емкость каждой

[1] «Указания по определению расчетных гидрологических характеристик», СН 435-72. Гидрометеоиздат, 1972, 19 с.

секции следует принимать приблизительно равными. Межсекционную дамбу рекомендуется возводить из золошлакового материала.

На овражных золоотвалах деление на секции производится только при наличии особых требований (п. 2.5).

Выбор площадки для золоотвала

2.27. Выбор площадки для золоотвала ТЭС выполняется на стадии ТЭО одновременно с выбором места строительства станции.

2.28. При выборе площадки под золоотвалы необходимо руководствоваться следующими требованиями.

1. Образование необходимой емкости золоотвала при минимальных капитальных затратах на сооружение всей системы ГЗУ в установленные сроки, а также минимальных эксплуатационных затратах включая эксплуатацию системы внешнего ГЗУ.

2. Максимально возможное сохранение гидрологических, гидрогеологических, экологических и других условий в районе расположения золоотвала во время его эксплуатации.

3. Расположение золоотвала с подветренной стороны к направлению доминирующих ветров (по розе ветров) от электрической станции, промышленных предприятий, населенных пунктов и охранной зоны источников водоснабжения во избежание последствий пыления.

4. Использование непригодных или малопригодных для сельского хозяйства угодий, заболачиваемых понижений рельефа с небольшой площадью водосбора, выработанных карьеров и шахт. Кроме того, при выборе площадки под золоотвал следует учитывать возможность строительства на прилегающей территории жилых поселков, промышленных предприятий, дорог, линий электропередачи, а также расширения электрической станции.

2.29. Если в районе расположения золоотвала залегают грунтовые воды, которые используются или могут быть использованы для водоснабжения населенных пунктов, то в проекте должен быть рассмотрен вопрос о возможности влияния фильтрующейся из золоотвала воды на качество грунтовых вод. В случае особых требований должны быть разработаны мероприятия по предотвращению утечки фильтрационной воды путем устройства противофильтрационных завес, сплошного экранирования ложа золоотвала и др.

Разработка подобных мероприятий должна быть предусмотрена и при проектировании золоотвалов, расположенных в непосредственной близости от водоемов для рыбохозяйственного, питьевого и культурно-бытового водопользования.

2.30. В случае отсутствия вблизи ТЭС подходящей площадки для золоотвала и при необходимости перекачки золошлаковой пульпы на большие расстояния, следует рассмотреть возмож-

ность (взамен установки багерных насосов второго и третьего подъема) устройства промежуточного отвала ограниченной емкости (например, на годичный выход золы и шлака), куда транспортируется золошлаковый материал насосами ГЗУ из здания станции. Перекачка золошлакового материала из промежуточного отвала в дальний отвал может производиться с помощью плавучего земснаряда.

2.31. При раздельной системе ГЗУ, в случае наличия реальных потребителей золошлакового материала, должны быть запроектированы два отвала: один — для золы, второй — для шлака. В зависимости от местных условий отвалы для золы и для шлака могут располагаться или рядом, примыкая друг к другу в виде секций, или раздельно (на разных площадках).

Примечание. Вследствие больших гидравлических потерь при гидротранспорте шлака целесообразно размещать отвал для шлака ближе к станции, а золу транспортировать в дальний отвал.

2.32. Золоотвал должен быть соединен автомобильной дорогой с ближайшими дорогами или с территорией электрической станции. Дорогу рекомендуется прокладывать вдоль трассы магистральных пульпопроводов «электрическая станция — золоотвал».

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗОЛООТВАЛА

Выбор типа конструкции

3.1. Золоотвалы — намывные гидротехнические сооружения, поэтому при выборе типа их конструкции должны быть обеспечены:

устойчивость наружных откосов на всех этапах возведения золоотвала;

фильтрационная прочность тела дамб и намытого материала;

надежность работы дренажных устройств в разные времена года и на разных этапах возведения золоотвала;

надежность защиты наружного откоса от воздействия атмосферных осадков;

достаточность превышения гребня дамб над эксплуатационным уровнем отстойного пруда (учитывая при этом и нормативную для данного района глубину промерзания).

3.2. Из рассмотренных настоящим «Руководством» конструкций золоотвалов (п. 1.7) кроме дренированных — тип I наиболее рациональной и экономичной является конструкция золоотвала с поярусным обвалованием из золошлакового материала (тип II), поэтому при выборе типа конструкции необходимо прежде всего оценить физико-механические свойства и химико-минералогический состав намываемого золошлакового материала и установить возможность и целесообразность осуществления в конкретных условиях соответствующих дренажных устройств.

Примечание. Надежность этой конструкции обеспечивается отдалением отстойного пруда от дамбы наращивания на расстояние, при котором образуется защитный пляж из намытого золошлакового материала (п. 3.25).

3.3. Предварительная оценка пригодности исходного на ТЭС золошлакового материала для возведения золоотвала II типа дается по одной из следующих характеристик:

1. По химико-минералогическому составу с учетом того, что для поярусного обвалования и в качестве основания для дамб наращивания пригоден золошлаковый материал с достаточно высокой цементирующей способностью, характеризующийся наличием кальций- и магнийсодержащих минералов (свободная окись кальция и магния, двухкальциевый силикат, гипс), суммарное содержание $CaO+MgO$ в которых в пересчете на окисную форму составляет 25% и более.

Этими свойствами обладают золошлаковые материалы сланцев, углей канско-ачинских, ангренских и других, а также торфа некоторых месторождений.

2. По гранулометрическому составу с учетом того, что пригодность золошлакового материала для возведения дамб наращивания (без специальных мер по защите откоса дамб наращивания от размыва потоками пульпы) и в качестве основания для дамб определяется содержанием шлаковых фракций в исходном составе золошлакового материала в количестве более 20%. При намыве такого материала вблизи пульпопровода откладывается золошлаковый материал с преобладающим содержанием шлака.

Примечания: 1. Указанный гранулометрический состав имеют золошлаковые материалы, образующиеся от сжигания топлив с низкой температурой плавления минеральной части — угли донецкие, кузнецкие и некоторые другие.

2. Для обоснования проекта золоотвалов II типа необходимо пользоваться данными полевых и лабораторных исследований намытого золошлакового материала на золоотвале-аналоге или на данном золоотвале при его наращивании.

3. Вопрос применения золоотвала II типа при недостаточном количестве крупных фракций исходного золошлакового материала может быть рассмотрен с учетом возможности использования классификаторов различных конструкций, разработанных, например, ВНИИНеруд, ВНИИГС и др., с тем, чтобы обеспечить подачу в зону обвалования золошлакового материала требуемого гранулометрического состава. Целесообразно применить также способ раздельного намыва с отбором шлаковых фракций через донные выпуски на разводящем пульпопроводе и отводом зольных фракций в торец разводящего пульпопровода (п. 7.17).

3.4. При отсутствии цементирующих свойств золошлакового материала и недостаточном содержании шлаковых фракций рекомендуется возводить золоотвалы III типа с поярусным обвалованием из песчаного или крупнообломочного грунта отсыпкой или намывом его на отложения золошлакового материала. Разрешается использовать для поярусного обвалования глинистый грунт при обязательном применении дренажных устройств (примечание к п. 3.2).

3.5. Высота дамб наращивания из золошлакового материала или грунта и способ производства работ устанавливаются в результате технико-экономического сопоставления вариантов с учетом продолжительности возведения дамб для образования нормативной емкости золоотвала.

3.6. Не рекомендуется возводить дамбы наращивания золоотвалов II и III типа на отложениях золошлакового материала, образовавшихся в пределах отстойного пруда (в зоне подводного намыва). Такие отложения будучи в водонасыщенном состоянии характеризуются высокой пористостью и низкими прочностными свойствами, поэтому их использование в качестве основания для дамб наращивания может быть разрешено лишь после проведения соответствующих инженерно-геологических работ и геотехнических исследований для назначения мероприятий по упрочнению этих отложений.

3.7. Для упрочнения отложений нецементирующейся мелкой золы в зоне отстойного пруда с целью использования этих отложений как основания для дамб наращивания могут применяться различные методы искусственного химического закрепления, песчаные сваи большого сечения, уплотнение отложений камуфлетными взрывами и др. Выбор способа упрочнения отложений золы производится на основании технико-экономического сопоставления с обоснованием соответствующими исследовательскими работами.

3.8. На золоотвалах II и III типов (с поярусным обвалованием из золошлакового материала и из грунта) в пределах низового клина золоотвала возводится до начала эксплуатации первичная дамба, которая предназначена:

1) для образования начальной емкости отвала;

2) для создания отстойного пруда, достаточного по размерам, чтобы осветлить воду в первый период эксплуатации.

Высоту первичной дамбы и образуемую ею емкость золоотвала назначают на основании технико-экономических расчетов с учетом условий производства работ по возведению дамбы, местоположения карьеров грунта и схемы заполнения отвала.

3.9. При выборе материала для первичной дамбы необходимо учитывать последующие эксплуатационные условия работы золоотвала как напорного гидротехнического сооружения.

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации золоотвала первичная дамба должна выполнять роль дренажной призмы, поэтому в качестве материала для нее рекомендуется использовать хорошо фильтрующий материал (горная масса, крупнообломочный грунт, песок), коэффициент фильтрации которого, во всяком случае, выше коэффициента фильтрации намытого золошлакового материала. При отсутствии фильтрующего материала для возведения первичной дамбы может быть использован глинистый

грунт, но с обязательным применением дренажных устройств (п. 3.30).

3.10. Золоотвалы IV типа с ограждающей дамбой из грунта или горной массы на конечную высоту проектируются только в особых случаях, например при создании дополнительной емкости для складирования разработкой грунта в чаше отвала, а также в сейсмоопасных районах. При этом технико-экономический расчет должен доказать, что возведение такого золоотвала целесообразнее и дешевле, чем поярусное обвалование.

3.11. Ограждающие дамбы золоотвалов IV типа, возводимые на конечную высоту отвала из грунта насыпным или намывным способом, или из камня и горной массы наброской, проектируются как водоудерживающие плотины из грунтовых материалов соответствующего класса капитальности, согласно действующим нормативным документам (см. главу СНиП на проектирование плотин из грунтовых материалов).

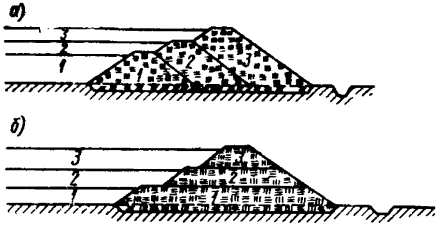

Рис. 4. Очередность возведения ограждающих дамб из грунта

а — в основании залегают недеформируемые грунты; *б* — в основании залегают деформируемые грунты, торф, илы.

3.12. Для ускорения ввода в эксплуатацию золотвала IV типа до окончания всех работ по строительству разрешается возводить ограждающие дамбы по очередям. Дамбы золоотвалов IV типа, строящихся очередями на недеформируемом основании, рекомендуется возводить способом досыпки с наружной стороны отвала, применяя дренажные устройства соответствующей конструкции (рис. 4, *а*).

Когда в основании залегают просадочные или иловатые грунты пластичной консистенции, либо торф, то разбивку на очереди следует вести горизонтальными ярусами, причем каждый ярус должен возводиться на полный профиль дамбы (рис. 4, *б*).

3.13. При выборе материала для ограждающих дамб золоотвала IV типа предпочтение следует отдавать фильтрующим грунтам—песчаным, крупнообломочным и т. п. Наиболее рациональным может быть признан вариант, в котором карьер грунтов, отвечающих требованиям к составу карьерных грунтов для возведения плотин из грунтовых материалов, может быть выбран в пределах чаши золоотвала. В этом случае увеличивается емкость для складирования золошлакового материала и не требуется дальней транспортировки грунта.

3.14. При возведении ограждающих дамб из разнородных грунтов должна быть запрещена отсыпка глинистых разновидностей грунта в низовой клин дамбы, а песчаных — в верховой, так-

же должно быть исключено образование отдельных прослоек глинистых грунтов в толще песчаного грунта тела дамбы.

При разнородных карьерных грунтах не рекомендуется устраивать трубчатый дренаж в пределах низового клина дамбы; предпочтительнее в этих случаях дренаж перед верховым откосом дамбы и наслонный дренаж на низовом откосе.

3.15. Для надежного сопряжения тела первичной и ограждающей дамбы с основанием со всей площади основания удаляется растительный слой, а также грунты, обладающие пониженными строительными свойствами, корневища и пни деревьев, кустарник. Разрешается оставлять в основании дамб торф (степень разложения не менее 50%) при соответствующем обосновании инженерно-геологическими данными.

Подготовка основания под дамбы выполняется в соответствии с указаниями главы СНиП по правилам производства и приемки работ земляных сооружений.

Примечания: 1. Проектирование подземного контура первичной и ограждающей дамб золоотвалов производится в соответствии с действующими нормативными документами, относящимися к проектированию оснований гидротехнических сооружений.

2. При высоте дамб золоотвала менее 3 *м* и при условии, что дальнейшее их наращивание не предполагается, снятие растительного слоя по площади основания необязательно.

Назначение уклона откоса золоотвала

3.16. Для предварительного назначения среднего уклона откоса первичных дамб и дамб наращивания на золоотвалах II и III типов, а также ограждающих дамб на золоотвале IV типа при заполнении по схеме «от дамбы к пруду», рекомендуется пользоваться данными табл. 3.

Таблица 3

Высота дамбы, *м*	Средний уклон откосов		
	Золошлаковый материал	Песчаный грунт	Глинистый грунт
до 5	1 : 3	1 : 2,5	1 : 2
5—15	1 : 3,5	1 : 3	1 : 2,5

Примечания: 1. С учетом специфических особенностей эксплуатации золоотвалов разрешается назначать средний уклон откосов дамб одинаковым для верховой и низовой сторон.

2. Для золошлаковых материалов, обладающих способностью цементироваться, уклон откосов разрешается принимать 1 : 1,5 вне зависимости от высоты отвала.

3. Поперечное сечение дамб наращивания должно вписываться в проектное очертание наружного откоса золоотвала.

3.17. Средний уклон наружного откоса золоотвалов первого, второго и третьего, а в особых случаях и четвертого классов ка-

питальности должен быть обоснован расчетом на устойчивость методом круглоцилиндрических или плоских поверхностей сдвига при заданных показателях физико-механических свойств намытого золошлакового материала и грунтов основания и с учетом положения поверхности фильтрационного потока — кривой депрессии (приложения 4 и 5). Расчет производится при проектной (конечной) высоте золоотвала [1].

Откос считается устойчивым, когда вычисленный по результатам расчета минимальный коэффициент запаса устойчивости будет больше допускаемого нормативного коэффициента запаса (табл. 4), т. е. $k_з^0 > (k_з)_{доп}$.

Таблица 4

Сочетание нагрузок	Допускаемые коэффициенты запаса устойчивости в зависимости от класса сооружения, $(k_з)_{доп}$			
	I	II	III	IV
Основные	1,30—1,25	1,20—1,15	1,15—1,10	1,10—1,05
Особые	1,10—1,05	1,10—1,05	1,05	1,05

Примечания: 1. Большее значение $(k_з)_{доп}$ надлежит принимать в случае, когда основание золоотвала сложено глинистыми, лессовыми, торфяными и другими подобными грунтами.

2. При низких прочностных свойствах отложений золошлакового материала на золоотвалах с поярусным обвалованием рекомендуется выполнять расчет устойчивости верхового откоса дамбы наращивания для случая, когда дамба возведена на проектную высоту, а заполнение отвала еще не производилось.

3.18. Для удобства производства работ и осмотра сооружений во время эксплуатации, а также для предохранения откоса от размыва поверхностными водами на низовом откосе золоотвала рекомендуется устраивать бермы через 5—8 *м* по высоте. Ширину бермы следует назначать не менее 3 *м*.

3.19. Ширина гребня дамб назначается с учетом размеров механизмов, которые используются для их возведения, а также и для прокладки разводящих пульпопроводов. Минимальная ширина гребня 4 *м*. Если на гребне дамбы проектируется дорога, то ширина гребня назначается в соответствии с требованиями дорожного строительства.

Крепление откосов

3.20. В случаях, когда отстойный пруд имеет наибольший размер в плане свыше 200 *м* и огражден дамбами из грунта, верховые (внутренние) откосы дамб необходимо защищать от разрушения волновыми воздействиями намывом золошлакового пляжа

[1] Расчеты устойчивости откоса золоотвала методом круглоцилиндрических поверхностей сдвига рекомендуется выполнять на ЭВМ (например, по программе ЛО Гидропроекта «Нева-II»).

вдоль верхового откоса дамб. При невозможности осуществления намыва (например, в первые годы эксплуатации золоотвала) разрешается применять крепление откоса отсыпкой крупнообломочного грунта или шлака (табл. 5).

Таблица 5

Высота волны, *м*	Тип крепления
Менее 0,5	Отсыпка щебня или гравия слоем толщиной 0,25—0,80 *м* или отсыпка шлака слоем толщиной 0,5—1,0 *м*.
0,5—1,0	Наброска из камней размером 0,3—0,5 *м* слоем толщиной до 1 *м*.

Примечания: 1. Золошлаковый материал не рекомендуется применять в качестве подготовки под крепление.

2. Расчет высоты ветровой волны рекомендуется производить по следующей формуле:

$$\Delta = 0{,}021\, V^{5/4} Д^{1/3},$$

где Δ — высота волны, *м*; V — скорость ветра (среднемноголетняя) на высоте 2 *м* над уровнем воды, *м/сек*; $Д$ — длина разгона волны, *км*.

Таблица 6

Д, *км* \ *V*, *м/сек*	5,0	10,0	15,0
0,5	0,12	0,29	0,49
1,0	0,16	0,37	0,61
2,0	0,20	0,47	0,77
3,0	0,23	0,53	0,88

Результаты вычисления высоты волны для некоторых длин разгона и для характерных скоростей ветра приведены в табл. 6.

3.21. Превышение гребня первичной и ограждающей дамб, а также дамб наращивания над эксплуатационным уровнем воды в пруде или над расчетной отметкой верха волны принимаются согласно табл. 7.

Таблица 7

Класс сооружения	Превышение гребня дамб, *м*	
	над статическим уровнем	над расчетной отметкой верха волны
I	2,0	1,5
II	1,5	0,7
III	1,0	0,5
IV	0,7	0,4

Примечания: 1. Из двух величин превышения надлежит принимать величину, дающую более высокую отметку гребня.

2. Величина превышения гребня дамбы над статическим уровнем воды должна быть увязана с нормативной глубиной промерзания грунта и толщиной льда водоемов для данного района.

3. При длине пруда более 1 *км* рекомендуется вычислять превышение гребня дамбы над уровнем воды по СНиП на проектирование плотин из грунтовых материалов.

4. Превышение гребня дамбы над поверхностью отложений золошлакового материала должно быть не менее 0,5 *м*.

3.22. Поверхности наружных откосов золоотвала и дамб в процессе их возведения во избежание размыва и выветривания должны закрепляться (см. также п. 7.24 и 7.25).

При возведении золоотвалов на пойменных затапливаемых участках необходимо предусмотреть крепление наружных откосов для защиты их от воздействия течения реки. Тип крепления выбирается в зависимости от скорости течения по данным табл. 8.

Таблица 8

Тип покрытия	Размер частиц, *мм*	Допускаемые неразмывающие скорости течения, *м/сек*			
		Средняя глубина потока, *м*			
		0,4	1,0	2,0	3,0
Отсыпка гравия . .	5—10	0,80—0,90	0,85—1,05	1,00—1,15	1,10—1,30
Отсыпка гальки . .	25—40	1,25—1,50	1,45—1,85	1,65—2,10	1,85—2,30
Отсыпка камня с примесью мелочи . .	100—150	2,45—3,00	2,80—3,35	3,20—3,75	3,50—4,10
Отсыпка валунов с примесью камня	300—400	—	4,35—4,75	4,70—4,95	4,90—5,30
Бетонная облицовка	—	5,0	6,0	7,0	7,5

Примечание. Толщина крепления назначается по нормативным документам с учетом конструкции наслонного дренажа в зависимости от интенсивности ледового и волнового воздействия.

Дренажные устройства

3.23. Основное назначение дренажа золоотвала сводится к обезвоживанию отложений золошлакового материала и к организованному перехвату и отводу из отстойного пруда фильтрационной воды, а также воды за счет инфильтрации с откоса намыва, периодически смачиваемого потоками пульпы и водоотдачи намываемого материала.

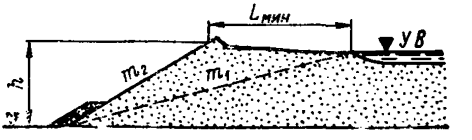

Рис. 5. Схема, определяющая минимально допустимое расстояние от уреза отстойного пруда до бровки откоса золоотвала.

3.24. Выбор конструкции дренажных устройств и их размещение на золоотвале производится в зависимости от:

1) положения поверхности фильтрационного потока (кривой депрессии);

2) выходных градиентов фильтрационного потока;

3) фильтрационного расхода на единицу длины откоса золоотвала.

3.25. Нормальное положение кривой депрессии в золоотвале определяется местоположением отстойного пруда, т. е. расстоянием от уреза пруда до наружного откоса золоотвала (рис. 5).

В случае слабофильтрующих грунтов в основании минимально допустимое расстояние от уреза пруда до наружного откоса золоотвала, при котором не произойдет высачивания фильтрационной воды на откос (при поярусном обваловании из золошлакового материала или из грунта), рекомендуется вычислять по следующей формуле:

$$L_{\text{мин}} = h_i (m_1 - m_2),$$

где h_i — высота от поверхности отложений золошлакового материала до основания золоотвала; m_1 — отношение горизонтальной проекции кривой депрессии к превышению уровня воды в пруде над основанием золоотвала (величина, обратная критическому градиенту фильтрационного потока, по Р. Р. Чугаеву); m_2 — отношение горизонтальной проекции наружного откоса к его высоте.

Учитывая, что для намытого золошлакового материала $m_1 = 7$, формула запишется в следующем виде [1]:

$$L_{\text{мин}} = h_i (7 - m_2).$$

Величина $L_{\text{мин}}$ определяет ширину защитного пляжа вдоль дамбы наращивания.

Примечание. Повышение кривой депрессии по сравнению с ее нормальным положением может произойти при продолжительной инфильтрации с откоса намыва.

3.26. Фильтрационные расчеты золоотвалов выполняются с помощью известных расчетных способов для плотин из грунтовых материалов с использованием в некоторых случаях метода ЭГДА и с учетом коэффициента фильтрации намытого золошлакового материала и грунтов основания. Методика фильтрационных расчетов золоотвала приведена в приложении 4.

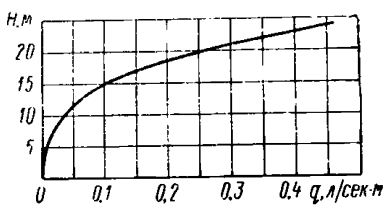

Рис. 6. График зависимости удельного расхода фильтрации через тело плотин от напора при $k_\Phi = 1 \div 10$ *м/сут*.

3.27. Для золоотвала с поярусным обваловением из глинистого грунта в случае, когда в поперечном сечении низового клина золоотвала имеет место сложная область фильтрации при чередовании отдельных элементов обвалования каждого яруса с проницаемыми слоями намытого золошлакового материала, положение поверхности фильтрационного потока и его градиенты следует определять методом ЭГДА (приложение 4).

3.28. Для предварительного определения расхода фильтрационной воды из золоотвала с поярусным обваловением из золошлакового материала и в случае золоотвала с ограждающей дамбой из песчаного или гравийного грунта разрешается пользоваться графиком зависимости расхода фильтрационной воды от напо-

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

ра (разница отметок уровня отстойного пруда и основания отвала), построенным по результатам соответствующих измерений на песчаных намывных плотинах, грунт тела которых характеризуется коэффициентом фильтрации 1—10 *м/сут* (рис. 6).

3.29. Наиболее простым способом дренирования золоотвалов II и III типов является возведение первичной дамбы из несвязного грунта с коэффициентом фильтрации, бо́льшим, чем коэффициент фильтрации намытого золошлакового материала, напри-

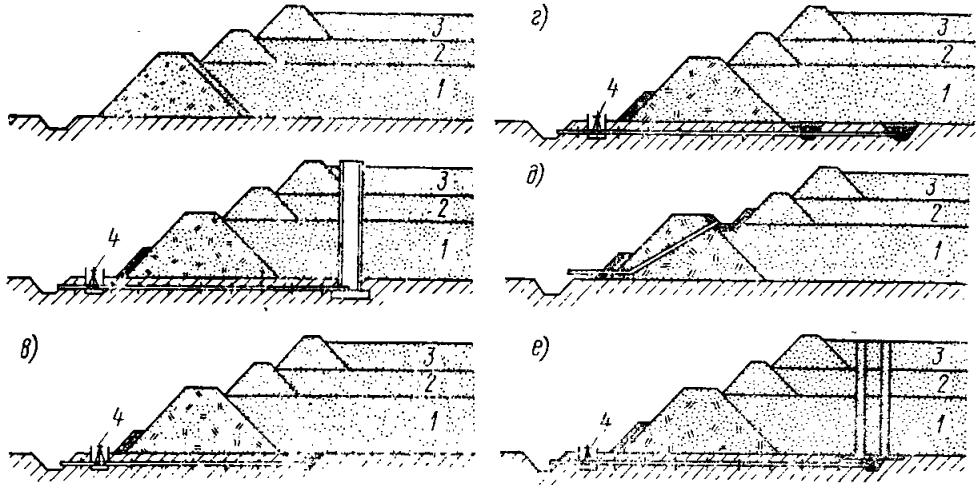

Рис. 7. Дренажные устройства на золоотвалах

а—первичная дамба из крупнообломочного грунта; *б*—дренажные колодцы из пористого бетона перед первичной дамбой из глинистого грунта; *в*—трубчатый дренаж перед первичной дамбой из глинистого грунта; *г*—трубчатая дренажная сеть перед первичной дамбой из глинистого грунта; *д*—дренажная траншея перед гребнем первичной дамбы из глинистого грунта; *е*—дренажные скважины в намытом золошлаковом материале; *1, 2, 3*—ярусы намыва; *4*—запорное устройство на дренаже (открывается после намыва слоя золошлаковых отложений не менее 1 *м*).

мер, из крупнообломочного грунта с однослойным обратным фильтром, покрытым защитным слоем толщиной не менее 1 *м* на верховом откосе (рис. 7, *а*).

Разрешается использовать несортированную горную массу (каменистый грунт) для возведения первичной дамбы золоотвала при условии, что в горной массе содержится менее 10—20% пылевато-глинистых частиц.

Примечание. Для повышения фильтрационной способности горной массы, содержащей большое (свыше 20—30%) количество пылевато-глинистых частиц, рекомендуется вести отсыпку ее в тело дамбы одновременно с отсыпкой песка или крупного золошлакового материала поочередной выгрузкой автосамосвалами с гребня дамбы (пионерным способом).

3.30. При возведении первичной дамбы из глинистых грунтов на золоотвалах II и III типов должны быть предусмотрены дренажные устройства, отводящие фильтрационную воду из тела золоотвала. Рекомендуемые дренажные устройства на золоотвалах приведены на рис. 7. Выбор дренажных устройств при проектировании золоотвала осуществляется на основании технико-эконо-

мического сопоставления вариантов с учетом структурных особенностей отложений золошлакового материала и химико-минералогического состава отложений.

Примечания: 1. Наиболе́е надежным устройством, допускающим осмотр во время эксплуатации, являются отдельно стоящие (перед первичной дамбой) дренажные колодцы диаметром до 800 *мм* из пористого бетона или керамзитобетона (рис. 7, *б*).

2. Действенное обезвоживание золошлакового материала обеспечивают трубчатые дренажи в основании отвала перед первичной дамбой (рис. 7, *в* и 7, *г*). Эти устройства требуют высокого качества производства работ, так как выход их из строя может привести к аварии золоотвала вследствие оползания откоса из-за подъема поверхности фильтрационного потока. Кроме того, если золошлаковый материал характеризуется наличием кальций- и магнийсодержащих минералов, возможно образование в трубчатых дренажах минеральных отложений, что может привести к закупорке дренажной системы.

3. Достаточно просто решает вопрос обезвоживания отложений выше гребня первичной дамбы открытая дренажная канава (рис. 7, *д*). Однако из-за возможности промерзания дна и бортов канавы этот тип дренажного устройства может быть применен в районах с мягким климатом при отсутствии длительных морозов.

4. Эффективно обезвоживают отложения золошлакового материала в случае резкой анизотропии фильтрационных свойств дренажные скважины. Проходка скважин производится после заполнения золоотвала на проектную высоту или в неблагоприятных условиях после заполнения каждого яруса наращивания.

3.31. В случае если под чашей золоотвала залегают сильнофильтрующие (песчаные, гравийные) грунты, прикрытые сверху глинистыми, то рекомендуется произвести вскрышу глинистых грунтов отдельными лентами перед верховым откосом первичной дамбы для дренирования отложений золошлакового материала (при согласовании с органами санитарного надзора, рыбоохраны, Минмелиоводхоза и других организаций).

3.32. При неблагоприятных эксплуатационных условиях на золоотвале, например, когда урез воды отстойного пруда может оказаться близко от обвалования или когда сброс пульпы из разводящего пульпопровода производится длительное время в одном месте, следует ожидать повышения кривой депрессии над ее нормальным положением. В таких случаях при высоте отвала более 15 *м* разрешается проектировать дренажные устройства на каждом ярусе намыва. Конструкция дренажных устройств на ярусах намыва выбирается в зависимости от местных условий, при этом должна быть обеспечена надежная система отвода воды за пределы отвала.

3.33. При высоте золоотвала более 15 *м* разрешается устраивать наслонный дренаж (упрощенной конструкции) на нижней части наружного откоса для предохранения его от размыва фильтрационной водой в случае подъема кривой депрессии выше нормального положения при неблагоприятных эксплуатационных условиях.

3.34. Дренажные устройства на ограждающих дамбах, возводимых из грунта на проектную высоту золоотвала (IV тип), про-

ектируются в соответствии с действующими нормативными документами для водоудерживающих плотин, сообразно с геологическими условиями основания.

3.35. Для сбора воды, фильтрующейся из золоотвала, и для осушения прилегающей к золоотвалу местности вдоль подошвы наружного откоса устраиваются водоотводные канавы или закрытые коллекторы, которые используются для отвода осветленной воды, сбрасываемой по трубопроводам от водосбросных колодцев.

4. РАСЧЕТ НАМЫВА ЗОЛОШЛАКОВОГО МАТЕРИАЛА

4.1. При проектировании золоотвала необходимо определять средний уклон поверхности отложений золошлакового материала от места выпуска пульпы до уреза отстойного пруда, а также уклон отложений золошлакового материала в пределах пруда.

4.2. Уклон поверхности отложений золошлакового материала выше уровня воды зависит от удельных расходов твердой и водной составляющей пульпы и от крупности частиц золошлакового материала [1].

Для предварительных подсчетов среднего уклона поверхности отложений разрешается пользоваться следующей формулой:

$$i_{ср} = 0{,}02\sqrt[3]{c},$$

где c — весовая консистенция пульпы на выпуске из пульпопровода, в долях единицы.

В табл. 9 приведены замеренные средние уклоны поверхности золошлакового материала на некоторых золоотвалах.

Таблица 9

Золоотвал ТЭС	Род сжигаемого топлива	Длина надводного откоса намыва, *м*	$i_{ср}$
Ленинградская ТЭЦ-2	Печорский и кузнецкий угли	200	0,009
Южно-Уральская ГРЭС	Челябинский уголь	170	0,009
Прибалтийская ГРЭС	Сланцы	1000	0,006
Щекинская ГРЭС	Подмосковный уголь	240	0,006
Богословская ТЭЦ	Богословский уголь	60	0,005
Бурштынская ГРЭС	Львовско-Волынский уголь	570	0,004
Старобешевская ГРЭС	Донецкий уголь	360	0,003
Средне-Уральская ГРЭС	Экибастузский уголь	1100	0,002

4.3. Профиль поверхности намытого золошлакового материала выше уровня воды имеет вогнутую форму с более крутыми откосами у выпуска пульпы и более пологими у отстойного пруда

[1] **Мелентьев В. А., Колпашников Н. П., Волнин Б. А.** Намывные гидротехнические сооружения. М., «Энергия», 1973, 248 с. с ил.

(рис. 8). Для построения профиля поверхности отложений может быть использована следующая формула:

$$y = i_{ср} L_н (1 - x_0)^{3/2},$$

где $L_н$ — длина надводного откоса до уреза отстойного пруда; $x_0 = x/L_н$ — относительное расстояние от бровки наружного откоса до точки с ординатой y и абсциссой x.

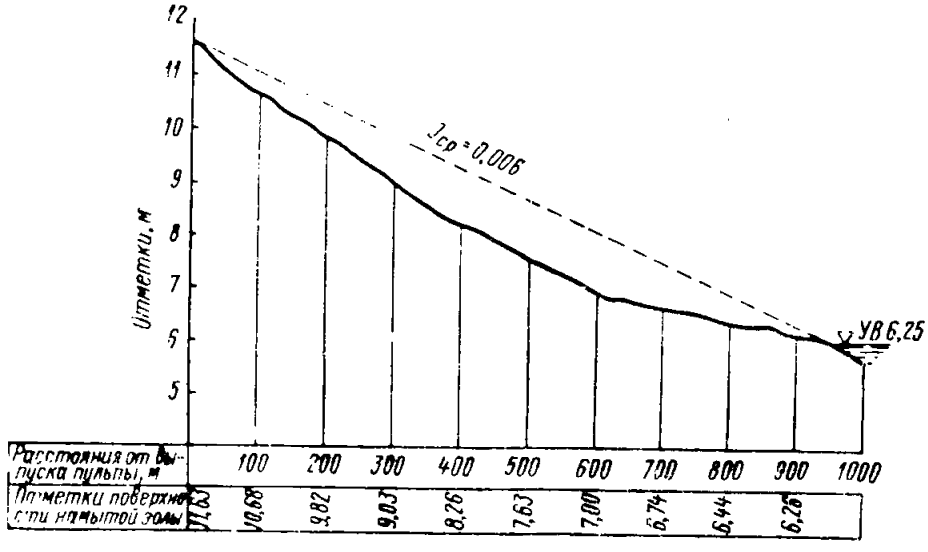

Рис. 8. Продольный профиль поверхности отложений золошлакового материала выше уровня воды отстойного пруда на золоотвале Прибалтийской ГРЭС, сжигающей сланцы.

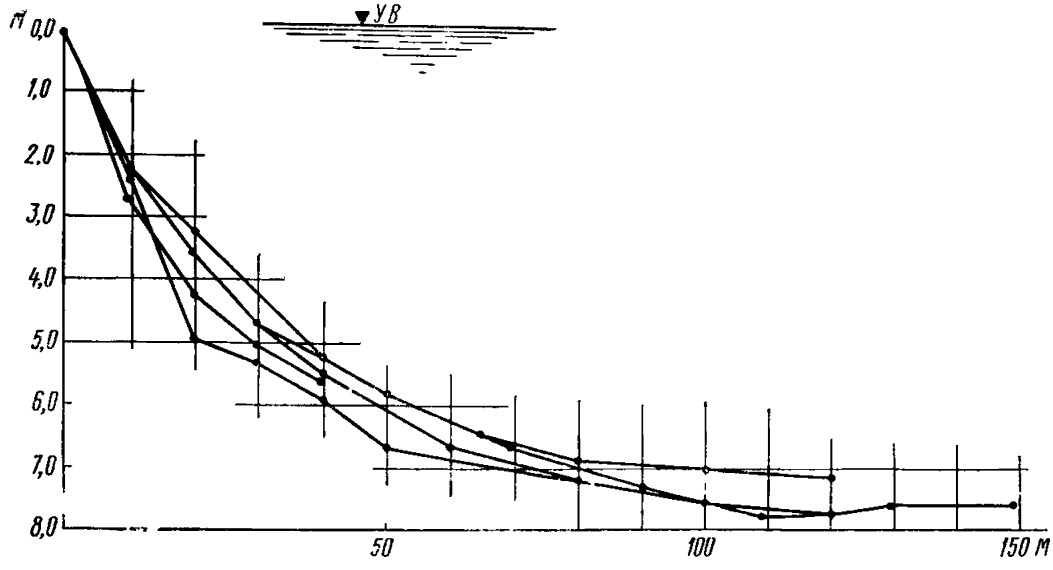

Рис. 9. Продольные профили поверхности отложений золошлакового материала ниже уровня воды в отстойном пруде золоотвала Щекинской ГРЭС, сжигающей подмосковный уголь.

4.4. Профиль поверхности отложений золошлакового материала ниже уровня воды имеет вогнутую форму с постепенным уполаживанием откоса по мере удаления от уреза воды (рис. 9).

Для построения профиля поверхности подводных отложений золы может быть использована следующая формула:

$$y = H\left[1 - e^{-10\left(\frac{u_0}{v_0}\right)^{1/2}\frac{x}{H}}\right],$$

где H — максимальная глубина отстойного пруда в рассматриваемом створе, *м*; u_0 — средняя гидравлическая крупность золы в месте втекания пульпы в отстойный пруд, *м/сек* (принимается по данным приложения 2, табл. 2-6); v_0 — средняя скорость потока пульпы в месте втекания ее в отстойный пруд, *м/сек* (принимается по табл. 10); x, y — координаты профиля поверхности подводных отложений золы (схема координат приведена на рис. 10); e — основание натуральных логарифмов.

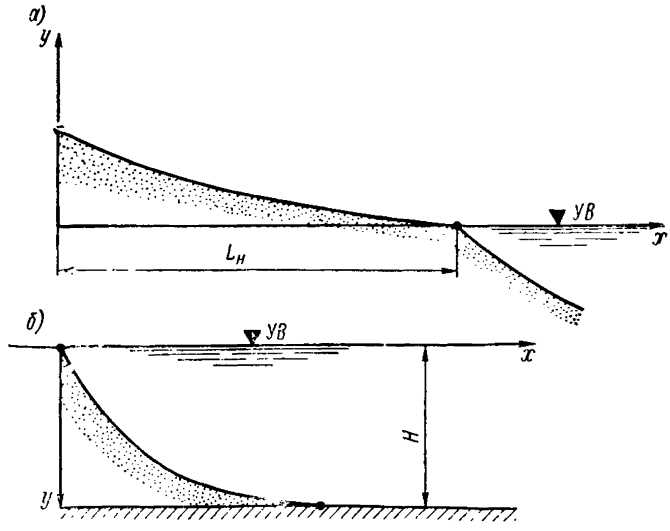

Рис. 10. Схема координат профиля поверхности отложений золошлакового материала

а — выше уровня воды; *б* — ниже уровня воды пруда.

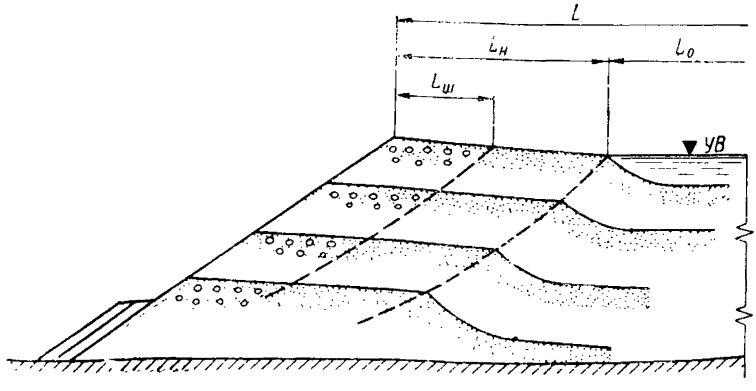

Рис. 11. Схема к расчету границ зон фракционирования.

4.5. Расстояние от бровки наружного откоса золоотвала до границы шлаковой зоны (рис. 11) рекомендуется определять по следующей формуле:

$$L_{ш} = \left[0{,}01 \sum_{d=2\ мм}^{d=d_{макс}} \Phi_i \right] L.$$

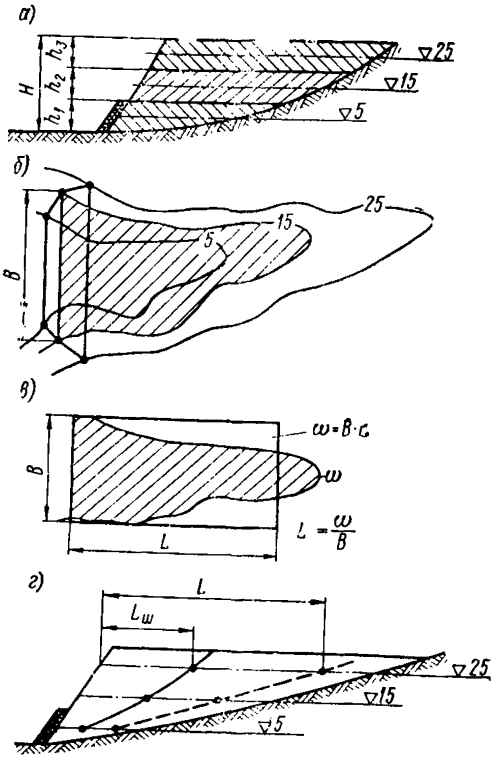

Рис. 12. Схема к расчету границ зон фракционирования овражного золоотвала

Очередность расчета: *а*—разбивка сечения отвала на яруса; *б*—определение площади каждого яруса, ограниченной горизонталями местности и проекцией бровки наружного откоса; *в*—определение расчетной длины каждого яруса золоотвала; *г*—нанесение границы зон на сечение отвала.

где $\sum_{d=2\ мм}^{d=d_{макс}} \Phi_i$ — сумма фракций крупнее 2 *мм* в составе исходного золошлакового материала ТЭС после дробилки (измельчение шлака в насосах и пульпопроводах не учитывается), %; L— расстояние от бровки наружного откоса до оси золоотвала, *м*.

Длину надводного откоса намыва, т. е. расстояние от бровки наружного откоса золоотвала до уреза отстойного пруда, рекомендуется определять по следующей формуле:

$$L_{н} = \left[0{,}01 \sum_{d=0{,}05\ мм}^{d=d_{макс}} \Phi_i \right] L,$$

где $\sum_{d=0{,}05\ мм}^{d=d_{макс}} \Phi_i$ — сумма фракций крупнее 0,05 *мм* в составе исходного золошлакового материала после дробилки, %.

4.6. В случае золоотвала неправильной формы, например овражного, в соответствии с очертанием горизонталей местности за величину L следует принимать длину равновеликого по площади на данной отметке прямоугольника, ширина которого равна длине наружного откоса B. На рис. 12 приведен порядок определения величины L для овражного отвала.

Примечания: 1. Характер фракционирования золошлакового материала по длине откоса намыва иллюстрируется фотоснимками шлифов, изготовленных из образцов намытого золошлакового материала (рис. 13).

2. Пример расчета $L_{ш}$ и $L_{н}$. Гранулометрический состав исходного золошлакового материала приведен в таблице.

мм	10—5	5—2	2—1	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	<0,05
%	3	15	10	4	18	26	14	10

-1

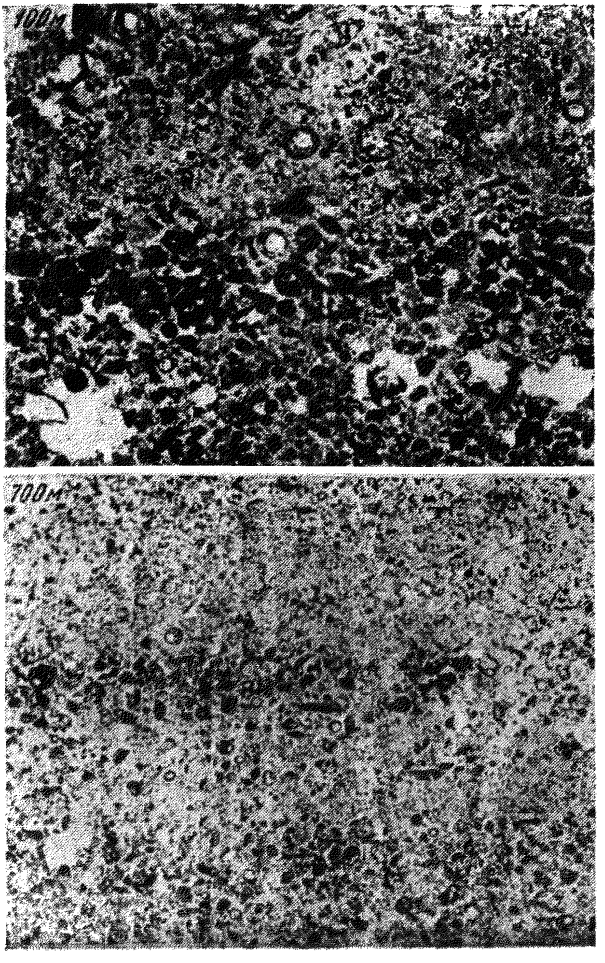

Рис. 13. Фотоснимки шлифов — образцов намытого золошлакового материала, отобранных на различных расстояниях от выпуска пульпы на золоотвале Прибалтийской ГРЭС.

Расстояние от бровки наружного откоса до оси золоотвала:

$$L = 1000 \text{ м},$$

$$L_{ш} = 0{,}01\,(3 + 15)\cdot 1000 = 180 \text{ м},$$

$$L_{н} = 0{,}01\,(3+15+10+4+18+26+14)\cdot 1000 = 900 \text{ м}.$$

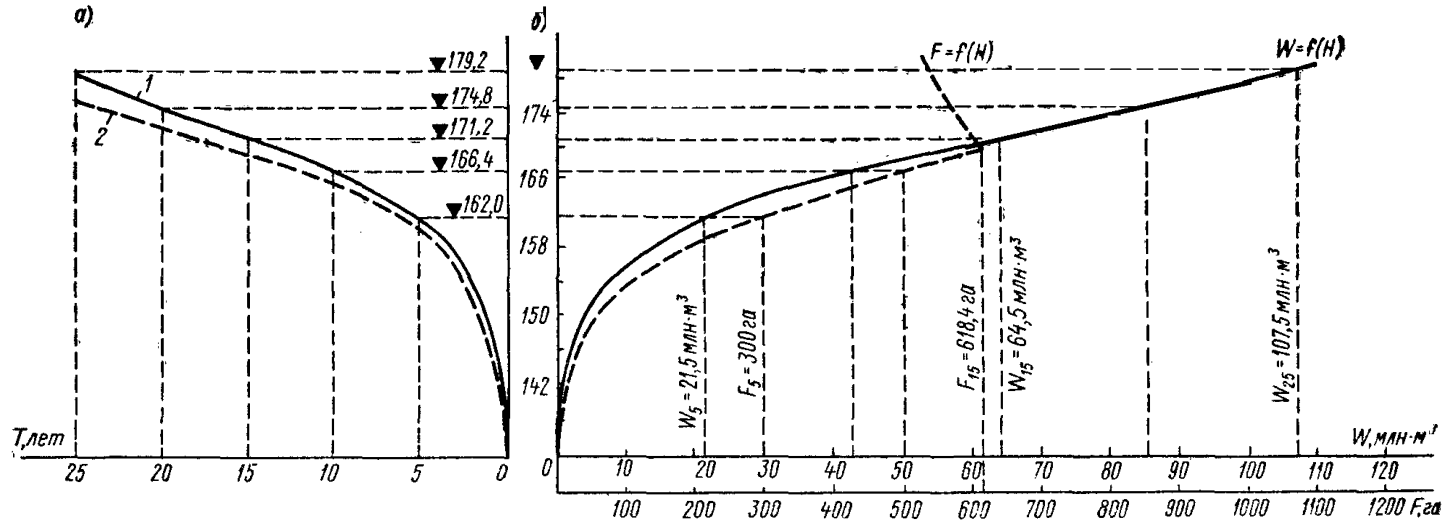

Рис. 14. Кривые заполнения золоотвала во времени (*а*) и кривые площадей F и емкости золоотвала W (*б*)

1—при коэффициенте заполнения $\eta=1$; *2*—то же при $\eta=0{,}85$; W вычисляется по формуле п. 2.17.

4.7. Расстояние от бровки наружного откоса золоотвала (на рассматриваемой отметке намыва) до водосбросного колодца должно быть больше суммы длин надводного откоса намыва и пути осветления, т. е.

$$L \geqslant L_{н} + L_{0},$$

где L_0 — расчетная длина пути осветления (п. 5.5.).

С помощью приведенной зависимости рекомендуется проверять выбранные размеры поперечного сечения золоотвала на различных стадиях его заполнения.

4.8. Полезная емкость золоотвала на разных отметках определяется в зависимости от принятой схемы заполнения и уклона поверхности отложений золошлакового материала. Объем, занимаемый отложениями, разрешается вычислять либо планиметрированием площадей, ограниченных контурами наружного откоса отвала и линией пересечения поверхности отложений золошлакового материала с горизонталями, либо методом поперечников.

Зависимость емкости золоотвала от высоты отложений золошлакового материала изображается в виде кривой заполнения, которая используется для контроля заполнения отвала (рис. 14).

5. ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ В ОТСТОЙНОМ ПРУДЕ

5.1. Отстойный пруд золоотвала предназначен для осаждения наиболее мелких частиц золы, т. е. осветления сбросной воды до состояния, позволяющего использовать ее для оборотного водоснабжения системы ГЗУ на электрической станции или других нужд станции. Кроме того, отстойный пруд должен содержать объем воды, необходимый и достаточный, чтобы восполнить потери из системы ГЗУ при оборотном водоснабжении. Этот объем определяется в результате расчета водного баланса системы.

5.2. Расчет отстойного пруда золоотвалов электрических станций вне зависимости от рода сжигаемого топлива заключается:

в вычислении длины, ширины, глубины и объема пруда, обеспечивающих заданный эффект осветления, который определяет часть полного, поступающего в пруд количества золы, выпадающей на длине пути осветления;

в определении по результатам расчета водного баланса объема воды, необходимого для питания системы ГЗУ во все периоды ее эксплуатации.

5.3. На золоотвалах разрешается проектировать два типа отстойных прудов:

отстойный пруд, свободно сопрягающийся с отложениями надводного откоса намыва;

отстойный пруд вторичного отстоя, отделенный от надводного откоса раздельной дамбой, в теле которой уложены перепускные устройства от промежуточных водосбросных сооружений, установленных около этой дамбы со стороны надводного откоса намыва (рис. 15).

5.4. Целесообразность устройства пруда вторичного отстоя определяется технико-экономическими, местными и топографическими условиями, учитывающими, в частности, следующее:

1) возможность совмещения с прудом вторичного отстоя бассейна осветленной воды у насосной станции оборотного водоснабжения;

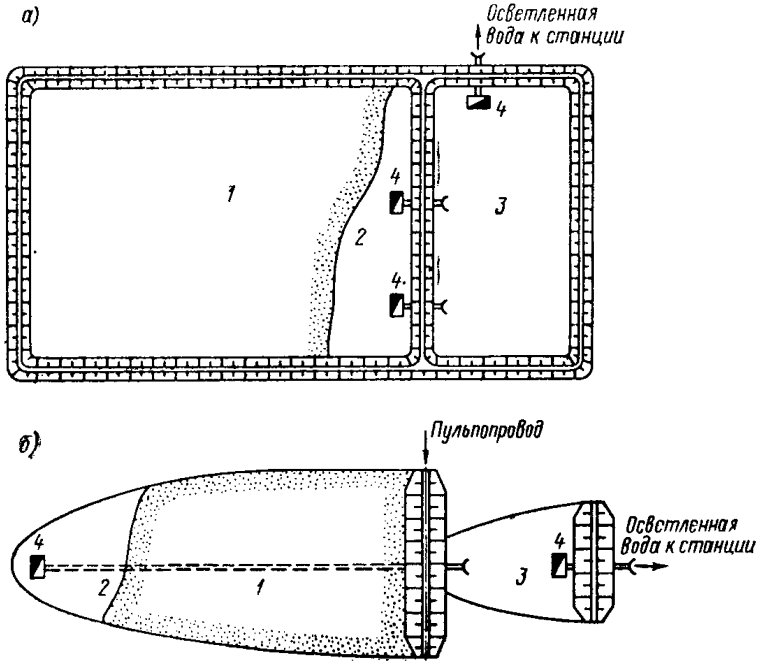

Рис. 15. Схема организации вторичных отстойных прудов золоотвалов

а—равнинный золоотвал; *б*—овражный золоотвал; *1*—надводный откос намыва; *2*—первичный отстойный пруд; *3*—вторичный отстойный пруд; *4*—водосбросной колодец.

2) более благоприятный режим осветления воды в пруде вторичного отстоя, вследствие заданного места впуска сточной воды, сохранения размеров пруда и его объема практически постоянными в течение всего срока эксплуатации и облегчения условий эксплуатации.

Расчет длины пути осветления по заданному эффекту осветления

5.5. Определение длины пути осветления по заданному эффекту осветления в отстойном пруде рекомендуется производить по следующей формуле:

$$L_0 = \sqrt{\frac{2Hv_0}{Nu_0}},$$

где H — глубина воды у водосбросного сооружения, *м*; v_0 — средняя скорость потока пульпы в месте втекания ее в отстойный пруд, *м/сек*; u_0 — «процентная»

скорость осаждения твердой составляющей зольной суспензии (заданной начальной концентрации) при расчетном эффекте осветления, *м/сек*; N — опытный коэффициент, $м^{-1}$.

Входящие в формулу величины задаются с учетом следующих рекомендаций.

1. При удалении осветленной воды с помощью водосбросных колодцев за расчетную величину H принимается глубина воды у колодца, которая должна быть не менее 1,0—1,5 *м*. Если глубина воды у колодца превышает 1,5 *м*, в расчет принимается $H=1{,}5$ *м*. При удалении воды с помощью насосных станций за расчетную величину H берется заглубление под уровень воды порога водоприемника насосов. При удалении воды с помощью канала за расчетную величину H принимается глубина воды во входном сечении канала.

2. Скорость втекания потока пульпы в пруд v_0 выбирается по табл. 10 в зависимости от расхода воды в системе ГЗУ.

Таблица 10

Расход воды в системе ГЗУ, $м^3/ч$	v_0, *м/сек*	N, $м^{-1}$
<500	0,15	0,130
500—1000	0,28	0,096
1000—2000	0,45	0,083
2000—4000	0,60	0,072
4000—6000	0,72	0,068
6000—8000	0,75	0,067
8000—10000	0,77	0,066

При расчете пруда вторичного отстоя, в который сточная вода поступает по каналу или сбросной трубе, скорость втекания определяется по формуле:

$$v_0 = \frac{Q}{\omega},$$

где Q — расход воды в системе ГЗУ, $м^3/сек$; ω — живое сечение канала или сбросной трубы, $м^2$.

При сосредоточенном впуске сточной воды в пруд вторичного отстоя скорость втекания не должна значительно превышать 0,75 *м/сек*, так как это приведет к существенному увеличению пути осветления. Поэтому сточная вода должна вводиться в пруд вторичного отстоя сечением максимально возможной ширины.

3. Коэффициент N характеризует интенсивность затухания средней скорости по длине транзитного потока в отстойном пруде в условиях воздействия ветра скоростью не более 6 *м/сек*. Коэффициент N выбирается по табл. 10 в зависимости от значения скорости v_0.

4. «Процентная» скорость осаждения золы u_0 зависит от особенностей осаждающейся золы, концентрации пульпы в месте втекания в отстойный пруд и от эффекта осветления. Определение величины u_0 производится в следующей последовательности:

а) рассчитывается выраженный в процентах эффект осветления пульпы на надводном откосе намыва золоотвала по формуле:

$$Э_н = 100\left(1 - \frac{1}{3{,}2^{L_н}}\right),$$

где $L_н$ — длина надводного откоса (расстояние от места сброса пульпы из пульпопровода до уреза отстойного пруда), *км*.

Эффект осветления пульпы на надводном откосе длиной более 50 *м*, отделенном от отстойного пруда дамбой, принимается равным 98% независимо от длины надводного откоса;

б) по найденному значению $Э_н$ определяется концентрация взвешенной золы в потоке сточной воды у места втекания в пруд из зависимости:

$$c_* = c_0\left(1 - \frac{Э_н}{100}\right),$$

где c_0 — концентрация пульпы в месте сброса из пульпопровода, *мг/л*; c_* — концентрация сточной воды в месте втекания в отстойный пруд, *мг/л*;

в) по вычисленному значению c_* определяется заданный эффект осветления воды в отстойном пруде по зависимости:

$$Э = \frac{c_* - c_п}{c_*} \cdot 100,$$

где $c_п$ — максимально возможная концентрация взвешенной золы в воде отстойного пруда у места водозабора, принимаемая по рекомендациям ОРГРЭС из условий минимального истирания взвесью насосов ГЗУ. В случае использования осветленной воды для уплотнения сальников подшипников насосов значения $c_п$ должны быть не более 500 *мг/л*, а в остальных случаях — 750 *мг/л*.

г) по полученным значениям c_* и $Э$ выбирается скорость u_0 из табл 11. Для промежуточных значений c_* и $Э$ величина u_0 вычисляется интерполяцией.

При c_* менее 1000 *мг/л* и более 15000 *мг/л* величины u_0 выбираются в графах табл. 11 соответственно для 1000—15000 *мг/л*. В случае применения на проектируемой станции топлива, характеристики осаждения золы которого в табл. 11 отсутствуют, величина u_0 должна определяться экспериментально методом технологического анализа, приспособленного для получения кривых осаждения золы [1].

5.6. Расстояние от места забора осветленной воды из пруда (колодец, всас насосной станции, начало канала) до ближайшей точки уреза, где возможно поступление пульпы в пруд, или же длина пруда вторичного отстоя должны быть не менее расчетной длины пути осветления.

5.7. Ширина пруда должна быть не менее $0{,}5L_0$. Глубина пруда H назначается в соответствии с расчетами длины пути осветления и водного баланса системы и должна быть не менее следующей величины:

$$H \geqslant (1{,}0 \div 1{,}5) + h_{л.\,п},$$

где $h_{л.\,п}$ — максимальная толщина ледового покрова для района расположения золоотвала, *м*.

---

[1] **Добкин Э. Л., Пантелеев В. Г.** Осаждение в воде золы твердого топлива тепловых электрических станций. — «Известия ВНИИГ», т. 89, 1968, с. 174—184.

Добкин Э. Л., Пантелеев В. Г. К вопросу стесненного осаждения агрегатно-неустойчивой золы некоторых твердых топлив тепловых электрических станций. — «Известия ВНИИГ», т. 94, 1970, с. 225—237.

Таблица 11

Вид золы	Процентная скорость осаждения $u_0 \cdot 10^{-3}$, *м/сек*								
	c_*=1000 *мг/л*			c_*=4000 *мг/л*			c_*=15000 *мг/л*		
	$Э$=50%	$Э$=80%	$Э$=95%	$Э$=50%	$Э$=80%	$Э$=95%	$Э$=50%	$Э$=80%	$Э$=95%
Зола торфа	16,7	3,7	1,06	16,7	3,7	1,06	16,7	3,7	1,06
Зола челябинского угля	11,1	5,56	1,1	11,1	5,56	1,1	11,1	5,56	11,1
Зола донецкого угля	6,67	1,59	—	7,83	2,77	0,67	8,9	4,44	1,55
Зола кизил-кияского угля . . .	6,67	3,33	1,52	6,67	3,33	1,52	6,67	3,33	1,52
Зола фрезерного торфа	5,56	1,48	0,108	8,33	1,91	0,556	11,1	3,03	0,784
Зола ташкумырского угля . . .	5,56	2,78	0,67	5,56	2,78	0,67	5,56	2,78	0,67
Зола подмосковного угля . . .	3,33	0,67	0,083	4,76	0,93	0,139	5,56	1,31	0,513
Зола черемховского угля . . .	2,22	0,22	0,073	3,33	0,556	0,139	10,8	2,15	0,476
Зола львовско-волынского угля	2,02	0,55	0,091	2,56	1,28	1,185	4,76	2,67	1,33
Зола экибастузского угля . . .	1,80	0,47	0,11	2,22	0,61	0,15	2,38	0,80	0,24
Зола туломского угля	1,80	0,60	0,077	2,78	0,78	0,052	—	—	—
Зола кузнецкого угля	1,55	0,16	—	3,03	0,69	0,12	7,40	3,18	0,79
Зола интинского угля	1,28	0,41	0,098	2,08	0,88	0,33	2,56	1,042	0,629
Зола азейского угля	1,19	0,3	0,103	1,67	0,417	0,145	1,85	0,725	0,347
Зола эстонского сланца	1,02	0,24	—	1,21	0,69	0,11	2,67	0,159	0,83

5.8. Расчет водного баланса выполняется с целью:

1) выбора источника (источников) пополнения расхода системы ГЗУ, если в процессе эксплуатации образуется дефицит воды;

2) решения вопроса о выведении за пределы системы избытка воды, если таковой образуется в процессе эксплуатации системы;

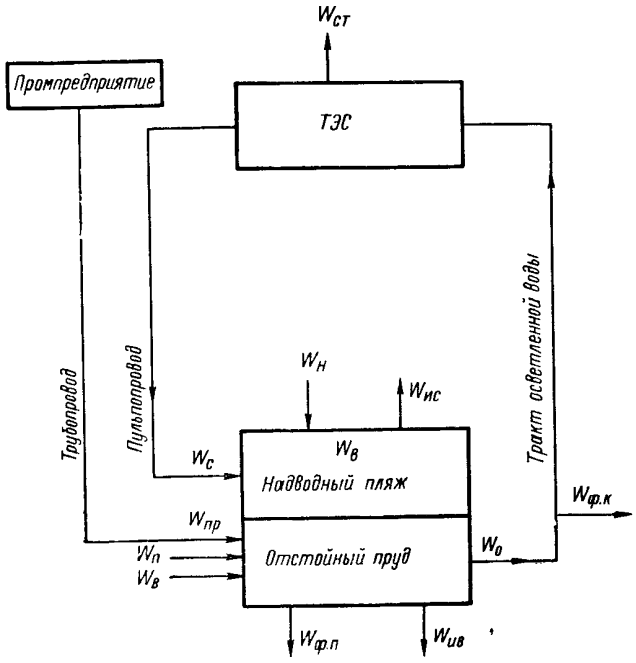

Рис. 16. Схема водного баланса системы ГЗУ ТЭС.

3) определения объема отстойного пруда, аккумулирующего такое количество воды, которое необходимо и достаточно для водоснабжения системы ГЗУ станции во все периоды ее эксплуатации и для назначения отметок сооружений, отводящих из пруда осветленную воду;

4) определения максимально необходимой емкости отстойного пруда, способного принять естественный приток определенной обеспеченности, а следовательно, для назначения отметки гребня ограждающих пруд дамб;

5) предотвращения образования излишнего объема пруда, который не требуется по условиям оборотного водоснабжения системы ГЗУ;

6) определения пропускной способности водосбросных сооружений.

5.9. Для годичного периода приходная и расходная части водного баланса (рис. 16) определяются следующими уравнениями.

Приходная часть баланса:

$$W_1 = W_с + W_н + W_п + W_в + W_{пр},$$

где $W_с$ — объем водной составляющей пульпы с учетом внутристанционных стоков, сбрасываемых в систему ГЗУ, $м^3$; $W_н$ — объем осадков, выпадающих на поверхность надводного откоса намыва, $м^3$; $W_п$ — объем осадков, выпадающих на зеркало пруда каналов осветленной воды и дренажных канав, $м^3$; $W_в$ — объем поверхностного стока, поступающего в систему ГЗУ, $м^3$; $W_{пр}$ — объем сбросных вод других цехов электростанции и других предприятий (хозбытовая канализация, технологические воды и т. д.), направляемых непосредственно в золоотвал, $м^3$.

Расходная часть баланса:

$$W_2 = W_0 + W_{ф.п} + W_{ф.к} + W_{и.в} + W_г + W_{и.с} + W_д + W_{ст},$$

где W_0 — объем воды, забираемый из отстойного пруда для питания системы ГЗУ, $м^3$; $W_{ф.п}$ — потери на фильтрацию через ложе пруда, $м^3$; $W_{ф.к}$ — потери на фильтрацию через ложе каналов осветленной воды и дренажных канав, $м^3$; $W_{и.в}$ — потери на испарение с водной поверхности отстойного пруда, каналов осветленной воды и дренажных канав, $м^3$; $W_г$ — объем воды, оставшейся в порах намытого золошлакового материала, $м^3$; $W_{и.с}$ — потери на испарение с поверхности, покрытой снегом, $м^3$; $W_{ст}$ — внутристанционные потери воды, $м^3$; $W_д$ — количество воды, необходимое для подъема уровня отстойного пруда для сохранения назначенной по расчету длины пути осветления, в связи с заполнением части емкости пруда зольными отложениями, $м^3$.

5.10. Величины W_1 и W_2 вычисляются по значениям составляющих за среднемноголетний период (приложение 7).

Расчет может привести к следующим случаям:

1) $W_1 = W_2$ — баланс нулевой. Этот случай является оптимальным и может встречаться при расчетах для климатической зоны достаточного увлажнения.

2) $W_1 > W_2$ — баланс положительный. Этот случай характерен для климатической зоны избыточного увлажнения. Избыток объема воды, равный разности приходной и расходной частей водного баланса, аккумулируется в отстойном пруде и постепенно приводит к его переполнению.

Возможные мероприятия по снижению избытка воды в системе:

а) отвод от золоотвала естественных водотоков и устройство нагорных канав;

б) отказ от сброса в систему ГЗУ технологической воды станции и других предприятий; для снижения избытка воды в системе ГЗУ на электрической станции с мокрыми золоуловителями должен быть рассмотрен вопрос о замене этих золоуловителей на электрофильтры, батарейные циклоны и др.

3) $W_1 < W_2$ — баланс отрицательный. В этом случае, характерном для климатической зоны недостаточного увлажнения, количество воды в отстойном пруде будет непрерывно уменьшаться.

Для восполнения недостатка воды рекомендуется направлять в золоотвал поверхностный сток соседних водоемов, периодически сбрасывать в него воду из системы технического водоснабжения или стоки ближайших предприятий (при необходимости после соответствующей обработки).

5.11. В отдельные внутригодовые периоды, когда потери воды из системы достигают максимальной величины, может образоваться отрицательный водный баланс, даже если он остается положительным для среднемноголетнего периода. При этом уровень воды в отстойном пруде может существенно понижаться, что неизбежно осложнит работу водосбросных сооружений. Такими периодами с большими водными потерями для северных районов является период ледообразования, а для южных районов — летний период с интенсивным испарением. Для этих периодов необходимо на основании расчета водного баланса определить минимальный объем воды в пруде с тем, чтобы правильно назначить отметки водозаборных сооружений.

5.12. Отдельно для зимнего периода величина потерь воды определяется по следующей формуле:

$$W_{з.\,п} = W_{л.\,п} + W_{л.\,к} + W_{л.\,н} + W_{ф.\,пз} + W_{ф.\,кз} + W_{г.\,з},$$

где $W_{з.\,п}$ — потери воды из системы в зимний период, $м^3$; $W_{л.\,п}$ — потери воды на ледообразование в отстойном пруде, $м^3$; $W_{л.\,к}$ — потери на ледообразование в каналах осветленной воды, $м^3$; $W_{л.\,н}$ — потери воды на образование наледей на надводном пляже золоотвала, $м^3$; $W_{ф.\,пз}$ — потери на фильтрацию через ложе пруда за зимний период, $м^3$; $W_{ф.\,кз}$ — потери на фильтрацию через ложе каналов осветленной воды и дренажных канав за зимний период, $м^3$; $W_{г.\,з}$ — объем воды, оставшейся в порах золошлакового материала, уложенного в золоотвал за зимний период, $м^3$.

Отдельно для летнего периода величина потерь воды вычисляется по формуле:

$$W_{лет} = W_{ив}^{P\%} + W_{ф.\,пл} + W_{ф.\,кл} + W_{г.\,л},$$

где $W_{лет}$ — объем воды, теряемый из системы за безледоставный период, $м^3$; $W_{ив}^{P\%}$ — потери воды на испарение (заданной обеспеченности P, %) за безледоставный период, $м^3$; $W_{ф.\,пл}$ — потери на фильтрацию через ложе пруда за безледоставный период, $м^3$; $W_{ф.\,кл}$ — потери на фильтрацию через ложе каналов осветленной воды и дренажных канав за безледоставный период, $м^3$; $W_{г.\,л}$ — объем воды, оставшейся в порах золошлакового материала, уложенного в золоотвал за безледоставный период, $м^3$.

5.13. Для определения максимально необходимой емкости отстойного пруда и назначения отметки гребня ограждающих пруд дамб следует рассчитать приходную часть водного баланса W_1 для года заданной обеспеченности.

Расчетная обеспеченность определяется по классу капитальности золоотвала с помощью табл. 2 (п. 2.21). Для этой обеспеченности вычисляются составляющие приходной части водного баланса.

Максимально необходимая емкость отстойного пруда определяется по формулам:

для северных районов $W_{макс} = W_1^{P\%} - W_0 + (W_{ос} + W_{зп})$;

для южных районов $W_{макс} = W_1^{P\%} - W_0 + (W_{ос} + W_{лет})$.

Объем воды в отстойном пруде должен быть равен:

для северных районов $W_{ос} + W_{зп}$;

для южных районов $W_{ос} + W_{лет}$.

Минимальный объем воды в отстойном пруде, который определяет отметки водозаборных сооружений, должен равняться $W_{ос}$.

5.14. Для пуска построенной системы ГЗУ, заполнение которой осуществляется из системы технического водоснабжения станции, в проекте должна быть предусмотрена возможность закачки объема воды, равного:

для северных районов $W_{ос} + W_{зп} + W_{сист}$;

для южных районов $W_{ос} + W_{лет} + W_{сист}$,

где $W_{сист}$ — объем воды, необходимый для заполнения каналов и трубопроводов системы ГЗУ.

Условия сброса осветленной воды из оборотных систем ГЗУ

5.15. В некоторых случаях, например когда электрическая станция размещена в климатической зоне избыточного увлажнения, а также вследствие ряда технологических причин, необходимо сбрасывать часть осветленной воды за пределы оборотной системы ГЗУ с последующим отводом в естественные водоемы.

5.16. Сброс излишков воды из замкнутой системы ГЗУ может быть осуществлен только при полном соблюдении требований «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», «Методических указаний для органов государственного санитарного надзора по применению правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» и «Сборника руководящих документов по охране рыбных запасов в водоемах СССР».

5.17. Возможность и условия необходимого сброса воды ГЗУ в естественные водоемы подлежат согласованию в каждом конкретном случае с органами государственного санитарного надзора, рыбоохраны, Минмелиоводхоза и других организаций.

Во время сброса воды ГЗУ в естественные водоемы должны производиться регулярные определения химического состава воды для установления влияния сброса на качество воды водоема и на водные организмы.

5.18. Для предварительного расчета потребной степени разбавления сбрасываемой осветленной воды (п. 5.16) рекомендуется пользоваться таблицей, в которой приведен химический состав вод ГЗУ действующих ТЭС (приложение 3, табл. 3-2).

5.19. В тех случаях, когда сброс излишков осветленной воды невозможен по условию сохранения предельно допустимых концентраций загрязнителей в воде естественных водоемов, тре-

буется соответствующая обработка сбрасываемых вод, например, нейтрализация, выпаривание, вымораживание и др.

5.20. Сброс в коммуникации замкнутой системы ГЗУ и в золоотвалы технологических и хозяйственных стоков ТЭС допускается после предварительной очистки их или непосредственно при условии, если эти стоки не создадут избытка воды в системе (что может привести к необходимости сброса воды за пределы золоотвала в естественные водоемы) и если они не повлияют на нормальную работу ГЗУ и не ухудшат строительных свойств отложений золошлакового материала.

Воды, имеющие бикарбонатную щелочность, при соблюдении вышеприведенных условий могут сбрасываться только непосредственно в золоотвал на надводный откос намыва.

5.21. Сброс в каналы замкнутой системы ГЗУ замазученных вод ТЭС может быть разрешен после предварительного пропуска их через нефтеловушки с понижением содержания нефтепродуктов до 100 *мг/л* и последующей очисткой этих вод в золошлаковой среде за счет адсорбции (если в системе не создается избытка воды).

В зависимости от вида золошлакового материала и концентрации пульпы остаточное содержание нефтепродуктов в осветленной воде при таком методе очистки может составлять 5 *мг/л*.

5.22. Перед осуществлением сброса излишков осветленной воды из замкнутой системы ГЗУ производственной лабораторией определяется химический состав сбросной воды и воды естественного водоема, после чего рассчитывается величина сброса, которая согласовывается с органами государственного санитарного надзора, Минмелиоводхоза и другими организациями.

6. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОСВЕТЛЕННОЙ ВОДЫ И ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

6.1. В качестве сооружений, отводящих осветленную воду и поверхностный сток, могут применяться водосбросные колодцы шахтного типа с водоотводящими коллекторами, насосные станции (стационарные и плавучие), а также береговые водосбросы. Расход воды, на который рассчитывается водосбросное сооружение, определяется расчетом баланса воды системы гидрозолоудаления (п. 5.8—5.14).

6.2. Выбор типа водосбросного сооружения определяется величиной расхода осветленной воды, местными топографическими и геологическими условиями и технико-экономическим сопоставлением вариантов.

При проектировании сооружений для возврата осветленной воды из золоотвала на ТЭС необходимо стремиться к максимальному снижению капитальных и эксплуатационных затрат на оборотное водоснабжение, для чего рекомендуется по возможности сокращать длину трубопроводов оборотного водоснабжения за

счет удлинения самотечных каналов для осветленной воды, снижать геометрическую высоту перекачки воды и др.

6.3. Водосбросные колодцы устанавливаются с учетом конфигурации в плане отстойного пруда, принятого режима осветления воды и способа заполнения золоотвала. Кроме того, следует увязывать места установки водосбросных колодцев с принятой схемой наращивания золоотвала с целью предотвращения их замыва золошлаковым материалом в процессе эксплуатации.

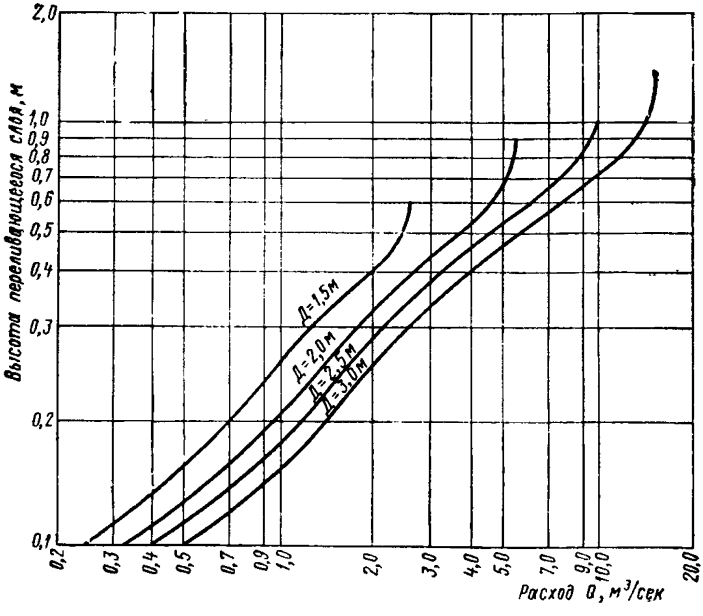

Рис. 17. Номограмма для определения высоты переливающегося через шандоры водосбросного колодца слоя воды в зависимости от расхода.

6.4. Водосбросные колодцы рекомендуется проектировать каркасной конструкции с бетонным фундаментом. При этом качество бетона принимается с учетом агрессивности осветленной воды. Промежутки между стойками каркаса по мере заполнения золоотвала перекрываются шандорами, через гребень которых переливается осветленная вода. При непродолжительных сроках эксплуатации золоотвалов (менее 2—3 лет) и при малой их высоте (менее 5 *м*) разрешается применять деревянные водосбросные колодцы и деревянные шандоры.

Примечание. Типовые конструкции колодцев разной высоты и пропускной способности разработаны в Ленинградском отделении «Союзводоканалпроекта».

6.5. На золоотвале рекомендуется устанавливать не менее двух колодцев, а на секционированном золоотвале — не менее двух колодцев на каждой секции.

Примечания: 1. Гидравлический расчет высоты перелива воды через гребень шандор колодца выполняется с помощью номограммы (рис. 17).

2. Каждый колодец должен быть рассчитан на пропуск полного расхода воды системы ГЗУ.

6.6. Во избежание попадания в водосбросной колодец плавающих предметов (обломки досок, ветви деревьев, лед и пр.), а также плавающих мелких фракций золы и шлака, вокруг колодца устраивают специальные плавучие боны (запани), огражденные перилами для прохода людей. Для подхода к колодцу следует предусматривать стационарный мостик с перилами, специальную лодку или понтон.

6.7. Коллектор осветленной воды выполняется из железобетонных или стальных труб. В овражных золоотвалах коллектор следует трассировать не по оси тальвега, а несколько смещать трассу к берегам оврага. Кроме того, коллектор должен быть пригружен во избежание всплывания.

6.8. Диаметр коллектора определяется гидравлическим расчетом, так же как диаметр безнапорных канализационных труб или напорных водоводов. При проектной высоте отложений золошлакового материала над коллектором более 10 *м* рекомендуется производить статический расчет коллектора на давление этих отложений.

Примечание. При назначении диаметра трубы коллектора в случаях, когда золошлаковый материал обладает цементирующей способностью, следует учитывать образование минеральных отложений на стенках трубы.

6.9. При пересечении коллектора с ограждающей дамбой золоотвала необходимо предусмотреть устройство противофильтрационных диафрагм с глиняным замком для предотвращения контактной фильтрации воды. Рекомендуется устанавливать диафрагму на участке сопряжения коллектора с верховым откосом дамбы.

6.10. Насосные станции осветленной воды могут быть стационарные или плавучие, расположенные на понтонах в пределах отстойного пруда. Стационарные насосные станции осуществляют забор воды или непосредственно из отстойного пруда, или из водозаборного ковша, емкость которого определяется исходя из условия 24-часовой работы насосной станции. Тип насосной станции выбирается по результатам технико-экономического сопоставления.

6.11. Выбор отметки оси насосов производится с учетом высоты всасывания при наинизшем возможном уровне отстойного пруда. Целесообразно проверить возможность установки насосов на отметках ниже уровня воды пруда с тем, чтобы обеспечить работу насосов под «заливом».

7. ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ПРОЕКТАХ ЗОЛООТВАЛОВ

7.1. В техническом проекте золоотвала должны быть разработаны следующие вопросы, связанные с эксплуатацией золоотвала:

1. Обоснование штата эксплуатационного персонала и перечня приобретаемых механизмов и оборудования (за счет сметы строительства) с учетом конструкции золоотвала и местных условий.
2. Очередность возведения золоотвала и объем пускового комплекса.
3. Указания по технологии намыва.
4. Освещение участков намыва, а также сооружений, требующих обслуживания (водосбросных колодцев, оголовков коллекторов и др.).
5. Установка контрольно-измерительной аппаратуры и наблюдения по ней.
6. Указания по борьбе с пылением.
7. Организация телефонной связи золоотвального хозяйства с диспетчерской службой станции.
8. Указания по консервации отвала.
9. Мероприятия, связанные со специфическими условиями расположения золоотвала (эксплуатация в суровых зимних условиях, возможность сейсмических воздействий и др.).

Примечания: 1. Вопрос использования шлака и золы данной электрической станции (при наличии потребителей этого материала) должен освещаться соответствующим разделом проекта. При этом следует учитывать, что зола и шлак должны забираться потребителями при бесперебойном удалении со станции и складировании в отвал золошлаковых материалов.

2. Инструкция по эксплуатации золоотвала электрической станции разрабатывается на основе «Типовой инструкции по эксплуатации пульпопроводов внешнего гидрозолоудаления и золоотвалов» (ОРГРЭС, 1971 г.) с учетом проектных проработок, предусмотренных настоящим разделом.

7.2. Эксплуатация золоотвального хозяйства должна обеспечить:

а) бесперебойную работу электрической станции по удалению и складированию золошлакового материала;

б) рациональное использование и своевременную подготовку емкости золоотвала;

в) необходимое осветление воды;

г) охрану воздушного бассейна от загрязнения;

д) содержание сооружений золоотвала в состоянии, отвечающем нормальным условиям их эксплуатации во все периоды года.

Возведение золоотвалов II и III типов с поярусным обвалованием из золошлакового материала и из грунта

7.3. Способ возведения золоотвалов с поярусным обвалованием предусматривает следующие этапы работ:

1) возведение первичной дамбы;

2) замыв начальной емкости первого яруса отвала золошлаковым материалом;

3) возведение дамбы наращивания второго яруса;

4) замыв второго яруса отвала золошлаковым материалом;

5) возведение дамбы наращивания третьего яруса и т. д.

7.4. Возведение первичной дамбы насыпным или намывным способами выполняется в соответствии с требованиями главы СНиП по правилам производства и приемки работ земляных сооружений.

7.5. Дамба наращивания из золошлакового материала устраивается нагребанием бульдозером или отсыпкой экскаватором отложившегося в результате намыва золошлакового материала. Высота дамбы наращивания и ее размеры определяются в каждом конкретном случае в зависимости от интенсивности заполнения золоотвала [1].

7.6. Доставка грунта для дамбы наращивания осуществляется обычно с помощью автотранспорта. Отсыпка его в тело обвалования производится послойно с разравниванием бульдозером и укаткой катками (как обычных земляных гидротехнических сооружений). В отдельных случаях, например при наличии подводных карьеров грунта, для возведения обвалования может быть использована гидромеханизация.

7.7. Дамбы наращивания высотой менее 1,5—2,0 *м* разрешается отсыпать пионерным способом с отметки гребня под откос на всю высоту, применяя, например, тяжелые самосвалы, перемещающиеся по гребню отсыпки. В зимнее время при отрицательной температуре воздуха такая отсыпка не разрешается.

7.8. Перед возведением дамбы наращивания следует разрыхлять с помощью бороны ее основание, так как плохой контакт между дамбой и основанием может привести к возникновению сосредоточенной фильтрации.

Возведение ограждающих дамб из грунта на золоотвалах IV типа.

7.9. Ограждающие дамбы золоотвалов IV типа — гидротехнические сооружения. При их возведении должны выполняться все требования главы СНиП по правилам производства и приемки работ земляных сооружений.

7.10. Возведение дамбы до проектной отметки ее гребня должно производиться с учетом последующей осадки как тела дамбы, так и основания.

---

[1] Дамба наращивания золоотвала Новомосковской ГРЭС, возводимая бульдозером нагребанием золошлакового материала подмосковного угля, имеет высоту 3 *м*, ширину по гребню 6 *м*, уклоны откосов 1 : 3. Дамба наращивания золоотвала Партизанской ГРЭС, возводимая бульдозером нагребанием золошлакового материала смеси дальневосточных углей, имеет высоту 1,5—2,0 *м*, ширину по гребню 5 *м*.

7.11. Выпуск золошлаковой пульпы из разводящего пульпопровода (при схеме заполнения «от дамбы к пруду») должен быть организован таким образом, чтобы было обеспечено свободное растекание пульпы по отложениям золошлакового материала. В результате этого достигается наиболее полное фракционирование материала, т. е. отложение наиболее крупных фракций у наружного откоса отвала и отмыв наиболее мелких — к отстойному пруду. При таком распределении материала тело золоотвала формируется по принципу обратного фильтра, что обеспечивает наибольшую возможную устойчивость наружного откоса.

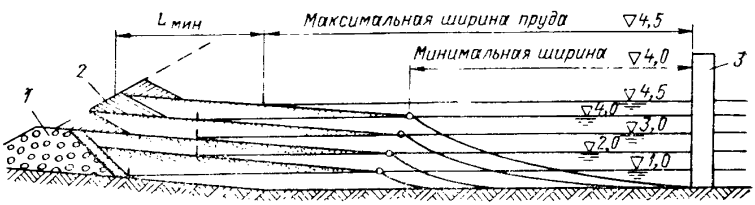

Рис. 18. Схема подъема уровня отстойного пруда
1—первичная дамба; *2*—дамба наращивания; *3*—водосбросной колодец.

7.12. Золоотвал должен наращиваться равномерно по высоте по всему периметру дамб, что обеспечивается соответствующей прокладкой разводящих пульпопроводов.

7.13. Растекание потока пульпы и длина надводного откоса намыва регулируются плановым положением уреза отстойного пруда. Не разрешается поднимать уровень отстойного пруда до такой отметки, чтобы урез его приблизился к бровке откоса на расстояние меньшее, чем предусмотрено проектом по условию предотвращения высачивания фильтрационной воды на наружном откосе (п. 3.25). Схема подъема уровня воды пруда по мере заполнения золоотвала приведена на рис. 18.

7.14. При намыве золоотвала в случае устройства дамб наращивания из золошлакового материала или из грунта применяются следующие способы сброса пульпы из пульпопровода:

из выпусков большого сечения (соизмеримого с сечением пульпопровода) на разводящем пульпопроводе с устройством ответвлений из труб в сторону отвала;

из выпусков небольшого сечения на разводящем пульпопроводе или на ответвлении от разводящих пульпопроводов;

из торца трубы при наращивании и разборке звеньев разводящего пульпопровода по мере намыва (торцевой челночный безэстакадный способ).

7.15. Наибольшее распространение на золоотвалах получил способ сброса пульпы из одного-двух выпусков большого сечения с устройством коротких патрубков в сторону отвала такой длины, чтобы пульпа не размывала верховой откос дамбы.

Диаметры выпусков и расстояние между ними устанавливаются в зависимости от диаметра разводящего пульпопровода согласно табл. 12.

Таблица 12

Характеристика выпусков	Диаметр пульпопровода, *мм*			
	200	300	400	600
Диаметр, *мм*	150	200	300	400
Расстояние между выпусками, *м*:				
при конструкции золоотвала с поярусным обвалованием (II и III тип)	20	35	50	75
при ограждающих дамбах из грунта на полную высоту отвала (IV тип)	50	70	100	150

Выпуски оборудуются задвижками или съемными заглушками. Разводящий пульпопровод прокладывается на низких П-образных опорах или на лежнях со сдвижкой оси трубы от гребня дамбы в сторону отвала.

Примечания: 1. Не рекомендуется сбрасывать всю пульпу одновременно из многих выпусков большого сечения, так как при этом происходит неблагоприятная раскладка золошлакового материала по крупности по длине фронта намыва (более крупные фракции у первого выпуска и мелкие — у последнего работающего выпуска). Для предотвращения осаждения золошлакового материала в пульпопроводе за последним работающим выпуском на разводящем пульпопроводе следует устанавливать задвижки или съемные заглушки.

2. Количество одновременно работающих выпусков по длине фронта намыва, при которых нерезко проявляется продольное фракционирование золошлакового материала, рекомендуется определять опытным путем на начальной стадии эксплуатации золоотвала.

7.16. На золоотвалах ТЭС, сжигающих сланцы и такие топлива, золошлаковый материал которых обладает цементирующими свойствами, разрешается заполнять золоотвал выпуском пульпы в одной точке (из торца пульпопровода) на ближайшей к станции границе золоотвала так называемым способом «полуторикона» (рис. 19). В этом случае обвалование золоотвала можно возводить бульдозером или экскаватором из свеженамытого золошлакового материала.

Примечание. Заполнение золоотвала способом «полуторикона» может быть осуществлено и в случае, когда ограждающая дамба возводится из грунта на полную высоту отвала. При этом переменная по длине отметка гребня ограждающей дамбы должна соответствовать уклону поверхности отложений золошлакового материала. Верховой откос дамбы должен иметь крепление, защищающее откос от размыва потоками пульпы.

7.17. При необходимости рассредоточения сброса пульпы из разводящего пульпопровода для образования длинного фронта намыва (например, с целью создания более крутого уклона поверхности отложений) и смачивания большой площади откоса намыва применяются выпуски небольшого сечения ($\varnothing \leqslant 50$ *мм*), которые устанавливаются на пульпопроводе через 3—5 *м*. Поскольку при таком сбросе пульпы будет иметь место раскладка

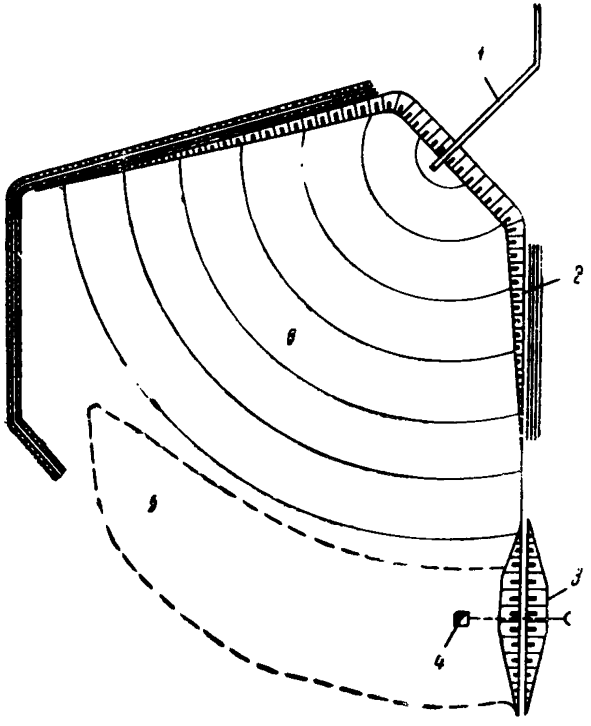

Рис. 19. Заполнение золоотвала способом „полутеррикона"

1—пульпопровод; 2—дамба наращивания; *3*—ограждающая дамба; *4*—водосбросной колодец; *5*—отстойный пруд; *6*—отложения золошлакового материала.

золошлакового материала по крупности по длине фронта намыва, следует ограничивать число одновременно работающих выпусков до такого количества, чтобы изменение по крупности сбрасываемого материала было несущественным, а остальную часть пульпы сбрасывать из торца пульпопровода в ту часть золоотвала, где, например, сообразно с рельефом местности, не устраивается обвалование. Такой способ называется раздельным способом намыва (рис. 20).

Примечания: 1. Для предотвращения забивки выпусков крупными фракциями шлака при таком способе намыва необходимо предусмотреть предварительный отбор этих фракций с помощью специальных классификаторов (п. 3.3). 2. В случае предварительного отбора из пульпы шлаковых фракций раскладка зольных частиц по крупности по фронту намыва (при сбросе пульпы из выпусков небольшого сечения) практически отсутствует.

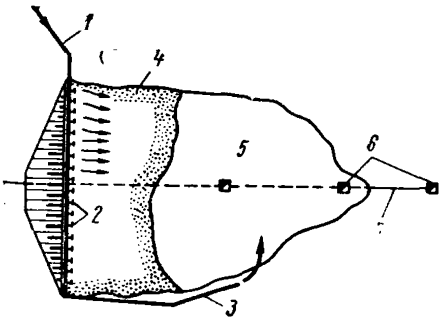

Рис. 20. Раздельный способ намыва

1—пульпопровод; *2*—выпуски; *3*—сброс пульпы из торца трубы; *4*—отложения золошлакового материала; *5*—отстойный пруд; *6*—водосбросной колодец; *7*—коллектор осветленной воды.

7.18. При торцевом челночном безэстакадном способе намыва (рис. 21) вся пульпа сбрасывается из торца пульпопровода, звенья которого в процессе намыва периодически наращиваются и разбираются при помощи специального крана-укладчика на гусеничном ходу.

Этот способ требует непрерывной работы крана и обслуживающей его бригады, а также периодической работы бульдозера для возведения обвалования. Способ может быть применен при большом расходе золошлаковой пульпы, при малой длине и большой высоте золоотвала, например, на золоотвалах овражного типа.

7.19. В случае длительного сброса пульпы из выпуска разводящего пульпопровода в одной точке золоотвала может произой-

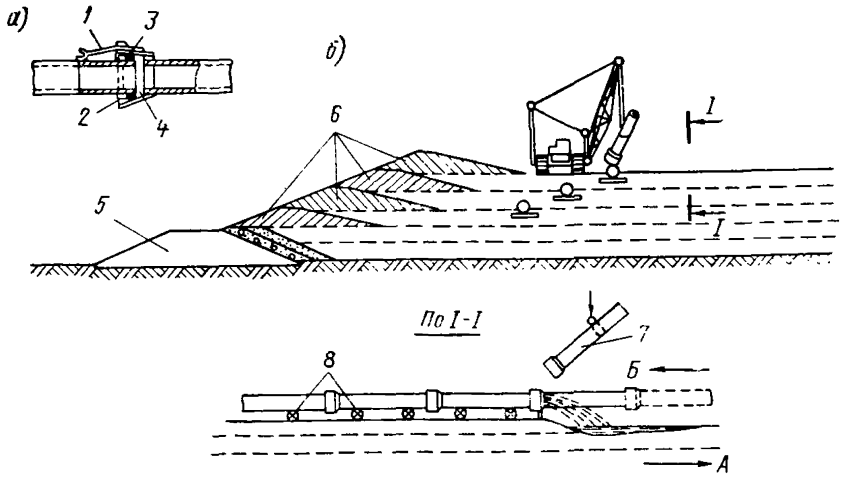

Рис. 21. Безэстакадный способ

а—быстроразъемное соединение пульпопровода, *б*—схема намыва; *1*—петля; *2*—кольцо; *3*—резиновое уплотнение; *4*—раструб; *5*—первичная дамба; *6*—дамба; *7*—наращиваемое звено пульпопровода; *8*—деревянные прокладки; *А*—направление намыва при наращивании пульпопровода; *Б*—то же, при разборке пульпопровода.

ти высачивание фильтрационной воды на наружном откосе золоотвала на участке сброса пульпы, что обычно приводит к размыву откоса, незащищенного дренажом (рис. 22). Для предотвращения этого рекомендуется ограничивать во времени сброс пульпы в одной точке и при высачивании воды на откосе переключать сброс пульпы на следующий выпуск или чередовать сброс пульпы из разных выпусков по длине разводящего пульпопровода.

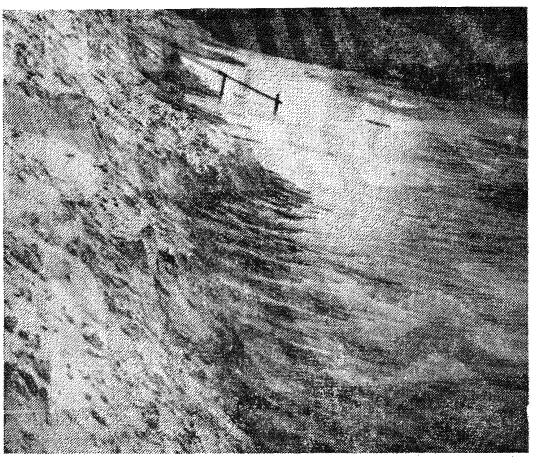

Рис. 22. Оплыв грунта откоса дамбы в результате высачивания фильтрационного потока.

Контрольно-измерительная аппаратура

7.20. При составлении технического проекта золоотвалов I, II, III классов капитальности следует предусматривать установку следующей аппаратуры и устройств:

а) пьезометры (шахтные и точечные) для наблюдения за фильтрационным потоком в теле золоотвала с поярусным обвалованием, в ограждающих дамбах и в грунтах основания;

б) мерные водосливы для измерения расхода фильтрационного потока;

в) поверхностные реперы для измерения суммарных осадок отложений золошлакового материала и грунтов основания;

г) глубинные реперы для измерения осадок грунтов основания.

7.21. Пьезометры устанавливаются по поперечникам нормально к оси дамбы. В зависимости от класса капитальности золоотвала расстояние между пьезометрическими поперечниками принимают от 100 до 500 *м*. На каждом поперечнике устанавливают

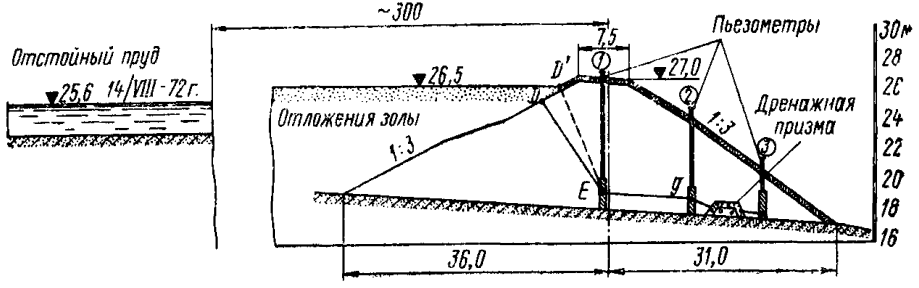

Рис. 23. Пример установки пьезометров на ограждающей дамбе золоотвала

DEg — положение кривой депрессии на 14/VIII 1972 г.; *D'Eg* — положение кривой депрессии на время намыва.

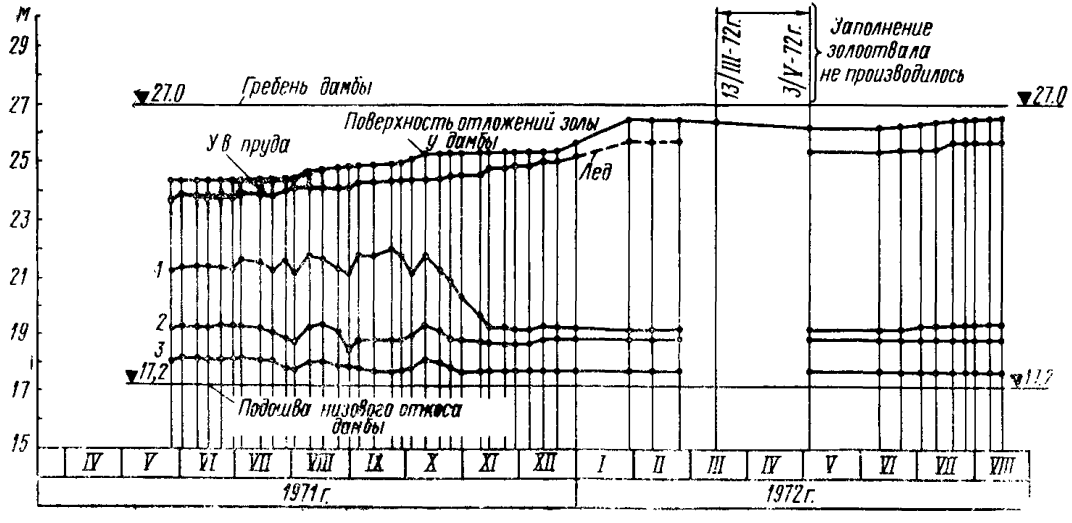

Рис. 24. Пример изменения во времени отметок поверхности отложений золы у дамбы, уровня воды в пруде и уровней воды в пьезометрах.

3—5 шахтных пьезометров и в зависимости от особенностей грунтов основания 2—3 точечных пьезометра (рядом с шахтными).

Примечания: 1. Пример размещения пьезометров на ограждающей дамбе золоотвала и обработки материалов наблюдений по пьезометрам приведен на рис. 23, 24.

2. Конструкция пьезометров принимается типовой из труб диаметром 50—100 *мм*, согласно указаниям ВСН 35-70 [1].

3. Точечные пьезометры фиксируют уровень воды или пьезометрический напор в слое небольшой высоты 20—50 *см*; шахтные пьезометры имеют перфорацию на большом отрезке трубы, и их устанавливают в тело дамбы с таким расчетом, чтобы наинизший уровень фильтрационного потока был выше верха перфорации.

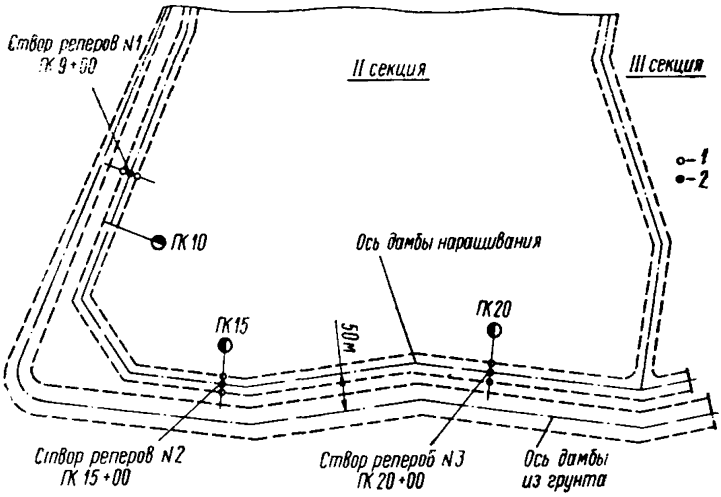

Рис. 25. Пример размещения осадочных реперов на золоотвале

1—поверхностная плита-марка; *2*—глубинная плита-марка.

7.22. Измерение расхода фильтрационной воды в отводящей от дренажных выпусков канаве производится с помощью типовых мерных водосливов треугольного или трапецеидального профиля (ВСН 35-70).

7.23. Измерение осадки отложений золошлакового материала и грунтов основания золоотвала выполняется с помощью поверхностных и глубинных реперов (ВСН 35-70). Пример размещения реперов приведен на рис. 25.

Борьба с пылением

7.24. В бездождевые периоды незакрепленная поверхность золоотвалов может явиться источником интенсивного пыления

[1] Временные указания по проведению контрольных наблюдений и исследований на плотинах из местных материалов во время их возведения и эксплуатации, ВСН 35-70, «Энергия», 1971, 44 с.

(особенно в районе с засушливым климатом). Рекомендуются следующие мероприятия по борьбе с пылением с целью сохранения чистоты воздушного бассейна и окружающей территории:

а) закрепление наружных откосов золоотвала;

б) оперативное закрепление поверхности золоотвала;

в) технологическое закрепление поверхности золоотвала.

7.25. Закрепление наружных откосов (бортов) золоотвала в процессе эксплуатации осуществляется растительным грунтом с посевом трав и кустарника. Вместо закрепления растительным грунтом разрешается покрывать наружные откосы золоотвала шлаком (слоем толщиной 0,10—0,20 *м*.).

7.26. Оперативное закрепление поверхности намытого золошлакового материала рекомендуется выполнять на эксплуатируемых секциях золоотвала. Это закрепление предназначено для борьбы с пылением в зоне неработающих выпусков пульпопровода и рассчитывается на срок до 2 месяцев. Оперативное обеспыливание может осуществляться следующими способами:

1) периодический полив территории золоотвала с помощью стационарных дождевальных установок;

2) подъем уровня воды отстойного пруда для покрытия водой возможно большей поверхности намытого золошлакового материала с учетом требований в отношении предотвращения выхода фильтрационной воды на откос золоотвала (п. 3.25);

3) удлинение фронта намыва путем рассредоточения сброса пульпы из разводящего пульпопровода через выпуски небольшого сечения с тем, чтобы обеспечить смачивание пульпой наибольшей площади поверхности откоса намыва;

4) химическое закрепление эмульсией латекса и битума, растворами полимеров-структурообразователей, однорастворной силикатизацией; для этой цели рекомендуется применение вертолетов, снабженных высокорасходной аппаратурой, а также наземных средств распыления.

7.27. Технологическое закрепление поверхности золоотвала выполняется для борьбы с пылением во время длительных перерывов в намыве. Срок службы его до двух лет. Такое закрепление рекомендуется выполнять химическим способом теми же материалами, что и оперативное закрепление, но с увеличенной дозировкой. Распределение вяжущих выполняется вертолетом или наземными средствами — аэрозольными генераторами, сельскохозяйственными опрыскивателями и поливочными машинами.

Примечание. Способ распределения вяжущих веществ с вертолетов при оперативном и технологическом закреплении разработан во ВНИИ СХСПГА (г. Краснодар).

Консервация золоотвала

7.28. По окончании эксплуатации золоотвал как источник пылеобразования должен быть надежно законсервирован. Для этого вся поверхность намытого золошлакового материала и борта золоотвала должны быть покрыты слоем растительного плодородного грунта (исходя из нормы 100—200 $м^3$ на 1 *га*), на котором производится посев многолетних трав с устройством защитных полос посадкой кустарниковой растительности. В полупустынных и сильнозасушливых районах может быть использован способ закрепления поверхности золошлакового материала разбрызгиванием битумной эмульсии в сочетании с посевом трав.

Примечания: 1. Внесение растительного грунта, подбор семян трав и уход за посевом производится по согласованию с агромелиоративными организациями в соответствии с рекомендациями, разработанными Главным ботаническим садом Академии Наук СССР и Уральским Государственным университетом с учетом климатических особенностей района расположения золоотвала [1].

2. Способ закрепления поверхности золошлакового материала разбрызгиванием битумной эмульсии в сочетании с посевом трав разработан Агрофизическим институтом ВАСХН им. В. И. Ленина.

7.29. Для сбора поверхностного стока с территории законсервированного отвала и в случае необходимости (например, на овражных золоотвалах) для пропуска стока через законсервированный отвал должны максимально использоваться водосбросные сооружения, отводящие осветленную воду во время эксплуатации золоотвала. Если это не представляется возможным, должен быть составлен проект, предусматривающий мелиоративные работы (в состав проекта могут войти постоянно действующий обводной канал, быстроток и другие сооружения).

8. СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ НА ЗАКОНСЕРВИРОВАННЫХ ОТВАЛАХ

8.1. Расчет оснований гражданских и промышленных зданий и сооружений, возводимых на отложениях золошлакового материала в пределах законсервированных и обезвоженных золоотвалов, производится по указаниям главы СНиП на проектирование оснований зданий и сооружений с учетом физико-механических свойств намытого золошлакового материала на участке строительства.

8.2. Расчет следует выполнять по деформации основания, для чего должно быть определено нормативное давление $R^н$ в зависимости от угла внутреннего трения, удельной силы сцепления и объемного веса намытого золошлакового материала в состоянии естественной влажности.

Примечания: 1. Для предварительных расчетов величина $R^н$ обезвоженных нецементирующихся зольных отложений может быть принята равной 1,0 *кгс/см²* (кроме зоны отстойного пруда).

---

[1] **Опыт** закрытия растительностью золоотвалов тепловых электрических станций Урала. Свердловское книжное издательство, 1962, 48 с.

2. На стадии технического (технорабочего) проекта нормативное давление на отложения золошлакового материала рекомендуется определять по данным полевых измерений (с помощью стандартных штампов по ГОСТ 12374-66 статическим зондированием).

3. Величины осадок в *мм* некоторых золошлаковых отложений, определенные с помощью штампов, приведены в табл. 13.

Таблица 13

Наименование топлива и ТЭС	Характеристика отложений	Удельные давления, *кгс/см²*					Примечание
		0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	
Львовско-Волынский уголь, работающий золоотвал Бурштынской ГРЭС	Шлак водонасыщенный h=2,80 *м*	0,4	1,1	5,6	10,0	16,5	Штамп площадью 600 *см²*
	Тонкая зола водонасыщенная h=1,20 *м* (зона отстойного пруда).	17,2	111,5	208,2	—	—	
Донецкий уголь, работающий золоотвал Молдавской ГРЭС	Зола водонасыщенная h=2,90 *м*	0,2	0,9	8,7	22,0		То же
	То же, тонкая h=2,95 *м*	0,1	1,3	10,1	25,2	47,5	
Кузнецкий уголь, работающий золоотвал Новосибирской ТЭЦ-2	Шлак влажный h=5,10 *м*	0,6	1,8	3,6	5,2	—	Штамп площадью 5000 *см²*
	Зола влажная h=5,20 *м*	0,9	8,9	38,5	77,4	—	
Экибастузский уголь, Ср.-Уральская ГРЭС, законсервированный золоотвал	Зола водонасыщенная h=8,00 *м*	0,6	4,0	20,7	—	—	То же

8.3. Расчет осадки фундамента следует выполнять по указаниям главы СНиП на проектирование оснований зданий и сооружений с учетом модуля деформации отложений золошлакового материала и рекомендованной этими указаниями расчетной схемы распределения давлений в горизонтальных сечениях основания.

8.4. В случае расположения проектируемого здания в пределах золоотвала вблизи откоса следует проверять устойчивость этого откоса по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения или по методу ломаных поверхностей с учетом инженерно-геологических условий основания.

8.5. При выборе на территории золоотвала мест возможного строительства гражданских и промышленных зданий следует отдавать предпочтение участкам, где отложился более крупный золошлаковый материал, для чего должна быть проанализирована исполнительная схема намыва золоотвала (размещение разводящих пульпопроводов, местоположение отстойного пруда и др.). Кроме того, учитывая специфику заполнения золоотвалов и возможность навалов некачественного материала или грунта среди отложений золошлакового материала, следует выполнять детальную инженерно-геологическую разведку участка основания проектируемых зданий.

8.6. В случае неодинаковости физико-механических свойств отложений золошлакового материала по площади на участке строительства или при низких величинах нормативного давления рекомендуется устройство свайного фундамента зданий с доведением свай до надежных грунтов.

8.7. В связи с недостаточной изученностью поведения золошлаковых отложений при вибрационных нагрузках вопрос строительства на законсервированных золоотвалах объектов, на которых возможны такие нагрузки, следует решать с привлечением соответствующих научно-исследовательских организаций.

Приложение 1

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ И АГРЕГАТНЫЙ УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ЗОЛЫ И ШЛАКА ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ НА ТЭС

Гранулометрический состав

Гранулометрический состав золы и шлака твердых топлив на ТЭС зависит от следующих факторов: конструкции топок котлоагрегатов (камерные и слоевые, с жидким и твердым шлакоудалением), эксплуатационных условий работы котлоагрегата (работа в номинальном и минимальном режимах, равномерность и температура горения топлива в камере сжигания, сжигание топлива совместно с мазутом или газом и пр.), рода топлива, тонины помола топлива, особенностей приготовления и подачи пыли для сжигания (типа, эксплуатационного состояния, количества работающих пылеугольных мельниц и их производительности; наличия и исправности сепаратора, а также величины открытия его створок; температуры сушильного агента).

Кроме того, состав шлака определяется механизмом подачи этого материала из холодных воронок и смывных шахт (шнеки, транспортеры, гидросмыв), а также конструкцией шлакодробилок; состав золы — способом золоулавливания (сухое и мокрое), конструкцией золоулавливающих аппаратов и их эксплуатационного состояния, величиной входной скорости в золоуловители и т. д.

Устанавливаемые на ТЭС золоулавливающие устройства по способу подачи золы в смывные каналы разделяются на две группы:

1. Золоуловители, имеющие по ходу очистки дымовых газов один аппарат: мокрые, вертикальные электрофильтры, инерционные или механические. Зола, поступающая в смывные каналы ГЗУ от этих аппаратов золоулавливания, отражает ее средний состав.

2. Золоуловители, имеющие по ходу очистки дымовых газов несколько горизонтально включенных аппаратов: двухступенчатые, или комбинированные—инерционные золоуловители (первая ступень), предварительно включенные в многопольные электрофильтры (вторая ступень). Зола, поступающая в смывные каналы ГЗУ от каждого отдельного аппарата, не отражает среднего состава всего материала, а распределена по выпускам по крупно-

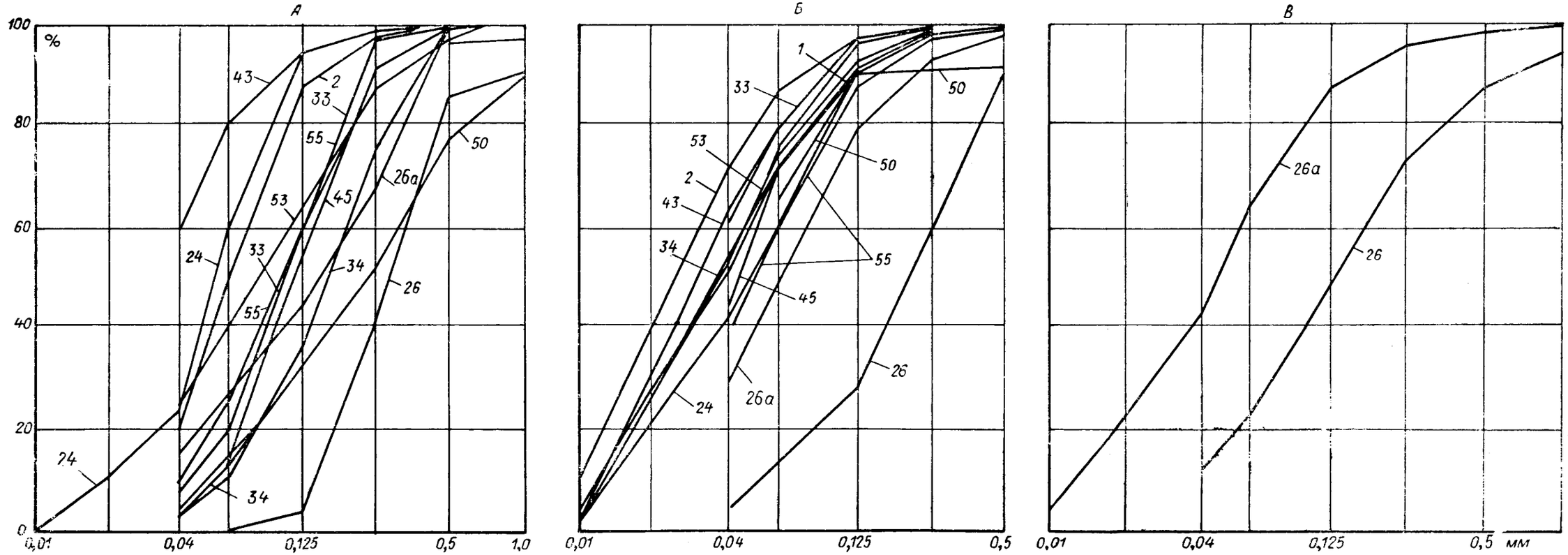

Рис. 1-1. Кривые гранулометрического состава инерционных золоуловителей (группа 2)
26 — котлоагрегат «Гарбе»; *26а* — котлоагрегат «Стерлинг».

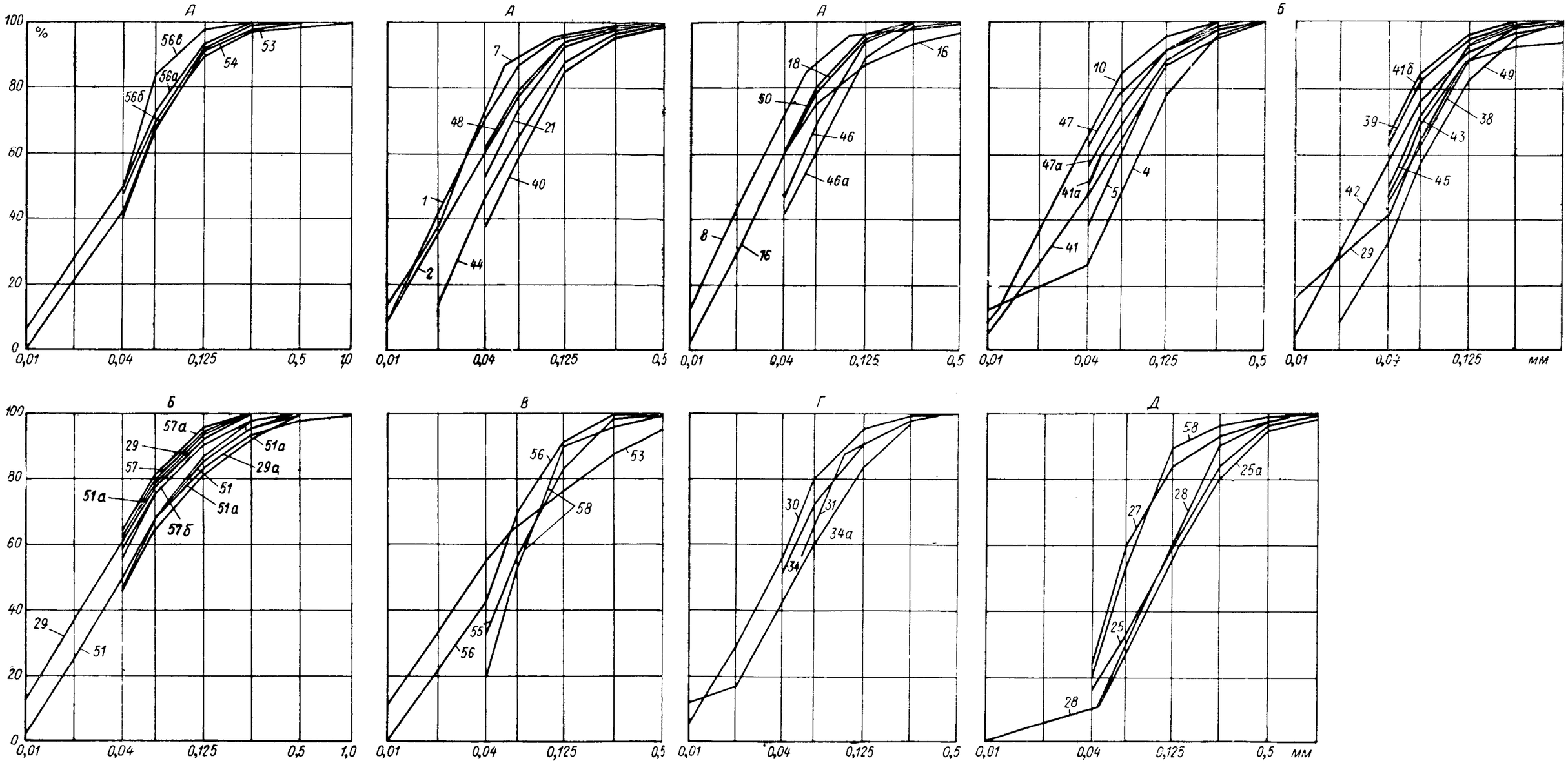

Рис. 1-2. Кривые гранулометрического состава золы золоуловителей (группа 1)

А, т*Б*, *В*—угольные топлива, *Г*—сланцы, *Д*—торф; топливо измельчалось: *А*—барабанно-шаровыми, *Б*—молотковыми мельницами, *В*—мелющими вентиляторами; *41*—батарейный циклон, *41а*—мокрый золоуловитель конструкции ОРГРЭС, *41б*—мокрый золоуловитель с трубой Вентури; *25*—центробежный скруббер, *25а*—батарейный циклон; *29* и *29а*—котлоагрегат паропроизводительностью 140 *т/ч* и 170 *т/ч*; *34*—котлоагрегат ЦКТИ, *34а*—котлоагрегат „Букау"; *46*—батарейный циклон, *46а*—мокрый прутковый золоуловитель; *47* —котлоагрегат „Дукла", *47а*—котлоагрегат БКЗ; *51*—котлоагрегат ТП; *51а*—котлоагрегат БКЗ; котлоагрегат ТП: *56*—мокрый золоуловитель с трубой Вентури (рис. *В*), *56а*—реттиховские угли, *56б*—подгородненские и партизанские угли, *56в*—реттиховские и подгородненские угли; *57*—котлоагрегат ЦКТИ, *57а* и *57б*—котлоагрегат БКЗ паропроизводительностью в момент отбора проб 140 и 170 *т/ч*.

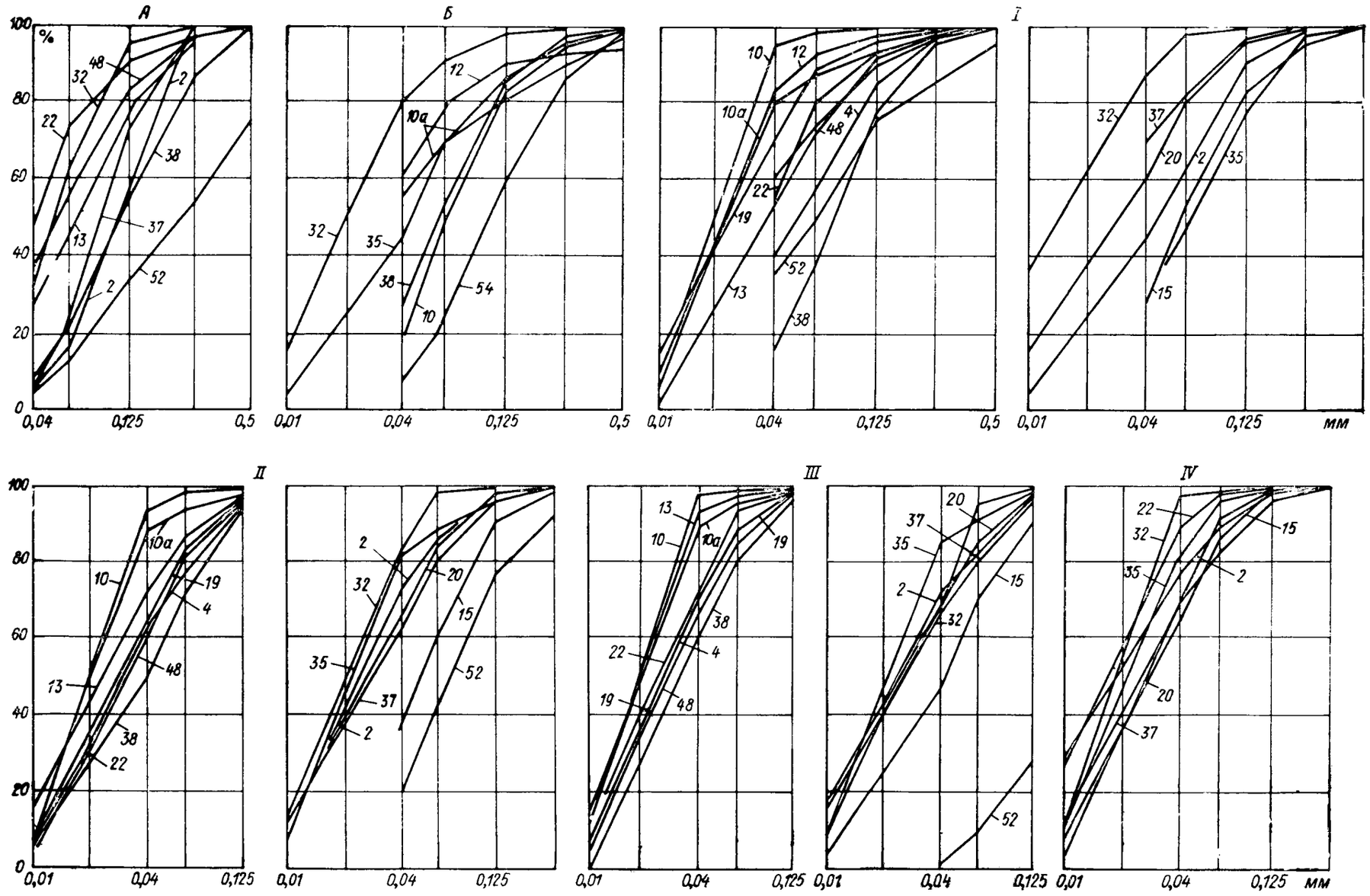

Рис. 1-3. Кривые гранулометрического состава комбинированных (двухступенчатых) золоуловителей (группа 2)
А, *Б* — инерционные золоуловители; *I*, *II*, *III* и *IV* — поля электрофильтров; *10* — котлоагрегат ТП; *10а* — котлоагрегат БКЗ.

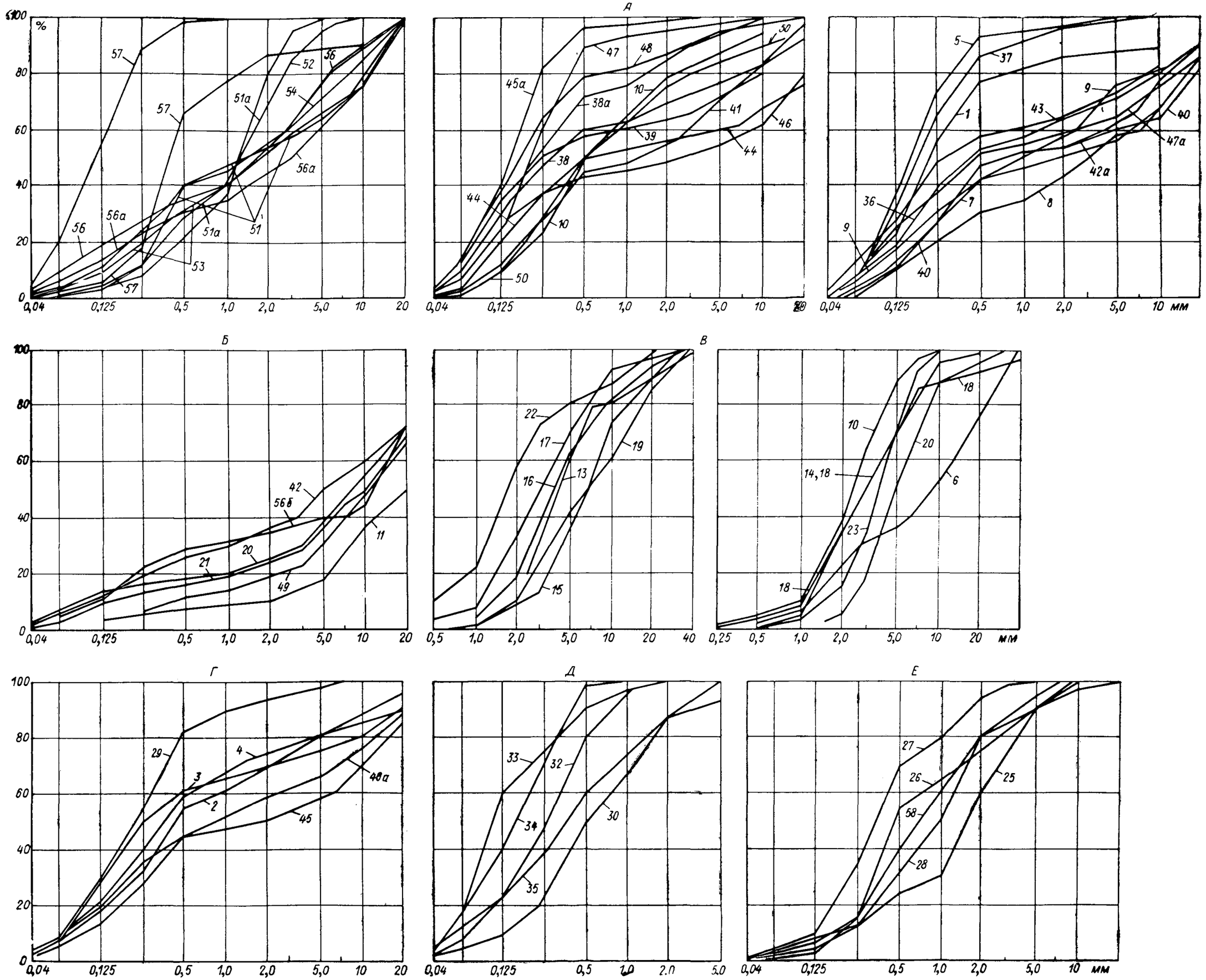

Рис. 1-4. Кривые гранулометрического состава шлака

А, Б, Г, Д, Е—твердый шлак; *В*—жидкий шлак; *А, Б, В, Г*—угольные топлива; *Е*—торф; *Д*—сланец; *А, Б, Д, Е*—неизмельченный шлак; *В, Г*—измельченный шлак; *А*—шлак мелкий и средней крупности; *Б*—крупный; *38*—удаление шлака транспортером; *38а* шнеком; *42*—котлоагрегат ТП; *42а*—котлоагрегат БКЗ; *46*—котлоагрегат ТП; *46а*—котлоагрегат БКЗ; *45*—котлоагрегат „Комбашен", *45а*—котлоагрегат БКЗ; *47*—котлоагрегат „Дукла", *47а*—котлоагрегат БКЗ; *51*—котлоагрегат БКЗ-160, *51а*—котлоагрегат БКЗ-220; котлоагрегат ТП: *56*—реттиховские и подгородненские угли, *56а*—партизанские и подгородненские угли, *56б*—котлоагрегат БКЗ (реттиховский уголь); *57*—котлоагрегат ЦКТИ, *57а*—котлоагрегат ВКЗ.

сти. Для золоуловителей второй группы необходимо определять фактические составы золы для каждого аппарата.

Для приготовления пылевидного топлива на ТЭС наиболее часто используют барабанно-шаровые и молотковые мельницы и крайне редко мелющие вентиляторы.

В настоящем приложении приводятся результаты изучения гранулометрического состава золы и шлака, полученных при сжигании различных твердых топлив на 58 ТЭС. Данные по составу золы, отобранной из различных по конструкции золоуловителей, приведены на рис. 1-1, 1-2 и 1-3, а по составу шлака — на рис. 1-4. Номер кривой гранулометрического состава соответствует порядковому номеру ТЭС, приведенному в табл. 1-1, где даются сведения об оборудовании ТЭС (марка котлоагрегата, на котором проводились исследования, конструкции золоуловителей и шлакоудаляющих устройств и пр.).

Для комбинированных золоуловителей, имеющих в качестве первой ступени очистки осадительную или форт-камеры, составы золы приводятся только на рис. 1-3, *А*, соответственно для батарейных циклонов — на рис. 1-3, *Б*.

Помимо приводимых на рис. 1-1, 1-2, 1-3 данных следует учитывать, что

зола, уловленная мокрыми золоуловителями, имеет более мелкий состав, чем зола, уловленная сухими золоуловителями;

зола торфа наиболее крупная, а зола ангренского угля наиболее мелкая из всех рассмотренных составов золы;

комбинированным золоуловителем более крупные фракции золы улавливаются на первой ступени очистки дымовых газов, а более мелкие — на второй; состав золы, уловленной вторым, третьим и четвертым полями электрофильтров, изменяется незначительно;

по составу зола, топливо которой измельчается барабанно-шаровыми мельницами, в целом является более мелкой, а зола топлив, измельчаемых мелющими вентиляторами, — наиболее крупной.

Средний состав золы, поступающей в смывные каналы из золоулавливающих устройств второй группы, вычисляется по проценту улавливания и по известному гранулометрическому составу проб золы на каждом золоулавливающем аппарате.

На современных ТЭС в зависимости от системы шлакоудаления из топок котлов образуются две разновидности шлака — твердый (сухой) и жидкий (расплавленный). Твердый шлак, как правило, получается при сжигании торфа и сланцев, а для топок с холодными воронками, кроме того, и при сжигании углей. Жидкий шлак получается в основном при сжигании в специальных топках донецкого, кузнецкого и некоторых других углей.

Таблица 1-1

Общие сведения о ТЭС (см. рис. 1-1, 1-2, 1-3, 1-4)

№ п.п	Род топлива	Наименование ТЭС	Тип котлоагрегата	Тип мельницы	Способ золоулавливания	Вид шлака	Смыв шлака	Устройства, удаляющие шлак из топок	Механизм измельчения шлака	Конструкция золоуловителей
1	Подмосковный уголь	Алексинская ТЭЦ	ПК ТП	БШМ ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	СТ	—	БЦ ОК+БЦ
2		Новомосковская ГРЭС	„Шихау" ЛМЗ БКЗ	БШМ ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	СД	БЦ ЖУ+БЦ ОК+4пГЭ
3		Черепетская ГРЭС (I очередь)	ТП	БШМ	Сухое	Сухой	Непрерывно	СТ	СД	—
4		Щекинская ГРЭС	СП ПК	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	ДТЭС	1пЭ БЦ+3пГЭ
5		Дорогобужская ГРЭС	ПК	ММ	Сухое	Сухой	Периодически	Шнеки	—	БЦ
6	Львовско-Волынский уголь	Бурштынская ГРЭС	ТП	БШМ	Сухое	Жидкий	Непрерывно	Шнеки	ДТЭС	4ПгЭ
7	Азейский уголь	Иркутская ТЭЦ-9	ТП	БШМ	Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	МЗ с ТВ
8	Черемховский уголь	Иркутская ТЭЦ-10	ТП	БШМ	Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	„
9	Смесь интинского и воркутинского углей	Кировская ГРЭС	ПК	БШМ	Мокрое	Сухой	Периодически	Вода	—	—

10	Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	ТП БКЗ	ММ	Сухое	Сухой Жидкий	Непрерывно	Шнеки	— СД	БЦ БЦ+3пГЭ ЦН+3пГЭ
11	Кузнецкий уголь	Новосибирская ТЭЦ-2	ЛМЗ	БШМ		Сухой	Периодически		—	
12	Донецкий уголь	ТЭЦ Ижорского завода	„Бабкок-Вилькокс“	Мельницы „Фуллера“	Сухое	Сухой	Периодически	Вода	—	БЦ+1пЭ
13		Ладыжинская ГРЭС	ТП	БШМ	Сухое	Жидкий	Непрерывно	Шнеки	СД	ФК+3пГЭ
14		Молдавская ГРЭС		БШМ	Мокрое	Жидкий	Непрерывно	СТ	СД	—
15		Новочеркасская ГРЭС	ТПП	БШМ	Сухое	Жидкий	Непрерывно	СТ	СД	4пГЭ
16		Старобешевская ГРЭС	ТП	БШМ	Мокрое	Жидкий	Непрерывно	„	ДТЭС	МЗ
17		Трипольская ГРЭС	ТПП	—	Сухое	Жидкий	Непрерывно	СТ	СД	—
18	Смесь донецких и кузнецких углей	Черепетская ГРЭС (II очередь)	ТПП	БШМ	Мокрое	Жидкий	Непрерывно	СТ	СД	3пВЭ
19	Кузнецкий уголь	Ленинградская ТЭЦ-14	ТП	БШМ	Сухое	Жидкий	Непрерывно	Шнеки	СД	3пГЭ
20		Ленинградская ТЭЦ-17	ТП БКЗ	ММ БШМ	Сухое	Сухой Жидкий	Периодически Непрерывно	Вода Шнеки	— ДТЭС	— ЖУ+4пГЭ
21		Новосибирская ТЭЦ-3 (I—III оч.)	ТП	БШМ	Сухое	Сухой	Периодически	Вода	—	БЦ

Продолжение табл. 1-1

№ п.п	Род топлива	Наименование ТЭС	Тип котлоагрегата	Тип мельницы	Способ золоулавливания	Вид шлака	Смыв шлака	Устройства, удаляющие шлак из топок	Механизм измельчения шлака	Конструкция золоуловителей
22	Назаровский уголь	Новосибирская ТЭЦ-3, IV очередь	БКЗ	ММ	Сухое	Жидкий	Непрерывно	Шнеки	СД	4пГЭ
23		Назаровская ГРЭС	ПК	ММ	—	Жидкий	Непрерывно	Шнеки	СД	
24	Торф	Ленинградская ТЭЦ-15	ТП	ММ	Мокрое и сухое	Сухой	Непрерывно	Вода	—	БЦ+ЦС
25		Кировская ГРЭС (Ленинградская обл.)	ПК	ММ	Мокрое и сухое	Сухой	Периодически	»	—	БЦ+ +ЦС
26		Шатурская ГРЭС	„Гарбе" „Стерлинг"	Нет ММ	Сухое	Сухой	Периодически	Вода	—	ОК+ОК+ +ЖУ
27		Рижская ТЭЦ	ТП		Сухое	Сухой	—	—	—	ЦС
28		Смолевичская ГРЭС	„Штейнмюллер"		Сухое	Сухой	Периодически	Вода	—	ЖУ
29	Харанорский уголь	Читинская ГРЭС	БКЗ	ММ	Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	МЗ с ТВ
30	Гдовский сланец	ТЭЦ г. Сланцы	БКЗ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Вода	—	БЦ
31	Кашпирский сланец	Сызранская ТЭЦ	ЦКТИ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Вода	—	

32	Эстонский сланец	Эстонская ГРЭС	ТП	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	СТ	—	КС+БЦ+ +П+4пГЭ
33		ТЭЦ г. Кохтла-Ярве	БКЗ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Вода	—	ОК+БЦ
34		ТЭЦ г. Ахтме	ЦКТИ „Букау" БКЗ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Вода	—	БЦ ОК+БЦ
35		Прибалтийская ГРЭС	ТП	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	БЦ+4пГЭ
36	Экибастузский уголь	Омская ТЭЦ-4	БКЗ	БШМ	Сухое	Сухой	Непрерывно	СТ	—	
37		Ермаковская ГРЭС	ПК	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	ФК+4пГЭ
38		Троицкая ГРЭС	ПК-14 ПК-39	ММ БШМ	Мокрое Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки, СТ	—	ЦС КК+ФК+ +БЦ+3пГЭ
39	Челябинский уголь	Челябинская ТЭЦ-2	БКЗ	ММ	Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	МЗ с ТВ
40		ТЭЦ Челябинского металлургического завода	ТП	БШМ	Сухое	Сухой	Периодически	Вода	—	БЦ
41		Южно-Уральская ГРЭС	ПК	ММ	Сухое Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	БЦ МЗ и МЗ с ТВ
42	Ташкумырский (более 50%) и др. киргизские угли	Ферганская ТЭЦ	ТП БКЗ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	БЦ

Продолжение табл. 1-1

№ п.п	Род топлива	Наименование ТЭС	Тип котлоагрегата	Тип мельницы	Способ золоулавливания	Вид шлака	Смыв шлака	Устройства, удаляющие шлак из топок	Механизм измельчения шлака	Конструкция золоуловителей
43	Кизил-кия (более 80%) и др. киргизские угли	Кувасайская ГРЭС	ЦКТИ	БШМ ММ	Сухое	Сухой	Периодически	Вода	—	ОК+БЦ БЦ
44	Ткварчельский и ткибульский угли	Ткварчельская ГРЭС	„Бабкок-Вильгокс"	БШМ	Мокрое	Сухой	Периодически	Вода	—	МЗ
45	Воркутинский уголь	Воркутинская ТЭЦ-1	„Комбашен" БКЗ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Вода	ДТЭС —	ОК+БЦ БЦ
46		Воркутинская ТЭЦ-2	ТП БКЗ	БШМ	Сухое Мокрое	Сухой	Периодически	Вода	— ДТЭС	БЦ МЗ
47	Печорский уголь	Интинская ТЭЦ	„Дукла" БКЗ	ММ	Сухое	Сухой	Непрерывно Периодически	Вода	—	БЦ
48	Карагандинский уголь (Куу-Чекинского разреза)	Алма-Атинская ГРЭС	БКЗ	БШМ	Мокрое Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	МЗ с ТВ ОК+3пГЭ
49	Гусиноозерский уголь	Улан-Удэнская ТЭЦ	БКЗ	ММ	Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	МЗ
50	Карагандинский уголь (Куу-Чекинского разреза)	Джезказганская ТЭЦ	„Бабкок-Вильгокс" ТП	БШМ	Сухое Мокрое	Сухой	Периодически Непрерывно	Вода Шнеки	—	ОК+БЦ ЦС

51	Райчихинский (75%) и харанорский (25%) угли	Хабаровская ТЭЦ-1	ТП БКЗ-160 БКЗ-210	ММ	Мокрое или сухое Мокрое	Сухой	Непрерывно	Вода Шнеки	—	МЗ или БЦ МЗ с ТВ
52	Реттиховский, харанорский и павловский угли	Владивостокская ТЭЦ-2	БКЗ	МВ	Сухое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	ФК+3пГЭ
53	Липовецкий, реттиховский, ургальский, артемовский и др. дальневосточные угли	Артемовская ГРЭС	„Комбашен" „Бабкок-Вилькокс" БКЗ	БШМ МВ БШМ	Сухое Мокрое Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	ОК+БЦ ЦС МЗ с ТВ
54	Лермонтовский уголь	Сахалинская ГРЭС	БКЗ	БШМ	Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	МЗ с ТВ
55	Быковский (60%), синегорский (20%) и др. угли Сахалинского месторождения	Южно-Сахалинская ТЭЦ-2	ЭЧМ УПИ	ММ МВ	Сухое+ мокрое Сухое	Сухой (слоевое сжигание)	Непрерывно	Вода	—	ОК+МЗ с ТВ БЦ
56	Реттиховский уголь Подгородненский и партизанский угли Подгородненский и реттиховский угли	Партизанская ГРЭС	БКЗ ТП ТП	БШМ или МВ БШМ	Мокрое или сухое Мокрое	Сухой	Непрерывно	Шнеки	—	БЦ или МЗ с ТВ МЗ с ТВ
57	Райчихинский уголь	Райчихинская ГРЭС	ЦКТИ БКЗ	ММ	Сухое Мокрое	Сухой	Периодически Непрерывно	Вода Шнеки	—	БЦ МЗ с ТВ
58	Тростниковый торф	Опытное сжигание	—	МВ	Сухое	Сухой	—	—	—	—

Примечание: БШМ и ММ—барабанно-шаровые и молотковые мельницы; МВ—мелющий вентилятор; ФК—форт-камера; ОК—осадительная камера; КС—камера Соболева; П—предполье; КК—конвективная камера; БЦ—батарейный циклон; ЦН—циклон НИИОГАЗ; 1, 2, 3, 4п—количество полей вертикального (В) или горизонтального (Г) электрофильтра (Э); ЖУ—жалюзийный золоуловитель; знак + —последовательное включение одного золоулавливающего аппарата в другой; МЗ—мокрый золоуловитель (пруткогый, конструкции ОРГРЭС); МЗ с ТВ—мокрый золоуловитель с трубой Вентури; СД—стандартные дробилки; ДТЭС—дробилки конструкции ТЭС; СТ—скребковый транспортер.

При твердом шлакоудалении в топках котлов может образоваться мелкий шлак (шлак торфа и сланцев) или достаточно крупный, но малопрочный шлак некоторых угольных топлив.

К последним относятся тугоплавкие шлаки [1], имеющие температуру размягчения $t_2 > 1350°$ С: шлаки экибастузского, карагандинского, ткибульского и ткварчельского, азейского, черемховского, райчихинского и некоторых других углей. Для разрушения крупных включений этой разновидности твердого шлака обычно достаточно шлакоудаляющих устройств (шнеки, ленточные транспортеры); специального дробления в этих случаях не применяют.

Твердые среднеплавкие шлаки ($t_2 = 1350—1250°$ С) и легкоплавкие ($t_2 < 1250°$ С) — шлаки гусиноозерского, кузнецкого, киргизского и других углей при периодическом сбросе и небольшом выходе от каждого котлоагрегата, обычно не измельчают.

С целью исключения попадания в багерные насосы и пульпопроводы крупных включений шлака в смывном канале обычно устанавливают решетку. Не прошедшие через решетку крупные куски шлака отбираются и измельчаются с помощью дробилок, устанавливаемых в котельном помещении. Во всех других случаях среднеплавкий и легкоплавкий твердый шлак угольных топлив, а также жидкий шлак измельчают дробилками.

Поступающий в систему ГЗУ шлак разделен на пять групп: I — шлак торфа; II — шлак сланцев; III — шлак угольных топлив твердый измельченный; IV — то же, неизмельченный и V — жидкий шлак. Твердый неизмельченный шлак угольных топлив в свою очередь разделен на три подгруппы: мелкий, средняя крупность которого d_{50} в основном не превышает 0,5 *мм*; средней крупности и крупный ($d_{50} > 5$ *мм*). К мелким шлакам относятся тугоплавкие шлаки, а к крупным — легкоплавкие. Данные по гранулометрическому составу шлака различных твердых топлив приведены на рис. 1-4.

Обобщение данных по гранулометрическому составу золошлаковых материалов показало следующее: зола в основном представлена фракциями 0,01—0,1 *мм*. Средняя крупность золы изменяется незначительно $d_{50} = 0{,}02 \div 0{,}07$ *мм*; коэффициенты разнозернистости $\eta_1 = d_{60}/d_{10} = 4 \div 6$, $\eta_2 = d_{90}/d_{10} = 6 \div 10$, где d_{10}, d_{60}, d_{90} — диаметры частиц, соответствующие 10-, 60- и 90-процентной обеспеченности кривой гранулометрического состава. Гранулометрический состав шлака представлен в основном фракциями 0,25—20 *мм* при максимальном размере отдельных частиц 40—60 *мм*. Средняя крупность и коэффициенты разнозернистости для жидкого шлака: $d_{50} = 2{,}5 \div 9{,}0$ *мм*, $\eta_1 = 4 \div 6$, $\eta_2 = 5 \div 10$; для твердого шлака средней крупности при отсутствии дробилок: $d_{50} = 0{,}12 \div 10$ *мм*, $\eta_1 = 10—60$, $\eta_2 = 20 \div 120$, а при наличии дробилок— $d_{50} = 0{,}25 \div 4{,}0$ *мм*, $\eta_1 = 70 \div 90$, $\eta_2 = 150 \div 200$.

---

[1] В данном приложении определение шлака дается в соответствии с теплотехнической классификацией.

Таблица 1-2

Характеристики гранулометрического состава золы

Пылеугольные мельницы и золоуловители	d_{90}, *мм*			d_{50}, *мм*			d_{10}, *мм*		
	макс.	средн.	миним.	макс.	средн.	миним.	макс.	средн.	миним.
I группа золоуловителей									
Угольные топлива и сланцы:									
барабанно-шаровые мельницы	0,2	0,12	0,063	0,054	0,039	0,025	0,014	0,01	—
молотковые мельницы	0,22	0,16	0,095	0,06	0,045	0,029	0,02	0,01	—
мелющие вентиляторы	0,35	0,24	0,12	0,06	0,04	0,035	0,025	0,017	0,01
Торф:									
молотковые мельницы	0,35	0,25	0,18	0,1	0,08	0,055	0,04	0,025	—
2 группа золоуловителей									
Инерционные золоуловители									
Последовательность включения:									
1-й аппарат	0,4	0,25	0,1	0,2	0,12	0,035	0,05	0,04	0,02
2-й аппарат	0,2	0,12	0,08	0,063	0,04	0,025	0,015	0,014	0,012
3-й аппарат	0,15	—	—	0,043	—	—	0,012	—	—
Комбинированные золоуловители									
Последовательность включения:									
инерционный золоуловитель . .	0,3	0,18	0,06	0,1	0,05	0,02	0,04	0,02	—
горизонтальные электрофильтры:									
1-е поле	0,2	0,1	0,04	0,08	0,04	0,015	0,03	0,015	—
2-е поле	0,15	0,08	0,039	0,05	0,03	0,02	0,012	0,01	—
3-е поле	0,12	0,07	0,035	0,04	0,03	0,02	0,012	0,01	—
4-е поле	0,09	0,06	0,035	0,028	0,023	0,018	0,011	0,01	—

В табл. 1-2 приводятся основные показатели гранулометрического состава золы, а в табл. 1-3 — шлака. Для каждого из показателей даны три значения — минимальное, среднее и максимальное. При выборе расчетных показателей гранулометрического состава золы и шлака надлежит руководствоваться следующим:

1) для золы минимальные значения следует принимать при сжигании на ТЭС ангренских углей и эстонских сланцев, а

Таблица 1-3

Характеристики гранулометрического состава шлака

Шлаковый материал		d_{90}, *мм*			d_{50}, *мм*			d_{10}, *мм*		
		макс.	средн.	миним.	макс.	средн.	миним.	макс.	средн.	миним.
Твердый измельченный	Угольные топлива	24,0	20,0	15,0	2,0	0,6	0,3	0,09	0,08	0,07
Твердый неизмельченный:										
мелкий		15,0	8,0	0,4	0,5	0,25	0,15	0,07	0,06	0,05
средней крупности		—	—	20,0	3,0	1,5	0,25	0,12	0,09	0,06
крупный		—	—	20,0	20,0	9,0	5,0	2,5	0,25	0,09
Жидкий измельченный		30,0	10,0	6,0	9,0	4,0	1,8	2,5	1,5	0,5
Сланец		2,5	1,5	0,4	0,55	0,3	0,11	0,125	0,08	0,05
Торф		5,0	3,5	1,7	1,5	0,9	0,35	0,25	0,18	0,12

также для двухступенчатых золоуловителей при наличии в качестве первой ступени высокоэффективных золоулавливающих устройств; максимальные — для золоулавливающих аппаратов с небольшим коэффициентом полезного действия при поддержании на коронирующих электродах электрофильтров пониженного напряжения, а также при неисправности отдельных элементов золоуловителей и механизмов пылеприготовления;

2) для шлака максимальные значения следует принимать при работе котлоагрегата в максимальном режиме, для неизмельченного шлака при его удалении из шлаковых шахт и холодных воронок водой или ленточным транспортером.

Данные о гранулометрическом составе золы и шлака могут быть использованы при расчетах, когда на ТЭС имеет место раздельное гидрозолоудаление. При совместном удалении золошлаковых материалов их гранулометрический состав может быть получен с помощью пересчета по известному содержанию золы и шлака в общем количестве золошлаковых материалов ТЭС.

Агрегатный удельный вес

Для золошлаковых материалов с замкнутыми порами, заполненными, как правило, воздухом, различают удельный (γ) и агрегатный удельный (γ_a) веса.

Агрегатным (кусковым) удельным весом называется отношение веса куска материала естественной крупности G к его объему W_0:

$$\gamma_a = \frac{G}{W_0}.$$

Агрегатный удельный и удельный веса связаны между собой зависимостью

$$\gamma_a = \gamma (1 - n_a),$$

где n_a — относительная величина объема замкнутых пор в частицах, в долях единицы.

Для золошлаковых материалов характерно следующее:

разница между агрегатным удельным весом и удельным весом вещества тем больше, чем крупнее частицы;

агрегатный удельный вес твердого шлака одного топлива для частиц равного размера меньше, чем жидкого.

В виде примера приводим табл. 1-4, в которой помещены результаты определения величин γ, γ_a и n_a для частиц различного размера золошлакового материала подмосковного угля. В табл. 1-5 приведены величины γ, γ_a и n_a для шлака различных твердых топлив такого состава, который непосредственно получается на ТЭС.

Таблица 1-4

Значения γ, γ_a и n_a для шлака подмосковного угля

Размер частиц, *мм*	Удельный вес, *г/см³*	Агрегатный удельный вес, *г/см³*	n_a, %
40—20	2,82	2,20	21
20—10	2,81	2,25	20
10—5	2,80	2,23	20
5—1	2,74	2,52	8
1—0,5	—	2,72	—
0,25—0,125	2,80	2,75	2

Относительный объем замкнутых пор для шлака при расчетах может быть принят по данным табл. 1-5. Относительный объем замкнутых пор для фракций, эквивалентных по крупности золе, не превышает 4—5%. Это указывает на то, что для золы агрегатный удельный вес и собственно удельный вес в первом приближении можно принимать равными, т. е. $\gamma_a = \gamma$.

Золошлаковые материалы ввиду их специфических свойств характеризуются средним агрегатным удельным весом γ_a и коэффициентом неоднородности агрегатного удельного веса k_a.

Таблица 1-5

Значения γ, γ_a и n_a для шлака твердых топлив различных ТЭС

Вид шлака	Наименование ТЭС	Вид сжигаемого угля	Удельный вес, $г/см^3$	Средний агрегатный удельный вес, $г/см^3$	n_a, %
Жидкий шлак	Ленинградская ТЭЦ-17	Кузнецкий	2,55	2,50	2
	Молдавская ГРЭС	Донецкий	2,81	2,65	6
	Бурштынская ГРЭС	Львовско-Волынский	2,83	2,67	5,5
	Ангренская ГРЭС	Ангренский	2,96	2,92	1,5
	Назаровская ГРЭС	Ирша-бородинский	3,45	3,15	9
				Среднее	~5
Твердый шлак	Сахалинская ГРЭС	Лермонтовский	2,13	1,93	9,5
	Алма-Атинская ГРЭС	Угли Куу-Чекинского разреза Карагандинского месторождения	2,16	2,06	4,5
	Челябинская ТЭЦ-2	Челябинский	2,23	2,04	9
	Воркутинская ТЭЦ-2	Воркутинский	2,28	2,12	7
	Партизанская ГРЭС	Подгородненский и партизанский	2,29	1,78	22,5
	Ткварчельская ГРЭС	Ткварчельский и ткибульский	2,57	2,36	8,5
	Интинская ТЭЦ	Печорский	2,41	2,40	0,5
	Райчихинская ГРЭС	Райчихинский	2,53	2,45	3,0
	Иркутская ТЭЦ-10	Черемховский	2,50	1,96	22
	Ленинградская ТЭЦ-17	Кузнецкий	2,55	1,90	26
	Омская ТЭЦ-4	Экибастузский	2,56	2,15	16
	Читинская ГРЭС	Черновский и харанорский	2,57	1,66	35
	Ангренская ГРЭС	Ангренский	2,57	2,48	3,5
	Кировская ГРЭС	Интинский и воркутинский	2,59	2,07	23
	Улан-Удэнская ТЭЦ	Гусиноозерский	2,61	1,74	33,5
	Ферганская ТЭЦ	Ташкумырский и др. киргизские	2,61	1,90	27
	Иркутская ТЭЦ-9	Азейский	2,67	1,94	27
	Новомосковская ГРЭС	Подмосковный	2,68	2,59	3,5
	Щекинская ГРЭС	Подмосковный	2,81	2,76	2
				Среднее	~15

Средний агрегатный удельный вес пробы золошлакового материала, состоящего из совокупности неоднородных частиц, — физическая величина, равная отношению веса всех кусков естественной крупности в пробе $\Sigma Q_в$ к их объему ΣW:

$$\overline{\gamma_a} = \frac{\Sigma Q_в}{\Sigma W}.$$

В табл. 1-6 приведены значения средних агрегатных удельных весов золы и шлака многих твердых топлив, рекомендуемых для практического пользования.

Таблица 1-6

Пределы значений $\overline{\gamma_a}$ золы и шлака различных твердых топлив

Род топлива	Средний агрегатный удельный вес, *г/см*³		
	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, гусино-озерский	2,4—2,3	2,3—1,7	—
кизил-кияский и др. киргизские угли	2,4—2,25	2,3—2,15	—
челябинский	2,3—2,1	2,2—2,1	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	—	—
реттиховский, подгородненский, 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	—
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 обл.	3,1	2,90	—
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	—
гдовский	2,8	2,8	—
кашпирский	2,75	2,8	—

Таблица 1-7

Значения γ_a и процент содержания магнитных и немагнитных составляющих золы и шлака различных твердых топлив

Наименование ТЭС и род топлива	Вид золошлаковых материалов	Агрегатный удельный вес составляющих в золе и шлаке, г/см³		Содержание в золе и шлаке составляющих, %		Коэффициент неоднородности агрегатного удельного веса золы и шлака, $k_a=\gamma_a'/\gamma_a''$
		магнитных γ_a'	немагнитных γ_a''	магнитных	немагнитных	
Новосибирская ТЭЦ-3 (ирша-бородинский уголь)	Зола	4,27	3,02	7,7	92,3	1,41
	Жидкий шлак	—	—	0,3	99,7	—
Ангренская ГРЭС (ангренский уголь)	Зола	—	—	0,0	100	—
	Жидкий шлак	3,76	2,90	4,1	95,9	1,31
Ферганская ТЭЦ (ташкумырский и др. киргизские угли)	Зола	3,64	2,30	7,8	92,2	1,58
	Шлак	3,68	2,50	7,4	92,6	1,47
Райчихинская ГРЭС (райчихинский уголь)	Зола	3,06	2,34	6,7	93,3	1,31
	Шлак	3,60	2,48	10,2	89,8	1,45
Новомосковская ГРЭС (подмосковный уголь)	Зола	3,30	2,29	13,8	86,2	1,45
	Шлак	3,22	2,57	11,6	88,4	1,22
Ткварчельская ГРЭС (ткибульский и ткварчельский уголь)	Зола	3,09	2,28	2,2	97,8	1,36
	Шлак	3,38	2,03	3,0	97,0	1,63
Улан-Удэнская ТЭЦ (гусиноозерский уголь)	Зола	3,27	2,28	12,8	87,2	1,43
	Шлак	2,57	2,28	5,1	94,9	1,14
Кувасайская ГРЭС (кизил-кияский и др. киргизские угли)	Зола	2,94	2,22	8,6	91,4	1,33
	Шлак	3,37	2,05	2,3	97,7	1,64
Воркутинская ТЭЦ-2 (воркутинский уголь)	Зола	2,96	2,04	8,5	91,5	1,42
	Шлак	3,22	1,88	7,0	93,0	1,72
Челябинская ТЭЦ-2 (челябинский уголь)	Зола	3,27	2,17	7,2	92,8	1,51
	Шлак	2,76	2,06	18,9	81,1	1,34

Троицкая ГРЭС (экибастузский уголь)	Зола Шлак	— 3,05	— 2,07	25,0 3,3	75,0 96,7	— 1,48
Сахалинская ГРЭС (лермонтовский уголь)	Зола Шлак	3,14 2,52	1,92 2,09	5,0 7,9	95,0 92,1	1,64 1,21
Интинская ТЭЦ (печорский уголь)	Зола Шлак	2,93 3,09	2,24 2,32	11,6 7,4	88,4 92,6	1,31 1,33
Алма-Атинская ГРЭС (угли куучекинского разреза карагандинского месторождения)	Зола Шлак	— 3,10	— 2,05	3,3 5,4	96,7 94,6	— 1,51
Бурштынская ГРЭС (львовско-волынский уголь)	Зола	3,14	2,32	25	75,0	1,35
Аркагалинская ГРЭС (аркагалинский уголь)	Зола	3,00	2,18	9,2	90,8	1,38
Трипольская ГРЭС (донецкий уголь)	Зола	3,01	2,17	12,5	87,5	1,39
Партизанская ГРЭС (подгородненский и партизанский угли)	Зола Шлак	— —	— —	0,4 1,0	99,6 99,0	— —
Братская ТЭЦ (азейский уголь)	Зола	—	—	13,0	87,0	—
Читинская ГРЭС (харанорский уголь)	Зола Шлак	— —	— —	1,5 2,9	98,5 97,1	— —
Старобешевская ГРЭС (донецкий уголь)	Жидкий шлак	2,77	2,66	1,5	98,5	1,04
Ленинградская ТЭЦ-17 (кузнецкий уголь)	Жидкий шлак	—	—	0,6	99,4	—
ТЭЦ г. Сланцы (гдовский сланец)	Зола	—	—	2,0	98,0	—
Прибалтийская ГРЭС (эстонский сланец)	Зола	—	—	1,7	98,3	—
Шатурская ГРЭС (торф)	Зола	3,21	2,64	2,8	97,2	1,22
Тростниковый торф (опытное сжигание)	Зола	—	3,25	0,0	100,0	—

Если известен химический состав золошлаковых материалов, то их удельный вес может быть вычислен по рекомендациям приложения 3.

Коэффициент неоднородности агрегатного удельного веса для пробы золошлакового материала, состоящей из совокупности разнородных частиц, — отношение наиболее тяжелой (магнитной γ_a') к наиболее легкой (немагнитной γ_a'') фракции:

$$k_a = \frac{\gamma_a'}{\gamma_a''}.$$

Коэффициент неоднородности агрегатного удельного веса для золы и шлака 1,2÷1,5.

Содержание магнитной и немагнитной составляющих в золе и шлаке твердых топлив приведено в табл. 1-7.

В табл. 1-8 приводятся данные по среднему агрегатному удельному весу золы, отобранной после комбинированных золоуловителей, из которых следует, что изменения среднего агрегатного удельного веса золы по ходу очистки дымовых газов для горизонтально установленных золоуловителей практически не наблюдается.

Таблица 1-8

Значения $\overline{\gamma_a}$ золы твердых топлив для комбинированных золоуловителей

Наименование ТЭС и род топлива	Комбинированные золоуловители				
	Инерционные	Электрофильтры			
		1 поле	2 поле	3 поле	4 поле
Ангренская ГРЭС (ангренский уголь)	2,78*	2,50	2,56	2,59	—
	2,39**	2,47	2,43	2,46	—
Ермаковская ГРЭС (экибастузский уголь)	2,06	2,18	2,06	2,13	2,17
Новосибирская ТЭЦ-3, IV оч. (назаровский уголь)	3,06	3,16	3,14	3,17	3,21
Ленинградская ТЭЦ-17 (кузнецкий уголь)	—	2,18	2,18	2,12	2,12
Алма-Атинская ГРЭС (карагандинский уголь)	2,05	2,07	2,05	2,14	—
Новомосковская ГРЭС (подмосковный уголь)	2,83	2,42	2,33	—	2,38
Эстонская ГРЭС (эстонский сланец)	3,12	2,97	2,94	2,99	3,00
Бурштынская ГРЭС (львовско-волынский уголь)	—	2,28	2,35	2,46	2,47

* Котлоагрегат с твердым шлакоудалением.

** Котлоагрегат с жидким шлакоудалением.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАМЫТЫХ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Объемный вес скелета

Объемный вес скелета ($\gamma_{ск}$) намытого на золоотвалах материала вычисляется по следующей формуле:

$$\gamma_{ск} = \overline{\gamma}_{aL}(1 - n),$$

где n — пористость отложений; $\overline{\gamma}_{aL}$ — средний агрегатный удельный вес отложений, образовавшихся на золоотвале на различных расстояниях от места выпуска пульпы (величина $\overline{\gamma}_{aL}$ для отложений на золоотвалах обычно изменяется в больших пределах) [1].

Объемный вес скелета отложений изменяется по длине откоса намыва в соответствии с закономерностями фракционирования (раскладки) золошлакового материала по крупности и среднему агрегатному удельному весу.

Настоящим «Руководством» регламентирован учет фракционирования золошлаковых материалов по крупности по зонам, для чего в разделе 4 приведены формулы, с помощью которых ориентировочно определяется граница между шлаковой и зольной зонами, а также зольной зоной и отстойным прудом. Расчетная величина объемного веса скелета намытого материала по зонам определяется с помощью следующих формул:

в пределах шлаковой зоны

$$\gamma_{ск.\,ш} = \overline{\gamma}_{а.\,ш}(1 - n_{ш}),$$

в пределах зольной зоны

$$\gamma_{ск.\,з} = \overline{\gamma}_{а.\,з}(1 - n_{з}),$$

в пределах отстойного пруда

$$\gamma_{ск.\,оп} = \overline{\gamma}_{а.\,о.\,п}(1 - n_{о.\,п}),$$

где $\gamma_{а.\,ш}$ и $n_{ш}$, $\overline{\gamma}_{а.\,з}$ и $n_{з}$, $\overline{\gamma}_{а.\,о.\,п}$ и $n_{о.\,п}$ — осредненные величины агрегатного удельного веса и пористости отложений соответственно в шлаковой и зольной зонах надводного откоса намыва и отстойного пруда.

Величины $\gamma_{ск}$ по зонам фракционирования на золоотвалах разрешается принимать по данным табл. 2-1, а на шлакоотвалах по данным табл. 2-2.

Для определения объемного веса отложений в состоянии естественной влажности выше поверхности фильтрационного потока рекомендуется пользоваться следующей формулой:

$$\gamma_{w} = \gamma_{ск}\left(1 + \frac{w}{100}\right),$$

где w — естественная весовая влажность в процентах, которая на большинстве золоотвалов принимается 10%.

---

[1] **Гольдина Т. М., Пантелеев В. Г.** Об агрегатном удельном весе золошлаковых материалов на золоотвалах ТЭС. — Сборник докладов по гидротехнике, № 11, 1970, с. 314—324.

Таблица 2-1

Осредненные по зонам фракционирования значения среднего агрегатного удельного веса, объемного веса скелета и пористости отложений на золоотвалах

Род топлива	Наименование ТЭС	Надводный намыв						Подводный намыв		
		Шлаковая зона			Зольная зона					
		$\overline{\gamma}_a$, г/см³	$\overline{\gamma}_{ск}$, г/см³	n, %	$\overline{\gamma}_a$, г/см³	$\overline{\gamma}_{ск}$, г/см³	n, %	$\overline{\gamma}_a$, г/см³	$\overline{\gamma}_{ск}$, г/см³	n, %
Донецкий уголь	Молдавская ГРЭС*	—	—	—	2,35	1,20	49	2,25	1,05	53
	Трипольская ГРЭС*	2,60	1,5	42	—	—	—	—	—	—
	Новочеркасская ГРЭС*	2,50	1,60	37	2,37	1,15	51	—	—	—
	Старобешевская ГРЭС*	2,50	1,65	34	2,20	1,10	50	—	1,10	—
	Ярославская ТЭЦ-2*	2,60	1,70	35	2,40	1,10	54	2,24	0,75	66
	Осредненные данные	2,55	1,60	37	2,30	1,15	50	2,25	1,00	60
Ирша-Бородинский уголь	Назаровская ГРЭС*	3,10	1,60	48	—	—	—	—	—	—
Львовско-Волынский уголь	Бурштынская ГРЭС*	—	—	—	2,35	1,25	47	2,35	1,00	58
	Добротворская ГРЭС	—	—	—	2,30	1,00	57	2,30	0,90	61
	Осредненные данные	2,50	1,45	42	2,32	1,10	53	2,30	0,95	60
Подмосковный уголь	Щекинская ГРЭС	2,70	1,20	55	2,35	0,90	62	—	—	—
	Новомосковская ГРЭС	2,80	1,30	53	2,35	1,10	53	2,20	1,00	55
	Осредненные данные	2,75	1,25	54	2,35	1,00	58	2,20	1,00	55
Экибастузский уголь	Средне-Уральская ГРЭС	2,50	1,00	60	2,25	0,80	65	—	—	—
	Троицкая ГРЭС	2,50	1,10	56	2,30	1,00	57	—	—	—
	Омская ТЭЦ-4	—	—	—	2,20	0,80	64	—	—	—
	Осредненные данные	2,50	1,05	58	2,25	0,90	60	—	—	—

Азейский уголь	Иркутская ТЭЦ-9	2,60	1,20	55	2,25	0,90	60	—	—	—
Черемховский уголь	Иркутская ТЭЦ-10	2,60	1,20	55	2,25	0,90	60	—	—	—
Харанорский уголь	Читинская ГРЭС	—	1,20	—	2,25	0,90	60	2,20	0,75	65
Кузнецкий уголь	Новосибирские ТЭЦ-2 и 3	—	—	—	—	0,85	—	—	0,80	—
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	—	—	—	2,45	0,90	63	2,25	0,65	70
Ташкумырский (более 50%), шурабский, кизил-киякский, кок-янгакский, алмалыкский, сулюктинский угли	Ферганская ТЭЦ	2,95	1,60	46	2,30	0,80	65	2,22	0,50	75
Кизил-кияский (более 80%), алмалыкский, кок-янгакский, ташкумырский угли	Кувасайская ГРЭС	—	—	—	2,30	0,80	65	2,30	0,75	67
Карагандинский уголь	Фрунзенская ТЭЦ	2,40	1,30	46	2,10	0,80	62	2,10	0,60	71
Карагандинский уголь Куу-чекинского разреза	Алма-Атинская ГРЭС	2,40	0,90	73	2,15	0,70	70	2,10	0,70	70
Челябинский уголь	Южно-Уральская ГРЭС	3,20	1,45	55	2,18	0,84	62	2,23	0,98	56
Воркутинский уголь	Воркутинская ТЭЦ-1	2,16	0,60	72	2,16	0,55	75	2,10	0,55	74
	Воркутинская ТЭЦ-2	2,35	0,96	60	2,20	0,81	63	2,15	0,81	63
	Осредненные данные	2,25	0,80	66	2,18	0,68	68	2,12	0,68	68

Продолжение табл. 2-1

Род топлива	Наименование ТЭС	Надводный намыв						Подводный намыв		
		Шлаковая зона			Зольная зона					
		$\overline{\gamma}_a$, г/см³	$\overline{\gamma}_{ск}$, г/см³	n, %	$\overline{\gamma}_a$, г/см³	$\overline{\gamma}_{ск}$, г/см³	n, %	$\overline{\gamma}_a$, г/см³	$\overline{\gamma}_{ск}$, г/см³	n, %
Печорский уголь	Интинская ТЭЦ	2,35	1,20	50	2,30	1,00	57	2,26	0,85	62
Райчихинский уголь	Хабаровская ТЭЦ-2	2,95	1,35	55	2,40	0,95	60	2,22	0,70	68
	Райчихинская ГРЭС	2,90	1,50	50	2,50	0,95	62	2,45	0,90	63
	Осредненные данные	2,92	1,42	52	2,45	0,95	61	2,34	0,80	65
Лермонтовский уголь (месторождение о. Сахалин)	Сахалинская ГРЭС	2,80	1,25	55	2,10	0,75	65	1,97	0,65	67
Липовецкий, реттиховский, артемовский и др. угли	Артемовская ГРЭС	2,50	1,05	58	2,15	0,85	60	2,10	0,90	57
Реттиховский, подгороднен-ский, партизанский угли	Партизанская ГРЭС	2,29	1,20	48	2,17	0,80	62	2,20	0,87	60
Сланец (эстонских, гдовских, кашпирских месторождений)	Эстонская ГРЭС	—	—	—	2,92	1 00	66	2,83	—	—
	Прибалтийская ГРЭС	2,88	1,20	58	2,90	1,00	66	2,70	—	—
	ТЭЦ г. Сланцы	—	—	—	2,74	0,93	66	2,72	—	—
	Сызранская ГРЭС	—	—	—	2,71	—	—	—	—	—
	Осредненные данные	2,88	1,20	58	2,82	1,00	66	2,75	—	—
Торф (Ленинградской, Ярославской обл. и Белорусской ССР)	Кировская ГРЭС (Ленинградской обл.)	2,70	1,20	56	2,65	0,70	74	2,36	0,30	87
	Ярославская ТЭЦ-1	3,10	1,40	55	2,82	0,80	72	2,88	0,30	90
	Смолевичская ГРЭС	2,75	1,30	53	2,70	1,00	63	2,60	0,55	80
	Осредненные данные	2,90	1,30	55	2,73	0,83	70	2,60	0,40	85

* На ТЭС в топках всех котлоагрегатов получался жидкий шлак (см. стр. 78).

Таблица 2-2

Осредненные значения среднего агрегатного удельного веса, объемного веса скелета и пористости отложений на шлакоотвалах

Род топлива	Наименование ТЭС	$\overline{\gamma_a}$, г/см³	$\gamma_{ск}$, г/см³	n, %
	Твердый шлак			
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	2,50	1,15	54
Львовско-Волынский уголь	Добротворская ГРЭС	2,25	1,15	50
Челябинский уголь	ТЭЦ Челябинского металлургического з-да	2,20	0,80	64
	Южно-Уральская ГРЭС	2,30	0,80	65
	Осредненные данные	2,25	0,80	65
Быковский и синегорский угли	Южно-Сахалинская ТЭЦ-2	1,90	0,80	58
	Жидкий шлак			
Донецкий и кузнецкий угли	Черепетская ГРЭС	2,55	1,55	40
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	2,55	1,30	49
Львовско-Волынский уголь	Бурштынская ГРЭС	2,45	1,45	41

Примечание. На Южно-Уральской ГРЭС шлаковый выпуск расположен на золоотвале.

Определение объемного веса в водонасыщенном состоянии ниже поверхности фильтрационного потока (вес одной единицы объема грунта вместе с водой) производится по формуле

$$\gamma_{вн} = \gamma_{ск} + n\gamma_в,$$

где $\gamma_в$ — удельный вес воды.

Объемный вес взвешенного в воде материала:

$$\gamma_{взв} = \gamma_{ск} - (1 - n)\,\gamma_в.$$

Коэффициент фильтрации

На основании обобщения данных лабораторных и полевых исследований рекомендуются следующие расчетные осредненные величины коэффициента фильтрации для намытого золошлакового материала по зонам золоотвала, *м/сут*:

Шлаковая зона . . . . . 1—10
Зольная зона . . . . . 0,1—1
Зона отстойного пруда . . . . . ⩽0,1

Намытые на надводном откосе золошлаковые отложения обладают слоистой структурой, вследствие чего они по фильтрационным свойствам являются анизотропными, т. е. коэффициент фильтрации вдоль напластований (k_s) выше, чем нормально к ним (k_n). Коэффициент анизотропии для намытого золошлакового материала обычно составляет

$$A = \frac{k_s}{k_n} = 2 \div 5.$$

Модуль деформации отложений [1]

Модуль деформации отложений является характеристикой, необходимой для расчета осадок возводимых на намытых отложениях сооружений (например, дамб наращивания), и определяется методом статических нагрузок стандартными штампами площадью 600 и 5000 *см*^{2} (по ГОСТ 12374-66. «Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками»). Модуль деформации E вычисляется по следующей формуле:

$$E = (1 - \mu^2)\,\omega D \frac{\Delta P}{\Delta S},\ кгс/см^2,$$

где μ — коэффициент бокового расширения, принимаемый для расчетов величины E равным 0,30; ω — безразмерный коэффициент, равный 0,8; D—диаметр штампа, *см*; ΔP — приращение удельной нагрузки, *кгс/см*^{2}; ΔS — приращение осадки, *см*.

Таблица 2-3

Модули деформации

Интервалы нагрузок, *кгс/см*^{2}	Шлаковые отложения	Зольные отложения		
	Консолидированные и свеженамытые	Консолидированные	Свеженамытые	Консолидированные
0—1	Надводный намыв		Подводный намыв	
	260—100	170—20	5—2	70—10
1—2	260—10	100—10	—	—
2—3	260—10	—	—	—

Примечания: 1. Значения модулей деформации (*кгс/см*^{2}) получены в опытах со штампами площадью 5000 *см*^{2}.

2. Минимальные значения модуля деформации в каждом столбце относятся к наиболее неблагоприятным случаям формирования отложений из нецементирующейся золы.

[1] **Пантелеев В. Г.** Исследования деформативных свойств золошлаковых материалов с помощью штампов. — «Известия ВНИИГ», т. 106, 1974.

Опытами на золоотвалах было установлено влияние на несущую способность основания условий намыва, крупности материала отложений и продолжительности их нахождения на золоотвале. В табл. 2-3 приводятся значения модулей деформации отложений, которые рекомендуются в первом приближении для практических расчетов. Модули деформации для консолидированных отложений в несколько раз больше, чем для свеженамытых, причем свеженамытые зольные отложения обладают минимальной несущей способностью.

Все вышеизложенное относится к золошлаковым материалам, которые почти не содержат цементирующих минералов или содержат их в небольшом количестве и не приобретают структурную прочность во времени.

Коэффициент сжимаемости

При расчете осадок основания, сложенного из золошлакового материала, при отсутствии полевых исследований в качестве характеристики деформативности используют коэффициент сжимаемости (a, $см^2/кгс$).

$$a = \frac{\varepsilon_{i-1} - \varepsilon_i}{\sigma_i - \sigma_{i-1}} = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta\sigma},$$

где σ_i и σ_{i-1} — удельные давления (нагрузки) для различных ступеней загружения в компрессионном приборе; ε_i и ε_{i-1} — соответствующие указанным давлениям коэффициенты пористости, значения которых берутся с компрессионной кривой.

На основании исследований в компрессионных приборах было установлено, что намытые на золоотвалах отложения в зависимости от их свойств и состояния можно разделить на следующие:

1) сильносжимаемые ($a>0{,}1$ $см^2/кгс$) — свеженамытые зольные отложения надводного и подводного намывов, не обладающие сцеплением и не содержащие в своем составе шлаковых фракций;

2) сжимаемые ($a=0{,}1$—$0{,}001$ $см^2/кгс$) — отложения, обладающие сцеплением до 0,4 $кгс/см^2$ или же содержащие в своем составе достаточно большое количество шлаковых фракций (более 10%);

3) слабосжимаемые ($a<0{,}001$ $см^2/кгс$) — зольные или золошлаковые отложения, обладающие сцеплением более 0,5—0,7 $кгс/см^2$.

Исследованиями было установлено весьма большое влияние на деформативные свойства намытого материала величины сцепления (C) и весового (относительного) содержания шлаковых фракций в общем составе золошлаковых отложений ($P_{шл}$).

Для вычисления координат компрессионной кривой при ее аналитическом построении для зольных и шлаковых отложений рекомендуется следующая формула:

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i} = \begin{cases} 1 \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots & \text{при } \sigma_i \leqslant C + P_б \text{ [1]} \\ 1 + 3{,}23\left(\dfrac{\sigma_i - C - P_б}{R_{сж}}\right)^{\Sigma k} \ldots & \text{при } \sigma_i > C + P_б, \end{cases} \qquad (2\text{-}1)$$

где ε_0 — начальный коэффициент пористости отложений; Σk — показатель степени:

$$\Sigma k = 0{,}72 - 0{,}14 w_0 - 0{,}29 \cdot (1 - D') + 530 \cdot \frac{C}{R_{сж}} + 0{,}52 \cdot P_{шл} \cdot \sqrt[3]{\eta'}, \qquad (2\text{-}2)$$

где $\eta' = \dfrac{d_{60}}{d_{мин.\ шл}}$ — коэффициент разнозернистости шлаковых фракций; $d_{мин.\ шл}$ — минимальная крупность частиц шлака, равная 0,25 *мм*; $P_б = \gamma_w h$ — бытовое давление; γ_w, h — соответственно, объемный вес и высота слоя отложений выше изучаемого фрагмента намытого золошлакового материала; $w_0 = w \dfrac{\gamma_{ск}}{\gamma_в}$ — объемная влажность (в долях единицы); w — весовая влажность; $\gamma_в$ — удельный вес воды; C — сцепление; $R_{сж} = 1000$ *кгс/см²* — размерный коэффициент пропорциональности; $D' = \dfrac{\gamma_{ск} - \gamma_{пр.\ р}}{\gamma_{пр.\ пл} - \gamma_{пр.\ р}}$ — плотность сложения отложений; $\gamma_{ск}$, $\gamma_{пр.\ р}$, $\gamma_{пр.\ пл}$ — объемные веса скелета в естественном, предельно-рыхлом и предельно-плотном состояниях.

Величину D^1 рекомендуется принимать для шлаковой и зольной зон надводного намыва 0,3—0,4, для отложений в пределах отстойного пруда — 0,0—0,1.

Формулу для показателя степени Σk можно записать упрощенно:

$$\Sigma k = 0{,}72 - 0{,}14 \cdot w_0 - 0{,}29\,(1 - D') + 530 \cdot \frac{C}{R_{сж}} + 0{,}77 \cdot P_{шл}. \qquad (2\text{-}3)$$

Учитывая, что для свеженамытых зольных отложений бытовое давление $P_б$ и сцепление C равны нулю, то для этого случая уравнение компрессионной кривой (2—1) и зависимость (2—3) существенно упрощаются.

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i} = 1 + 3{,}23 \cdot \left(\frac{\sigma_i}{R_{сж}}\right)^{\Sigma k}.$$

Показатель степени для отложений надводного намыва может быть принят равным $\Sigma k = 0{,}42$, а для отложений подводного намыва $\Sigma k = 0{,}39$.

Пример вычисления координат компрессионной кривой. Намытый на золоотвале материал характеризуется следующими показателями:

сцепление $C = 0{,}93$ *кгс/см²*;

плотность отложений $D' = 0{,}03$;

---

[1] Экспериментально установлено, что величина сцепления для самоцементирующихся зольных отложений близка к структурной прочности.

объемная влажность $w_0 = 0{,}50$;

весовое относительное содержание шлаковых фракций в общем составе отложений $P_{шл} = 0{,}022$;

начальный коэффициент пористости $\varepsilon_0 = 1{,}634$.

Определение координат компрессионной кривой. Вычисляем по формуле (2—3) показатель степени $\Sigma k = 0{,}72 - 0{,}14 \cdot 0{,}5 - 0{,}29 \cdot (1 - 0{,}03) + 530 \cdot 0{,}93/1000 + 0{,}77 \cdot 0{,}022 = 0{,}88$.

Задаемся удельными нагрузками σ_i, для которых необходимо вычислить коэффициенты пористости сжимаемого материала ($\sigma_i = 1{,}0 \div 5{,}0$ *кгс/см²*). Поскольку испытуемый материал имеет сцепление, то для нагрузок $\sigma_i \leqslant 0{,}93$ *кгс/см²* коэффициенты пористости будут приблизительно равны начальному, т. е. $\varepsilon_0 = \varepsilon_i = 1{,}634$. Определяем по формуле (2-1) коэффициенты пористости для выбранных удельных нагрузок. Вычисления сведены в табл. 2-4.

Таблица 2-4

Вычисление координат компрессионной кривой

σ_i, *кгс/см²*	$\frac{\sigma_i - C}{R_{сж}}$	$\lg \frac{\sigma_i - C}{R_{сж}}$	$\lg \frac{\sigma_i - C}{R_{сж}}$	Σk	$\lg\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i} - 1\right) = -\lg 3{,}23 + \Sigma k \lg \frac{\sigma_i - C}{R_{сж}}$	$\lg\left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i} - 1\right)$	$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i} - 1$	$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_i}$	ε_i
1	0,00007	$\bar{5}{,}8451$	—4,1549		—3,1471	$\bar{4}{,}8529$	0,0007	1,0007	1,633
2	0,00107	$\bar{3}{,}0294$	—2,9706		—2,1049	$\bar{3}{,}8951$	0,0078	1,0078	1,621
3	0,00207	$\bar{3}{,}3160$	—2,6840	0,88	—1,8572	$\bar{2}{,}1473$	0,0140	1,0140	1,611
4	0,00307	$\bar{3}{,}4871$	—2,5129		—1,7021	$\bar{2}{,}2979$	0,0199	1,0199	1,602
5	0,00407	$\bar{3}{,}6096$	—2,3904		—1,5943	$\bar{2}{,}4057$	0,0255	1,0255	1,593

Сопротивляемость отложений сдвигу

Прочность золошлаковых отложений в полевых условиях определяется статическим зондированием (пенетрометрами), динамическим зондированием (установкой УБП-15) и с помощью сдвигомера-крыльчатки.

При проведении исследований полевыми методами выявляется влияние на прочностные свойства отложений особенностей их структуры, изменения плотности и упрочнения отложений во времени, например вследствие цементационных процессов и т. д. Указанные методы исследований позволили изучить свеженамытые (на работающих секциях отвала) и консолидированные отложения (на законсервированных секциях), а также отложения, образовавшиеся при подводном намыве.

На основании выполненных исследований установлено:

1) зольные отложения, как правило, менее прочные по сравнению со шлаковыми;

2) отложения на золоотвалах характеризуются неодинаковой прочностью по глубине, что объясняется спецификой гидравлического складирования золошлаковых материалов и условиями эксплуатации золоотвалов, особенностями формирования отложений — при намыве образуются, так называемые, русловые и пойменные отложения,[1] различающиеся по составу и плотности, неодинаковостью процесса цементации отложений и др.

Вследствие невозможности определения полевыми методами важнейших характеристик отложений: угла внутреннего трения и сцепления — прочность отложений изучалась также в лаборатории на односрезных приборах конструкции Гидропроекта.

При исследованиях были приняты следующие схемы испытаний и условия проведения опытов[2]:

сдвиг замедленный (дренированный);

максимальная удельная вертикальная нагрузка 3—5 *кгс/см*^{2};

структура сложения испытуемого материала ненарушенная, в некоторых опытах нарушенная (в этом случае при проведении среза плотность образца задавалась равной естественной);

опыты проводились в водном окружении и без воды;

в каждой серии испытаний бралось, как правило, три одинаковых образца.

При обработке результатов измерений в зависимости от физико-механических свойств исследованных образцов и условий проведения опытов серии испытаний на сдвиг были объединены в г р у п п ы, для каждой из которых по методу наименьших квадратов вычислялись значения прочностных характеристик отложений — угол внутреннего трения φ и сцепление C:

зольные и шлаковые отложения;

отложения, имеющие пористость 35—45, 45—55, 55—65, 65—75, 75—85%;

отложения нарушенной и ненарушенной структуры, свеженамытые и консолидированные;

сдвиг осуществлялся в водном окружении и без воды;

для отложений ненарушенной структуры;

вдоль напластований и нормально к ним.

Исследованиями было установлено следующее.

1. Угол внутреннего трения зольных отложений ненарушенной структуры практически не зависит от крупности слагающего их материала и пористости.

2. Угол внутреннего трения зависит от зональной раскладки намытого материала по крупности — шлаковые отложения, как правило, имеют угол внутреннего трения на 2—3° больше, чем зольные.

---

[1] **Пантелеев В. Г.** Процесс намыва на золошлакоотвалах. Информэнерго, № 0044-73, серия 18а-04, 1973.

[2] **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.

3. Удельная сила сцепления у цементирующихся зольных отложений тем больше, чем продолжительнее они хранятся на открытом воздухе при отсутствии намыва и чем больше в составе складируемых зольных материалов содержится химических компонентов, таких как CaO, MgO, $CaSO_4$ и др., способствующих цементации. Сцепление у свеженамытых зольных отложений (или у отложений нарушенной структуры) равно нулю.

4. Слоистая структура отложений оказывает влияние на величину сцепления — сцепление при ориентировке плоскости сдвига нормально к слоям больше, нежели параллельно им.

5. Величина сцепления у цементирующихся зольных отложений тем больше, чем меньше толщина слоя отложений, образовавшихся при непрерывной подаче пульпы на золоотвал.

6. Угол внутреннего трения золошлаковых отложений одного топлива изменяется в широких пределах. Так, например, для отложений золы торфа и ирша-бородинских углей разница между максимальными и минимальными значениями угла внутреннего трения составила около 20°, а у отложений золы кузнецкого угля — 15°.

Опытами в сдвиговых приборах, так же как и полевыми методами испытаний, подтверждена неодинаковость прочностных свойств намытого на золоотвалах материала. Кроме особенностей намыва различие прочностных свойств объясняется также спецификой золошлаковых материалов — наличием в отложениях недожога, низкой прочностью шлака, различием химико-минералогического состава, наличием связанной воды и пр.

Таблица 2-5

Значения φ и C для намытых отложений на золоотвалах

Род топлива	Наименование ТЭС	Угол внутреннего трения 95%-й обеспеченности, *град*		Сцепление (для консолидированных отложений), *кгс/см²*
		Зольная зона	Шлаковая зона	
Экибастузский уголь	Омская ТЭЦ-4	30	32	0,10
	Средне-Уральская ГРЭС	27	30	0,10
Черновский и харанорский угли	Читинская ГРЭС	29	32	0,10
Гусиноозерский уголь	Улан-Удэнская ТЭЦ	28	—	—
Львовско-Волынский уголь	Добротворская ГРЭС	27	30	0,10
	Бурштынская ГРЭС	25	28	0,10
Подмосковный уголь	Щекинская ГРЭС	25	28	0,10
Донецкий уголь	Молдавская ГРЭС	25	28	0,10
Азейский и черемховский угли	Иркутские ТЭЦ-9 и ТЭЦ-10	24	26	0,40
Ирша-Бородинский уголь	Назаровская ГРЭС	23	25	0,50
Кузнецкий уголь	Новосибирские ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3	21	24	0,15
Торф	Смолевичская ГРЭС	20	22	0,25

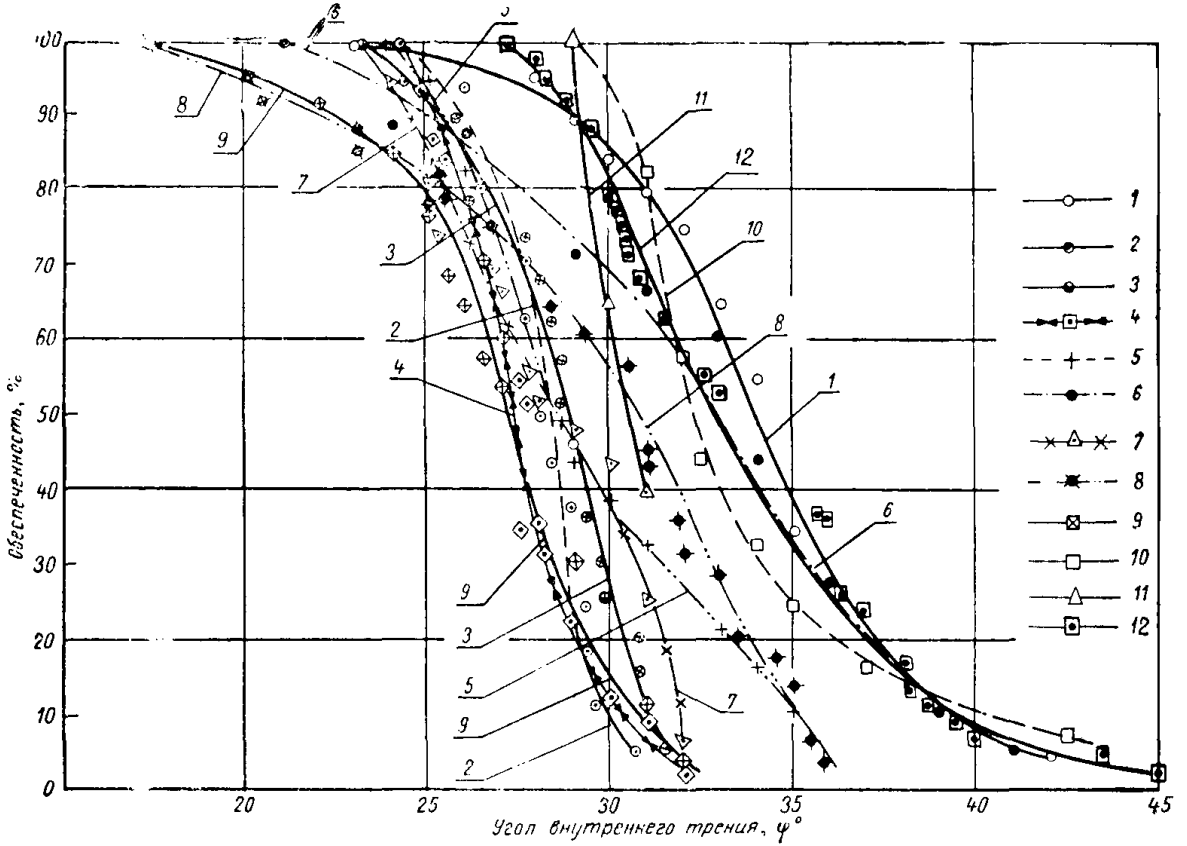

Рис. -21. Графики обеспеченности угла внутреннего трения золошлаковых материалов различных твердых топлив

1—Средне-Уральская ГРЭС; *2*—Бурштынская ГРЭС; *3*—Добротворская ГРЭС; *4*—Молдавская ГРЭС; *5*—Щекинская ГРЭС; *6*—Назаровская ГРЭС; *7*—Иркутские ТЭЦ-9 и ТЭЦ-10; *8*—Смолевичская ГРЭС; *9*—Новосибирские ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3; *10*—Омская ТЭЦ-4; *11*—Читинская ГРЭС; *12*—Улан-Удэнская ТЭЦ.

При назначении расчетных характеристик прочности на сдвиг для отложений, образовавшихся при намыве на золоотвалах, была использована методика, основанная на статистической обработке результатов массовых испытаний — построение графиков обеспеченности. Для угла внутреннего трения по сериям испытаний золошлаковых материалов как одного, так и различных твердых топлив, указанные графики приведены на рис. 2-1. Учитывая изложенное при расчете устойчивости откосов, сложенных из золошлаковых отложений, угол внутреннего трения рекомендуется принимать обеспеченностью 95% (с учетом указаний главы СНиП на основные положения проектирования строительных конструкций и оснований) по данным табл. 2-5.

Расчетные значения удельной силы сцепления следует принимать для свеженамытых зольных и шлаковых отложений равными нулю, для консолидированных — согласно табл. 2-5.

Определение сцепления для цементирующихся отложений в каждом конкретном случае производится по данным аналогов или на основании специальных исследований.

Распределение золы по крупности в пределах отстойного пруда

При подводном намыве частицы золы осаждаются в отстойном пруде при достаточно больших глубинах и весьма малых скоростях течения воды, когда поток практически не оказывает никакого «силового воздействия» на поверхность отложений. Такие отложения характеризуются низкой плотностью, отсутствием слоистости и относительно однозернистым составом.

В отстойном пруде золоотвала по длине зоны осаждения, так же как и на надводном откосе намыва, имеет место распределение складируемого материала по крупности. На основании опытных намывов в лабораторном лотке и данных исследований на золоотвалах работающих ТЭС получена следующая формула для определения средней крупности $d_{50}^{н}$ отложений золы, по длине зоны осаждения в отстойном пруде [1]:

$$d_{50}^{н} = 0{,}001\left(\frac{15}{\sqrt[4]{\left(\frac{x_н}{\Delta L}+1\right)^3}}+4\right)\cdot\frac{\Pi_{исх}\sqrt[4]{\mathrm{Re}_{исх}}}{\frac{\gamma_в}{\gamma_{а\,исх}-\gamma_в}}, \qquad (2\text{-}4)$$

где $x_н$ — расстояние от места втекания потока пульпы в отстойный пруд до створа, где определяется средняя крупность отложений, *м*; ΔL — размерный параметр, равный 1 *м*; $\Pi_{исх} = \left(d_{50}\cdot\frac{d_{90}}{d_{10}}\right)_{исх}$ — параметр гранулометрического состава при расчетах следует брать на основании данных аналогов (табл. 2-6); $\mathrm{Re}_{исх} = \frac{v_0 h}{\nu}$ — число Рейнольдса потока в месте его втекания

[1] **Пантелеев В. Г.** Физико-механические характеристики отложений золы в отстойных прудах золоотвалов ТЭС. — «Известия ВНИИГ», т. 92, 1970, с. 373—389.

Таблица 2-6

Параметры потока пульпы и характеристики твердой фазы в месте втекания в отстойный пруд

Род топлива	Наименование ТЭС	Длина надводного откоса намыва, *м*	d_{50}, *мм*	$\frac{d_{90}}{d_{10}}$	$\overline{\gamma_д}$, *г/см³*	Гидравлическая крупность, *см/сек*	Глубина потока, *см*
Донецкий уголь	Молдавская ГРЭС	485	0,026	10	2,45	0,04	12
	ТЭЦ Ижорского завода	280	0,031	8,4	2,12	0,03	30
	Ленинградская ТЭЦ-17	380	0,030	11,3	2,20	0,03	15
	Старобешевская ГРЭС						
	вып. 1	400	0,040	—	2,11	0,05	11
	вып. 2	150	0,043	—	2,03	0,05	5
Кузнецкий уголь	Новосибирские ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3	350	0,030	10	—	—	7
	Ленинградская ТЭЦ-2	450	0,025	9	2,30	0,03	17
	Ленинградская ТЭЦ-14	300	0,024	12,2	2,23	0,03	30
Подмосковный уголь	Щекинская ГРЭС						
	вып. 1	425	0,024	10	—	—	11
	вып. 2	525	0,025	10	2,30	0,03	7
	Новомосковская ГРЭС	100	0,040	—	2,30	0,06	7
Черновский и харанорский угли	Читинская ГРЭС	400	0,030	12	—	—	16
Торф	Ленинградская ТЭЦ-8	1000	0,028	4,8	2,43	0,04	27
Азейский уголь	Иркутская ТЭЦ-9	400	0,023	10	—	—	10
Черемховский уголь	Иркутская ТЭЦ-10	125	0,030	8	—	—	12

в отстойный пруд; v_0, h, ν — средняя скорость (табл. 10), глубина (табл. 2-6) и коэффициент кинематической вязкости золонесущего потока; $\overline{\gamma_{а\ исх}}$ — средний агрегатный удельный вес твердой фазы в потоке в месте его втекания в отстойный пруд, который следует принимать равным $\gamma_а$ для отложений зольной зоны подводного намыва по табл. 2-1, либо по данным аналогов (табл. 2-6); $\gamma_в$ — удельный вес воды.

Коэффициент кинематической вязкости золонесущего потока при расчетах следует принимать как для чистой воды.

Пример расчета средней крупности отложений. Дано: характеристика гранулометрического состава золы $П_{исх}=0{,}3$ *мм*, $\gamma_{а.\ исх}=2{,}2$ *г/см*^{3}, $Re=19000$.

Требуется определить, какую среднюю крупность будут иметь отложения в отстойном пруде, удаленные на $x_н=120$ *м* от места втекания потока. Расчет выполняется по формуле (2-4). Ответ: $d_{50}^{н}=0{,}025$ *мм*.

Приложение 3

ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Вопросы, связанные с использованием золошлаковых материалов в народном хозяйстве, с прогнозом поведения намывных гидротехнических сооружений из золы и шлака, с эксплуатацией систем гидрозолоудаления и возможностью сброса этих вод в водоемы общего водопользования, не могут быть решены без знания химико-минералогического состава золошлаковых материалов и физико-химических процессов в системе «зола—вода—воздух».

Данные по химическому составу зол, имеющиеся почти для всех видов твердых топлив Союза (табл. 3-1), не отражая реально существующей комбинации элементов — минералогии — не дают возможности точно предусмотреть их поведение в различных системах.

Минералогия золошлаковых материалов

Золы электрических станций являются полидисперсными и полиминеральными системами. Их минеральный состав определяется чрезвычайно сложной и разнообразной минералогией топлив и в некоторой степени технологическим режимом их сжигания.

Золы являются трехфазными системами, представленными стеклообразной, кристаллической и органической фазами. Стеклообразная фаза является продуктом незавершенных равновесных процессов, проходящих в топке котлов. По данным отечественных и зарубежных исследователей, стеклообразная фаза — существенная часть зол, шлаки же представлены преимущественно стеклом. Состав стекол сложен и весьма разнообразен. Золы

Таблица 3-1

Химический состав золошлаковых материалов твердых топлив

Группа топлив (по ВТИ)	Районы СССР	Наименование месторождения	Наименование топлива	Теплотехническая характеристика топлива			Содержание окислов в пересчете на сухое вещество, %						
				Зольность, %	Низшая теплота сгорания, *ккал/кг*	Теоретическая температура сгорания, °С	$CaO+MgO$	Na_2O+K_2O	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	SO_3
I	Эстонская ССР	Кохтла-Ярве	Сланцы	48,0	2470	1830	53,0	3,0	28,0	9,4	0,6	6,0	—
	РСФСР, Красноярский край	Барандатское	Бурый уголь	7,0	3540	—	46,0	1,0	24,0	10,0	—	8,0	(11,0)
	РСФСР, Красноярский край	Катуйское	Каменный уголь (Д)	8,0	5710	—	43,5	1,5	15,6	13,4	—	11,5	(14,5)
	РСФСР, Якутия	Сангарское	„	13,0	5500	—	42,2	1,0	29,0	12,7	0,1	9,7	(5,8)
	РСФСР, Канск	Назаровское	Бурый уголь	12,0	3110	—	37,0	1,0	31,0	13,0	—	18,0	—
	РСФСР, Канск	Ирша-Бородинское	„	9,0	3740	1840	31,0	1,0	47,0	13,0	—	8,0	—
	РСФСР, Канск	Итатское	„	6,8	3060	—	31,0	1,0	30,0	11,0	—	12,0	(15,0)
	Киргизская ССР	Сулюктинское	„	15,0	4380	1960	28,9	0,9	27,9	15,7	—	11,3	(15,3)
	РСФСР, Якутия	Согинское	„	6,0	3260	—	28,8	2,3	18,0	13,2	—	20,0	(17,7)
	Узбекская ССР	Ангренское	„	17,5	3310	1810	27,9	3,6	32,1	21,5	—	14,9	—
	РСФСР, Канск	Боготольское	„	12,0	2820	—	27,0	1,0	30,0	11,0	—	12,0	(19,0)
	РСФСР, Якутия	Джеборикихая	Каменный уголь (Д)	12,5	5500	—	24,7	1,0	39,4	20,1	0,7	9,5	(4,7)
	Таджикская ССР	Шурабское (1)	Бурый уголь	12,5	3750	1910	24,5	1,3	37,0	10,4	0,1	9,6	(17,0)

	РСФСР, Читинская обл.	Харанорское	Бурый уголь	14,5	2980	—	23,6	2,6	42,7	17,9	0,3	6,4	(6,5)
	Казахская ССР	Ленгерское	„	19,0	3700	1900	23,5	1,5	37,2	14,4	0,3	20,5	(0,4)
	Киргизская ССР	Кизил-Кия	„	13,5	4090	1920	20,3	2,8	25,5	17,0	0,3	17,0	(17,0)
	„	Кара-Киче	„	10,0	4730	—	19,8	1,1	29,3	17,0	0,4	14,8	(17,9)
	„	Джергалинское	Каменный уголь (Д)	16,0	5240	—	19,5	2,2	37,1	15,5	0,3	10,5	(12,4)
I	РСФСР, Кемеровская обл.	Томь-Усинское разрезы 3—4, 7—8	Каменный уголь	19,0	5570	—	19,0	2,2	44,0	27,0	0,8	7,0	—
	РСФСР, Хабаровский край	Райчихинское	Бурый уголь	10,5	3150	1760	16,7	1,0	37,3	25,6	—	19,4	—
	УССР	Александрийское	„	27,0	1780	1350	15,7	—	43,5	16,5	—	8,2	(16,7)
	РСФСР, Читинская обл.	Черновское	„	11,5	3830	1870	15,0	1,4	47,3	17,6	0,4	9,9	(8,4)
	РСФСР, Кемеровская обл.	Красногорское	Каменный уголь	19,0	5080	—	15,0	2,4	45,0	25,5	0,2	3,9	—
	РСФСР, Башкирия	Бабаевское	Бурый уголь	—	—	—	14,5	1,6	57,4	19,6	1,9	5,0	—
	УССР	Христофорское	„	17,0	2020	—	13,6	1,0	53,0	14,5	—	8,7	(9,0)
	Узбекская ССР	Алмалык	„	21,0	3850	—	13,4	1,2	38,0	28,0	1,8	11,0	(8,5)
II	РСФСР, Кемеровская обл.	Бойдаевское	Каменный уголь (Д)	8,0	5850	—	12,5	0,7	44,1	25,7	—	9,0	(8,0)
	Киргизская ССР	Ташкумыр	„	14,0	5180	2060	12,5	1,6	50,6	19,5	0,7	9,5	(5,0)
	УССР	Коломыйское	Бурый уголь	24,0	3860	1880	12,4	2,4	48,7	16,9	—	9,9	(9,7)
	РСФСР, Кемеровская обл.	Кузнецкий бассейн	Каменный уголь (ОС)	16,5	6640	2090	12,1	2,4	57,6	19,9	—	2,6	(5,4)
	РСФСР, Кемеровская обл.	„	Каменный уголь (Д)	9,5	5960	2090	11,2	3,5	53,4	23,8	—	8,1	—

Продолжение табл. 3-1

Группа топлив (по ВТИ)	Районы СССР	Наименование месторождения	Наименование топлива	Теплотехническая характеристика топлива			Содержание окислов в пересчете на сухое вещество, %						
				Зольность, %	Низшая теплота сгорания, *ккал/кг*	Теоретическая температура сгорания, °С	$CaO+MgO$	Na_2O+K_2O	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	SO_3
II	РСФСР, Красноярский край	Норильское	Каменный уголь (СС)	28,0	5410	—	10,6	2,8	54,1	23,7	0,6	5,9	(3,7)
	РСФСР, Иркутская обл.	Тулунское	Бурый уголь	—	—	—	10,5	0,8	51,6	29,5	0,2	7,4	—
	РСФСР, Читинская обл.	Арбагарское	„	21,0	3320	1920	10,4	2,4	50,2	19,7	0,5	9,5	(7,3)
	УССР	Донецкий бассейн	Каменный уголь (Т)	13,0	4520	—	10,1	1,5	39,8	26,6	—	22,0	—
	РСФСР, Кемеровская обл.	Кузнецкий бассейн	Каменный уголь (СС) шахтн. добыча	—	—	—	10,0	3,0	53,5	21,0	0,5	12,0	—
	РСФСР, Иркутская обл.	Азейское	Бурый уголь	13,0	4520	—	10,0	0,8	49,0	28,0	0,2	7,0	(5,0)
III	РСФСР, Кемеровская обл.	Бачатское	Каменный уголь	8,0	6340	—	9,6	1,6	50,0	28,0	0,8	10,0	—
	УССР	Донецкий бассейн	„ (Ж)	17,0	6460	2130	9,6	1,4	37,6	25,1	—	20,8	(5,5)
	УССР	Волынское	„ (Г)	17,0	5570	1880	9,5	2,0	40,0	25,4	0,6	22,5	—
	РСФСР, о. Сахалин	Макарьевское	„ (Ж)	13,0	6830	—	9,5	2,4	55,5	24,5	0,5	4,5	(4,5)

	РСФСР, Кемеровская обл.	Грамотеинское	Каменный уголь	13,5	5970	—	9,0	4,3	58,2	23,8	—	6,7	—
	РСФСР, Иркутская обл.	Черногорское	„ (Д)	13,5	5390	—	8,7	1,4	45,8	29,2	—	11,7	(3,4)
	РСФСР, Магаданская обл.	Бухта Угольная	„ (Г)	17,0	5650	—	8,6	1,7	46,0	22,5	—	16,0	(8,6)
	РСФСР, г. Воркута	Интинское	„ (Д)	28,0	4410	2020	8,2	2,3	55,1	21,5	—	12,9	—
	Грузинская ССР	Ткварчельское	„ (Ж)	33,0	4000	2030	8,1	2,2	56,1	30,9	1,2	5,1	—
	РСФСР, Читинская обл.	Букачачинское (2)	„ (Г)	10,0	6450	2110	8,0	2,0	49,0	24,5	—	11,2	(8,0)
	РСФСР, Кемеровская обл.	Кузнецкий бассейн	Каменный уголь (Г)	11,0	6320	2080	7,9	2,1	49,2	25,4	—	15,4	—
	РСФСР, Челябинская обл.	Коркинское	Бурый уголь	38,0	2960	1800	7,8	2,0	48,6	23,4	—	14,4	(3,8)
III	РСФСР, Бурятия	Гусиноозерское	„	17,0	4270	1970	7,8	3,6	50,0	23,2	0,8	11,8	(2,7)
	Казахская ССР	Карагандинское	Каменный уголь	—	—	—	7,5	4,0	50,0	25,0	1,5	12,0	—
	РСФСР, Якутия	Буор-Кемюсское	„ (Ж)	12,0	6510	—	7,5	0,7	58,1	24,7	0,3	4,8	(4,1)
	РСФСР, Приморье	Реттиховское	Бурый уголь	18,0	2480	—	7,4	2,2	51,6	28,4	0,6	9,8	—
	РСФСР, Кемеровская обл.	Кузнецкий бассейн	Каменный уголь (СС) открытая добыча	—	—	—	7,0	2,0	56,0	26,0	1,0	8,0	—
	РСФСР, Челябинская обл.	Челябинское	Бурый уголь	—	—	—	7,0	3,0	52,0	25,0		13,0	—
	РСФСР, о. Сахалин	Лермонтовское	„	15,0	4490	—	6,7	1,2	56,0	27,0	0,8	7,1	(1,2)
	РСФСР, Магаданская обл.	Нижнеаркагалинское	Каменный уголь (Д)	16,0	5630	—	6,5	3,0	53,0	21,9	0,3	12,6	(3,4)

Продолжение табл. 3-1

Группа топлив (по ВТИ)	Районы СССР	Наименование месторождения	Наименование топлива	Теплотехническая характеристика топлива			Содержание окислов в пересчете на сухое вещество, %						
				Зольность, %	Низшая теплота сгорания, *ккал/кг*	Теоретическая температура сгорания, °С	$CaO+MgO$	Na_2O+K_2O	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	SO_3
III	РСФСР, Приморье	Сучанское	Каменный уголь (Г)	30,5	5050	2100	6,3	2,6	63,6	22,8	0,6	4,1	—
	РСФСР, Приморье	Сучанское	„ (Т)	—	—	—	6,2	4,4	60,4	23,3	0,6	5,1	—
	РСФСР, Приморье	Артемовское	Бурый уголь	21,0	3660	1830	6,2	4,9	57,3	27,2	0,6	3,8	—
	РСФСР, г. Воркута	Воркутинское	Каменный уголь (Ж)	19,0	6130	2120	6,1	2,7	60,0	22,0	0,5	8,7	—
	РСФСР	Подмосковный бассейн	Бурый уголь	34,0	2570	1720	6,1	—	48,2	37,7	—	8,0	—
	РСФСР, Приморье	Подгородненское	Каменный уголь (Т)	24,0	5790	2110	6,1	4,3	58,6	22,7	0,6	5,0	(2,6)
	УССР	Донецкий бассейн	„ (АШ+АСШ)	—	—	—	6,0	5,0	52,0	22,0	—	15,0	—
	РСФСР, Кемеровская обл.	Листвянское	Бурый уголь	18,0	5570	—	6,0	4,5	57,0	23,0	0,3	7,0	(3,0)
	РСФСР, Свердловская обл.	Буланшское	Каменный уголь (Г)	22,0	5200	2080	6,0	2,2	55,7	24,1	0,5	10,3	(1,2)
	РСФСР, Приморье	Сучанское	„ (Ж)	—	—	—	5,8	2,9	61,8	22,3	0,6	6,6	—
	РСФСР, Свердловская обл.	Волчанское	Бурый уголь	38,5	2610	1800	5,7	1,3	47,5	39,1	1,0	5,4	—

	РСФСР	Черемховское	Каменный уголь (Д)	22,5	5010	2010	5,7	0,2	61,5	22,2	—	10,4	—
	РСФСР, Иркутская обл.	Аскизское	„ (Д)	11,0	6040	—	5,7	1,0	46,9	37,5	1,1	5,7	(2,1)
	РСФСР, Свердловская обл.	Егоршинское	„ (ПА)	22,0	5880	2100	5,5	—	51,6	37,9	—	5,0	—
	РСФСР, Тува	Элегестинское	„ (Ж)	9,0	7070	—	5,5	2,8	43,2	34,2	0,5	12,4	(2,0)
	РСФСР, Якутия	Эрозионное	„ (Д)	14,0	5580	—	5,3	1,6	57,1	29,1	0,9	4,0	(2,3)
	УССР	Донецкий бассейн	Антрацит	20,5	5790	2130	5,2	3,6	48,1	22,3	—	18,3	(2,5)
	РСФСР, Кемеровская обл.	Холмогорское	Каменный уголь	—	—	—	4,5	4,0	61,0	24,0	—	6,5	—
	РСФСР, Кемеровская обл.	Кузнецкий бассейн	„ (Т)	19,0	6330	2080	4,5	3,8	53,9	25,0	0,8	12,0	—
III	УССР	Донецкий бассейн	„ (Г)	—	—	—	4,2	4,7	52,3	24,0	0,8	14,0	—
	УССР	Донецкий бассейн	„ (Д)	—	—	—	4,2	4,7	52,3	24,0	0,8	14,0	—
	РСФСР, Иркутская обл.	Изыхское	„ (Д)	21,0	5180	—	4,2	1,9	52,5	36,2	0,8	4,3	(1,0)
	РСФСР, Читинская обл.	Тарабагатское	Бурый уголь	15,0	4020	1880	4,2	0,1	69,0	14,0	—	11,0	(0,7)
	Грузинская ССР	Ахалцикское	„	40,0	2740	1820	4,1	2,2	55,7	28,7	0,9	6,8	(2,0)
	Грузинская ССР	Ткибульское	Каменный уголь (Д)	40,0	4280	2020	4,0	1,3	49,5	32,0	1,5	8,0	(2,5)
	Таджикская ССР	Шаргуньское	„ (ОС)	20,0	6080	—	4,0	2,4	51,5	35,0	1,0	3,5	(3,0)
	РСФСР, Приморье	Липовецкое	„ (Д)	28,5	4780	2050	4,0	2,1	60,0	30,8	0,6	2,1	(2,0)
	Киргизская ССР	Как-Янгак	„ (Д)	18,5	4940	2030	3,9	1,4	57,0	26,0	1,1	7,5	(2,2)
	РСФСР, Бурятия	Баянгольское	Бурый уголь	20,0	4310	—	3,6	4,0	60,7	22,3	1,0	8,5	(0,6)

Продолжение табл. 3-1

Группа топлив (по ВТИ)	Районы СССР	Наименование месторождения	Наименование топлива	Теплотехническая характеристика топлива			Содержание окислов в пересчете на сухое вещество, %						
				Зольность, %	Низшая теплота сгорания, *ккал/кг*	Теоретическая температура сгорания, °С	$CaO+MgO$	Na_2O+K_2O	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	SO_3
III	РСФСР, Приморье	Тавричанское	Бурый уголь	28,0	4080	2010	3,5	6,3	53,5	30,2	0,5	6,5	(0,7)
	РСФСР, Магаданская обл.	Галимовское	Антрацит	25,0	5200	—	2,7	3,5	52,0	32,7	—	7,3	(1,8)
	РСФСР, Хабаровская обл.	Ургальское	Каменный уголь (Г)	32,0	4830	—	2,3	3,0	66,1	24,0	0,8	3,8	—
	РСФСР, Кемеровская обл.	Новосергиевское	„	7,0	6940	—	2,2	1,8	54,5	30,6	—	10,2	(0,6)
	РСФСР, Свердловская обл.	Кизеловское	„ (Г)	28,0	5150	2080	2,1	—	47,4	31,5	—	19,0	—
	Казахская ССР	Экибастузское	„ (СС)	39,0	4080	2040	1,9	1,0	64,0	27,7	0,7	4,7	—
	Казахская ССР	Куу-Чекинское	„ (СС)	37,5	4370	—	1,8	0,7	57,5	34,5	—	5,5	—

Примечание. Химический состав приведен для золошлакового материала, полученного в результате озоления твердых топлив в лабораторных условиях.

каменных и бурых углей, которые содержат незначительное количество CaO (до 10—15%), включают преимущественно ферриалюмо-силикатные стекла, где суммарное содержание основных стеклообразующих компонентов Fe_2O_3—Al_2O_3—SiO_2 составляет 80—90% [1]. Чем больше в золах CaO, тем выше его содержание в стеклах. Так, около 80% всей стекловидной фракции сланцевых зол представлены стеклом, содержащим примерно 50% CaO [2]. Стеклообразная фаза стоит на первом месте по количеству и разнообразию своих форм. Однако это разнообразие обобщенно сводится к четырем видам стекла, отличающимся цветом и показателем преломления [3].

Форма зольных частиц, представленных стекловидной фазой, весьма разнообразна, однако большая их часть имеет идеальную шаровую или близкую к ней форму (рис. 3-1). Такая форма частиц является характерной особенностью зол и не присуща природным грунтовым материалам, что необходимо принимать во внимание при изучении физико-механических свойств золошлаковых материалов. Зольные частицы могут быть индивидуальными и агрегированными. Агрегированные, в свою очередь, могут быть составлены из частиц как одного, так и разных типов стекла. Кроме того, наряду с чисто стеклянными частицами в золах имеются стеклоорганические и стекломинеральные агрегаты.

Стекловидная часть зол не является гидравлически инертной ее частью. Некоторые типы стекол (мелилитово-геленитовые) способны при гидратации давать коллоидные новообразования. Благодаря этому они способны принимать активное участие в процессах гидратационного твердения зол при складировании на золоотвале и при использовании зол в изготовлении строительных материалов, а также формировать состав осветленной воды систем гидрозолоудаления ТЭС [4]. Растворимость стекол в присутствии щелочей, которые попадают в воду из других минералов золы, может заметно повышаться, и они могут поставлять в раствор SiO_2 и Al_2O_3, которые совместно с другими составляющими создают соединения, способствующие цементации золы [5]. Золы

---

[1] **Волженский А. В.** и др. Твердение вяжущих на основе топливных гранулированных шлаков. Сб. трудов ВНИИНСМ, 1960, № 2, с. 52—75.

Simon H. S. Jeffrev J. W. Ренгенографический анализ золы-уноса. J. Appl. chem, 1960, v. 10, № 8, p. 328—336.

[2] **Галибина Е. А.** и др. Фазовый состав различных фракций сланцевых зол и его влияние на процессы твердения. — «Известия АН Эст. ССР», серия физ.-мат. и техн. наук, № 4, 1965, с. 643—650.

[3] **Иванов И. А.** Влияние гранулометрического состава зол на основные свойства золобетонов. — «Известия высших учебных заведений». Строительство и архитектура № 6, 1962, с. 70—73.

[4] **Горшков В. С., Хмелевская Т. А.** Исследование процессов гидратации минералов, входящих в состав шлаков. — Сб. трудов. ВНИИНСМ, 1960, вып. 2, с. 45—49.

[5] **Дилакторский Н. А., Галибина Е. А.** О фазовом составе зол, получаемых при сжигании кукерсита в пылевидном состоянии и о вяжущих свойствах сланцезольных стекол. — «Строительные материалы», 1964, № 4, с. 31—33.

топлив, минеральная часть которых имела глинистую составляющую, включают обожженную глинистую часть, где частицы глины в разной степени метаморфизированы (обезвожены, оплавлены, остеклованы вплоть до полного превращения в стекло) в зависимости от величины частиц золы и условий сжигания топлива. Известно о наличии обожженной глинистой части в золе углей Канско-Ачинского бассейна Листвянского и Назаровского место-

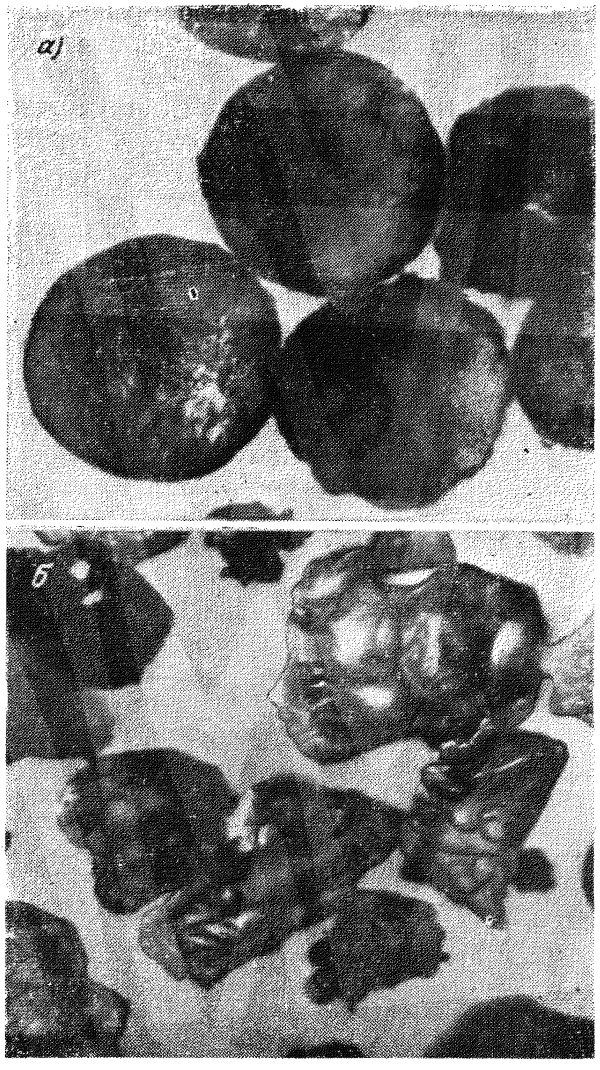

Рис. 3-1. Шаровидные частицы золы челябинского угля Южно-Уральской ГРЭС фракции 0,10—0,125 *мм* (*а*) и остроугранные частицы золы торфа Ленинградской ТЭЦ-15 фракции 0,06—0,08 *мм* (*б*).

рождений. Минеральная часть золы подмосковного угля Щекинской ГРЭС представлена преимущественно обожженной глинистой частью [1]. Значительное ее количество находится также в золах сланцев [2].

В процессах цементационного твердения зол обожженная глинистая часть имеет весьма существенное значение, поскольку она обладает высокой сорбционной способностью по отношению к CaO. Со временем хемосорбированная окись кальция дает с глинистыми частицами прочную кристаллизационную связь, образуя кристаллические сростки зольных частиц.

Кристаллическая фаза зол представлена как природными грунтовыми минералами, сопровождающими органическую часть топлива, так и новообразованиями, полученными в топочных процессах.

Из первичных грунтовых минералов преобладают кварц, магнетит, гематит. Ряд зольных минералов содержит некоторое количество муллита, ортоклаза, геленита, монтичеллита, окерманита, фаялита. Часть этих минералов (геленит, монтичеллит) проявляют гидратационную активность и способствуют цементационным процессам. Рядом исследователей отмечается, что только незначительная часть кварца зол находится в кристаллическом состоянии, большая же его часть аморфна и проявляет значительную гидратационную активность. Имеющиеся в золах окислы железа могут быть извлечены из нее магнитной сепарацией и использованы в народном хозяйстве.

Особое место в формировании свойств золы среди первичных минералов кристаллической фазы занимают гипс (ангидрит), кальцит, доломит и продукты их частичного термического разложения — свободные окиси кальция и магния. По литературным данным гипс (ангидрит) и кальцит содержатся в тех или иных количествах в золах всех твердых топлив. В золах сланцев, некоторых бурых углей, торфа их содержание весьма высоко, в этих же золах имеется и значительное количество окиси кальция, а также некоторое количество свободной окиси магния. Свободные окиси кальция и магния, ангидрит и гипс составляют наиболее гидравлически активную часть зол. Исследование химического состава вод систем гидрозолоудаления показало, что указанные минералы и являются основными минерализаторами воды.

Особая роль принадлежит свободной окиси кальция. Гидратационное твердение свободной окиси кальция с последующей карбонизацией ее атмосферной углекислотой приводит к цемен-

---

[1] **Синайский Н. А.** Результаты рентгенографического анализа золы энергетических топлив. — «Теплоэнергетика», 1964, с. 65—70.

Варшал Б. Г., Майер А. А. Минералогический состав золы ТЭЦ бурых углей. — Сб. трудов РОСНИИМС, № 18, 1966, с. 153—163.

[2] **Мяндметс Х.** Обожженная глинистая часть как активный компонент в золе горючего сланца-кукерсита. — «Исследования по строительству», № 1, Таллин, 1961, с. 142—152.

тации отдельных зольных зерен. Выступая как самостоятельный цементирующий агент, окись кальция совместно с гипсом (ангидритом) и окисью алюминия из стекловидной фазы входит в состав наиболее сильного цементирующего агента зол — гидросульфоалюмината кальция. Гипс, кроме того, способен к самостоятельной цементирующей роли.

Из минералов, отсутствующих в топливе и являющихся новообразованиями, особое место занимают силикаты, алюминаты и ферриты кальция различной основности. Часть их ($\beta 2CaO \cdot SiO_2$; $CaO \cdot Al_2O_3$) известна как клинкерные минералы цемента. Особенно много таких минералов в богатых окисью кальция золах. Эти минералы также цементируют зольные отложения. По литературным данным $\beta \cdot 2CaO \cdot SiO_2$ в основном и определяет процессы схватывания высокотемпературных зол.

Органическая часть топлива, в разной степени метаморфизированная, присутствует практически во всех золах. При удовлетворительном течении топочных процессов содержание ее составляет менее 5%. Органическая часть зол существенно отличается от исходного состояния в топливе и представлена коксом и полукоксом с очень низкой гигроскопичностью и выходом летучих. В основном это самостоятельные органические частицы, некоторые частицы — агрегированные разнофазные.

Не будучи гидравлически активной органическая часть снижает цементирующую способность золы за счет уменьшения сорбционной способности глинистой части.

Степень цементации, прочность сцементированной зольной массы, время достижения максимальной прочности отложений определяются не только количеством минералов, способных к цементации, но и величиной частиц, их формой и характером поверхности, так как эти факторы определяют скорость гидратации цементирующих минералов.

Структурная прочность зольных отложений во времени растет. Сцепление на законсервированных секциях отвалов больше, чем на участках, где производится намыв.

Растворяясь в воде, гидравлически активные минералы минерализуют ее, поэтому качество осветленной воды зачастую не отвечает санитарным нормам. При эксплуатации оборотных систем золоудаления это приводит к обрастанию труб и арматуры труднорастворимыми отложениями. Характер минерализации воды систем гидрозолоудаления (состав минерализаторов) определяется природой сжигаемого топлива, а уровень минерализации — всей совокупностью эксплуатационных условий, принятых на данной станции (табл. 3-2).

Намытые золошлаковые материалы следует отнести к категории искусственных грунтов. С позиций инженерной геологии их можно разделить на два класса. К первому относятся несвязные материалы, ко второму — связные, имеющие жесткую кристал-

лизационную (цементационную) связь. Водно-коллоидная связность, а следовательно, и типичные свойства глинистых грунтов в намытых золошлаковых материалах отсутствуют.

Зависимость удельного веса золы от химического состава

Удельный вес золошлаковых материалов является важной физической характеристикой. Величина удельного веса золошлаковых материалов определяется их минералогическим составом, а также количеством недожога, представленного коксом и полукоксом.

Исследованиями ВНИИГ и УФТИ установлено, что золошлаковые материалы разных твердых топлив характеризуются удельным весом в пределах 2,0—3,5 $г/см^3$. Для всех образцов золы и шлака, удельный вес ($\gamma_{эксп}$) и химический состав которых был определен в УФТИ, вычислили удельный вес на основании средних значений удельных весов окислов, взятых из различных литературных справочных материалов. Расчет удельного веса производился по следующей формуле:

$$\gamma_{расч} = \frac{\Sigma P_i}{\Sigma V_i},$$

где P_i — процентное содержание окисла компонента, определенное химическим анализом; $V_i = \frac{P_i}{\gamma_{i\ табл}}$ — расчетный объем, занимаемый окислом компонента; $\gamma_{i\ табл}$ — средние справочные значения удельного веса окислов, равные соответственно для SiO_2—2,4 $г/см^3$, CaO и MgO—3,4 $г\ см^3$, K_2O и Na_2O—2,3 $г/см^3$, Al_2O_3—3,8 $г/см^3$, Fe_2O_3 и FeO—5,25 $г\ см^3$, аморфного углерода (п. п. п.)—1,95 $г/см^3$. Окислы P_2O_5, TiO_2, SO_3, содержание которых незначительно, в расчет не включены.

Такой подход является упрощенным, так как удельный вес полиминерального образования, каким являются золошлаковые материалы, определяется удельными весами слагающих их минералов. Однако количественный минералогический анализ чрезвычайно трудоемок и для исследованных образцов золы и шлака не проводился. Поэтому в расчете принят химический состав, представленный в окисной форме.

Расчетная формула для определения удельного веса золошлаковых материалов получена в следующем виде:

$$\gamma = 2{,}08 \cdot \gamma_{расч} - 3{,}40.$$

Отклонение вычисленного по формуле удельного веса от экспериментального в среднем для всех проб (в количестве около 100) составило около $\pm 0{,}18$ $г/см^3$. Эти отклонения обусловлены как погрешностями экспериментального определения химического состава золошлаковых материалов и их удельных весов, так и допущениями, принятыми в расчете. Однако величина этих отклонений сравнительно невелика и не имеет систематического характера.

Полученная расчетная формула позволяет ориентировочно определить удельный вес золошлаковых материалов на основании данных по их химическому составу в окисной форме. Если содержание SO_3 превышает 3%, то расчет по данной формуле будет иметь большую погрешность, так как отсутствуют необходимые для расчета сведения о том, в какие соединения и в каких отношениях входит этот окисел.

Приложение

МЕТОДИКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ЗОЛООТВАЛОВ

Фильтрационными расчетами золоотвала должно быть определено:

а) положение поверхности фильтрационного потока (кривой депрессии), образующегося за счет фильтрации из отстойного пруда;

б) средние и выходные градиенты фильтрационного потока;

в) фильтрационный расход на единицу длины золоотвала.

Для золоотвалов типа IV (с ограждающей дамбой из грунта на полную высоту) и типа II (с поярусным обвалованием из золошлакового материала) фильтрационный расчет выполняется, как для водоудерживающих однородных плотин из грунтовых материалов, с помощью аналитических методов [1].

Для некоторых случаев размещения дренажей перед первичной дамбой золоотвала приводятся аналитические методы фильтрационного расчета.

1) Водоупорное основание, первичная дамба отсыпана из глинистого грунта (рис. 4-1, *а*).

$$\frac{q}{k_{зш}} = \frac{H_1^2}{2L_р},$$

где $L_р = L + \Delta L_в$; $\Delta L_в = \beta_1 H_1$.

Для заложения подводного откоса намыва золошлакового материала $m = m_з = 10$; $\beta_1 = 0{,}5$.

Ордината кривой депрессии вычисляется по формуле

$$h_x = \sqrt{2\frac{q}{k_{зш}}(L - x + l_{др})},$$

где $l_{др} = 0{,}5\frac{q}{k_{зш}}$.

Кривую депрессии исправляют визуально на участке:

$$h_x \geqslant H_1 - \frac{q}{k_{зш}}.$$

[1] **Аравин В. И. и Нумеров С. Н.** Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. Госстройиздат, 1955, 219 с. с ил.

Таблица 3-2

Химический состав воды отстойных прудов золоотвалов ТЭС

№ п.п	Наименование ТЭС	Род сжигаемого топлива	Система золоулавливания	Система ГЗУ	Период наблюдений	pH	Щелочность, мг-экв/л				Жесткость, мг-экв/л			Хлориды Cl', мг/л	Сульфаты SO_4'', мг/л	БПК$_5$	Окисляемость, O_2, мг/л	Углекислотная агрессивность CO_2, мг/л	Кремнекислота SiO_3'', мг/л	Нитрат ион NO_3', мг/л	Нитрит ион NO_2', мг/л	Кальций ион Ca^{++}, мг/л	Магний ион Mg^{++}, мг/л	Железо закисное ион Fe^{++}, мг/л	Железо окисное ион Fe^{+++}, мг/л	Медь Cu^{++}, мг/л	Сухой остаток, мг/л	Прокаленный остаток, мг/л	Солесодержание, мг/л	Нефтепродукты, мг/л
							Общая	Гидратная OH'	Карбонатная CO_3''	Гидрокарбонатная HCO_3'	Общая	Постоянная	Временная																		
1	Прибалтийская ГРЭС	Прибалтийские сланцы	Сухое	Оборотная	1966—72 гг.	13	50—65				58—68			9,2															7000—9000	
2	Эстонская ГРЭС	"	"	"	1969—71 гг.		24,5—74	23—71			28,6—84																	1842—3507	
3	ТЭЦ г. Кохтла-Ярве	"	"	"	1966—72 гг.		50—90	40—75	0,6—5,8		54—112			120—1800	48—156		40—287											2100—7900	
4	ТЭЦ г. Ахтме	"	"	Оборотная	1968—72 гг.		54—61	50—57	4—6		64—69,8				1438	74—123												5670	
5	ТЭЦ г. Сланцы	Ленинградские сланцы	"	Прямоточная	1968 г.	12,8	42,9	41,7	1,2		50,6—53,2			9,5—12,3														2684—2918	
6	Назаровская ГРЭС	Ирша-Бородинский уголь	Не работает	"	1969—71 гг.	7,7—9,8								0,5—17,6	4,75—33,75		2,4—9,6			0,0—сл.			4,2—22,5	0,13—3,26		2,0—сл.	73—260			0,12—16,9
7	Ангренская ГРЭС	Ангренский уголь Б, БР	Сухое	"	1970—72 гг.	7,2—11,8	1,3—3,6	1,05—2,14	1,1		1,1—15,0			0,6—7,05	68,8—296		1,6—12	0,00—0,44	9—12		0,012—0,275				0,023—0,500	0,05—0,10	81,4—353	41,6—266,4	46,3—880	
8	Ферганская ГРЭС	Угли месторождений Кизил-Кия, Кок-Янгак Ташкумир, Сюлюкта, Шураб, Алмалык	"	"	1967—72 гг.	6,65—12,0	1,2—8,6	0,6—1,2	0,1	0,05	2,6—28,0			50—1380	321—1234		0,48—49,6		9,5—18		16,0—0,04	8,2—184,4	1,0—74,7		1,5—6,0	0,08	1805—3460	1121—2034	900—3000	
9	Рижская ТЭЦ-1	Фрезерный торф	Мокрое	"			1,1—4,4	0,7—2,5	0,4—3,4	0,7—0,9	3,8—7,2				149—254															
10	Читинская ГРЭС	Черновский, Харанорский угли	"	Оборотная	1968—70 гг.	6,9—8,8	0,3—6,0	1,3—4,2		0,0—3,6	4,3—10,8	2,3—9,7	0,8—2,9	14—232	73,2		5,2—12,4		16,3—70,0	0,1—6,0	0,02—1,35	108—182	20,4—43,2	0,05—355,5	0,0—60,1	0,0—0,125	72,9—184	0—6	117—948	
11	Томь-Усинская ГРЭС	Уголь Междуреченского месторождения	"	Оборотная с частичным сбросом	1966—68 гг.	7,8—9,2	0,93—1,45		0,62—1,07						108—129														
12	Молдавская ГРЭС	Донецкий уголь (Т)	"	Оборотная	1966—72 гг.	5,9—8,3	0,7—2,0				14,2—22,5	21,7	0,8	132—173	1148—1180		4,56—4,72										2338—2594	1931		
13	Добротворская ГРЭС	Львовско-Волынский уголь	"	"	1966—71 гг.	7,4—7,7	2,0—2,5				10,2—15,2				456—559														990—1150	
14	Кировская ГРЭС	Донецкий, кузнецкий, интинский, печорский угли	"	Прямоточная	1966—72 гг.	7,8—12,4	0,38—11,2	0,07—10,1	1,14—2,20		1,8—15,1			1,75—5,25	104—238	0,32—1,8	1,6—3,2					100—250	0,0—1,2				34,4—708		910	
15	Верхне-Тагильская ГРЭС	Богословский и челябинский уголь Коркинского и Волоцанского месторождения	"	Оборотная со сбросом паводка	1967—70 гг.		2,7—4,0	0,1	1,5—3,7		7,1—9,6			36—38	318—403		2,24—3,25		1,76—2,27			146,5—184,3	4,86				639—732	533—640		
16	Казанская ТЭЦ-2	Кузнецкий уголь марки Т	"	"	1968 г.	7,2—9,9	0,7—2,2	0,2—0,3			3,1—8,8			33—37	380—820												660—940			8—27
17	Иркутская ТЭЦ-9	Азейский бурый уголь	"	Прямоточная	1970—71 гг.	7,0—7,3					1,94—2,80			1,6—3,6	23—102,5	1,6—4,2	2,4—5,4		7,7	0,4	0,08—0,13	1,56—2,0	0,48—0,80		0,1—0,8					1,1
18	Иркутская ТЭЦ-10	Черемховский и Азейские угли, марки Д, ДР, ДМ	"	"	1970—71 гг.	7,7—9,8	1,4—1,65	0,1			3,2—5,5			2,0		0,7—1,7	1,6—4,0												30—398	0,0—4,0
19	Смешанные воды Иркутские ТЭЦ-9-10	Азейский и Черемховский угли	"	"	1969 г.	7,3				1,2	4,2	1,2		40	71,0			8,8		1,66		80	2,44							
20	Северодонецкая ТЭЦ	Донецкий уголь марки Д	Сухое	Оборотная	1967—68 гг.		6,1—7,0				18,3—18,0			270—740	228—845				26,4—28,0											
21	Несветай ГРЭС	Донецкий уголь марки АШ	"	Оборотная с подпиткой	1967—68 гг.	8,98—9,05	2,4—4,1	0,2—0,7	2,2—3,6		12,48—14,58			80—110	795—979				5,61—11,22			3,2—7,65	6,2—9,8						1518	
22	Новочеркасская ГРЭС	Донецкий уголь марки АШ	Сухое	Оборотная со сбросом	1966—67 гг.	7,6—9,0	2,8—2,5				4,8—10,5			100—190	199—387		2,68—11,2		4,28—35,3		сл. 0,08	0,23—5,1	1,6—7,0		0,7—380		665—1155			
23	Симферопольская ГРЭС	Донецкий уголь марки АШ	"	Оборотная с подпиткой	1962 г.		4,6	0,6			5,8			35	114														355	
24	Трипольская ГРЭС	Донецкий уголь	"	Оборотная	1970—71 гг.	8,2—10,3	1,4—5,3	0—1,2		0,4—1,0	3,7—8,0	2,8—7,0	0,6—2,2	10,5—35,0	160,9—405,0		2,24—14,08		6,7—20,5	0,025—0,55	0,03—0,65	56,1—140,3	7,3—26,7		0,16—2,05	0,06—0,16	243—812	121—661	309—905	
25	Криворожская ГРЭС	Донецкий уголь марки Т	"	"	1970 г.		1,2—1,8		0,8		6,8			71,0	413												1450—1507			
26	Старобешевская ГРЭС	Донецкий уголь	Мокрое	Прямоточная	1967 г.	8,35	2,44—4,16	0,0—0,3		0,04—3,56	14,0—15,6			270	547—1135		4,8—12,8		2,2	3,0—35,0	1,6—4,0	174	64,4—94,6		0,001—0,264	сл.—0,035			1536—2306	
27	Приднепровская ГРЭС	Донецкий штыб	Сухое	"	1961—67 гг.	9,0	1,35—4,0	0,2—0,6			3,0—4,0			44—50			6,4—13,8												250—300	
28	Новомосковская ГРЭС	Подмосковный бурый уголь	Мокрое	Оборотная со сбросом		6,9—7,9					5,2—11,2	1,0—4,7	1,0—10,0	30—308	48—566		1,2—6,2		2—12	0,11—1,50	0,0—0,16	80—176	12—38,4		0,0—2,0		345—1376			
29	Омская ТЭЦ-4	Экибастузский уголь	Сухое	Прямоточная		6,5	2,1				2,8	2,0	0,8		1203—1278												996—1067	792—868		0,75—1,47
30	Троицкая ГРЭС	"	"	"	1970 г.	8,55	3,7		0,2	3,5	6,65			54—73	204—562										0,02	0,005	615			
31	Красногорская ГРЭС	"	"	"	1959 г.		0,3—1,28				4,0—6,3			81,2—111,8	54,7—164,9		6,2—11,4		20,8—44,5			67,2—85,8	17,5—25,0				465			

2) Проницаемое основание конечной мощности, $k_0 > k_{зш}$, первичная дамба отсыпана из глинистого грунта (рис. 4-1, *б*).

$$q = k_{зш}\frac{H_1^2}{2L_р} + k_0 T\frac{H_1}{L_р + 0{,}4T},$$

где $L_р = L + \Delta L_в$;

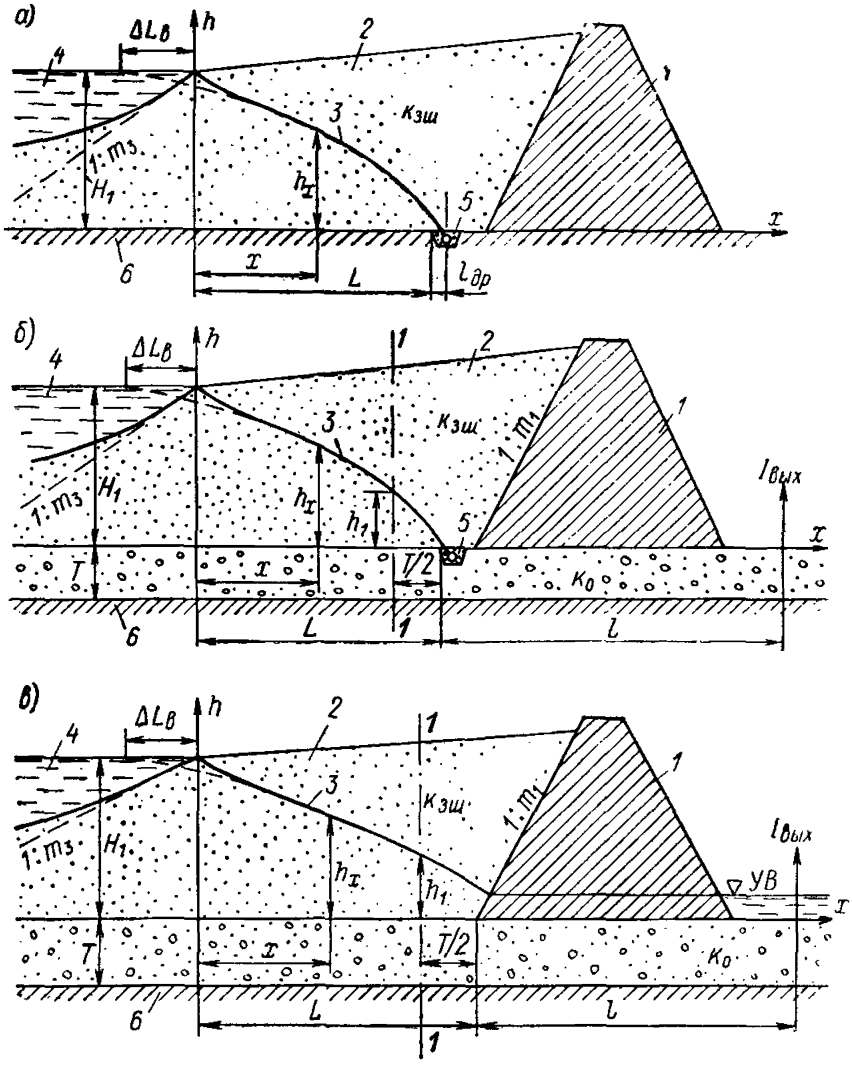

Рис. 4-1. Расчетные схемы фильтрации в золоотвалах

а—водоупорное основание; *б*—проницаемое основание конечной мощности ($k_0 > k_{зш}$); *в*—проницаемое основание конечной мощности при наличии уровня воды за золоотвалом выше основания; *1*—первичная дамба; *2*—откос намыва; *3*—кривая депрессии; *4*—отстойный пруд; *5*—дренажные устройства; *6*—водоупорный грунт; *в*—1—дамба из хорошо фильтрующего грунта.

$$\Delta L_в = \frac{\sqrt{\frac{k_0}{k_{зш}}}(mH_1 + 0{,}4T) + \left(2m\frac{H_1}{T} + \frac{1{,}32}{m} - 1\right)\frac{mH_1}{2m+1}}{\sqrt{\frac{k_0}{k_{зш}} + 2m\frac{H_1}{T} + \frac{1{,}32}{m} - 1}};$$

$$h_1 = \sqrt{\left(\frac{k_0}{k_{зш}}\frac{T}{2}\right)^2 + T\frac{q}{k_{зш}}} - \frac{k_0}{k_{зш}}\frac{T}{2}.$$

Величина h_x в пределах от h_1 до H_1 вычисляется по формуле

$$h_x = \sqrt{2\frac{q}{k_{зш}}(L-x)+\left(h_1+\frac{k_0}{k_{зш}}T\right)^2}-\frac{k_0}{k_{зш}}T.$$

В пределах от h_1 до дренажа кривую депрессии проводят визуально, а на участке $h_x \geqslant H_1 - \frac{q}{k_{зш}}$ кривую депрессии исправляют визуально.

3) Проницаемое основание конечной мощности при наличии уровня воды за золоотвалом выше основания (рис. 4-1, *в*).

$$q = k_{зш}\frac{H_1^2-H_2^2}{2L_р}+k_0T\frac{H_1-H_2}{L_р+0{,}4T},$$

где $L_р = L + \Delta L_в + \frac{mH_2}{3}$;

$$\Delta L_в = \frac{\sqrt{\frac{k_0}{k_{зш}}}\left[m(H_1-H_2)+0{,}4T\right]+\left(2m\frac{H_1-H_2}{T}+\frac{1{,}32}{m}-1\right)\frac{m(H_1-H_2)}{2m+1}}{\sqrt{\frac{k_0}{k_{зш}}}+2m\frac{H_1-H_2}{T}+\frac{1{,}32}{m}-1};$$

$$h_1 = \sqrt{T\frac{q}{k_{зш}}+H_2^2+\left(\frac{k_0}{k_{зш}}\cdot\frac{T}{2}\right)^2}-\frac{k_0}{k_{зш}}\frac{T}{2}.$$

Величина h_x в пределах от h_1 до H_2 вычисляется по формуле

$$h_x = \sqrt{2\frac{q}{k_{зш}}(L-x)+\left(h_1+\frac{k_0}{k_{зш}}T\right)^2}-\frac{k_0}{k_{зш}}T.$$

В пределах от h_1 до дренажа кривую депрессии проводят визуально, а на участке $h_x \geqslant H_1 - \frac{q}{k_{зш}}$ исправляют визуально.

В приведенных зависимостях:

q — удельный фильтрационный расход воды, *м²/сут*; $k_{зш}$ — коэффициент фильтрации намытого золошлакового материала, *м/сут*; k_0 — коэффициент фильтрации основания, *м/сут*; h_x — текущая координата кривой депрессии.

Для предварительного определения расхода воды, фильтрующейся через песчаные и гравийные ограждающие дамбы, а также из золоотвалов с поярусным обвалованием из золошлакового материала, можно пользоваться графиком зависимости удельного расхода фильтрационной воды от напора, построенным по материалам натурных измерений на намывных плотинах (рис. 6).

Для золоотвалов типа III (с поярусным обвалованием из грунта), когда в поперечном сечении низового клина имеет место сложная область фильтрации, например, при чередовании дамб из глинистого грунта со слоями намытого золошлакового материала, возможность использования аналитических методов фильтрационного расчета исключается. В подобных случаях применяется экспериментальный метод ЭГДА, который основан на ма-

тематической и физической аналогии между движением электрического тока в электропроводной среде и установившимся движением фильтрационной воды в порах грунта.

В результате исследований методом ЭГДА определяются все необходимые показатели фильтрационного расчета, характеризующие фильтрационную устойчивость сооружений.

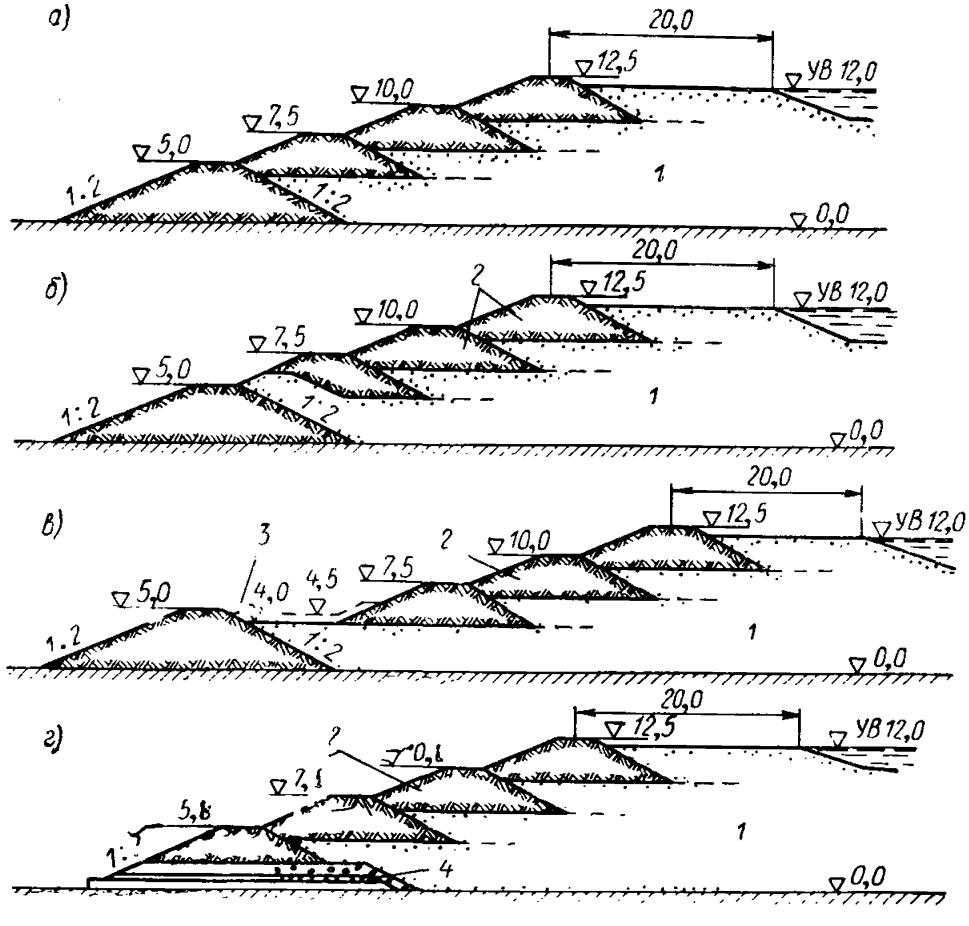

Рис. 4-2. Конструкции золоотвала с поярусным обвалованием из грунта (тип III)

а—тип III А, первичная дамба и дамбы наращивания из суглинка образуют сплошной экран на наружном откосе золоотвала; *б*—тип III Б, то же, что и тип III А, но над гребнем первичной дамбы в пределах основания второго яруса устраивается сквозная дрена из намытого золошлакового материала; *в*—тип III В, то же, что и тип III А, но дамбы наращивания сдвинуты внутрь золоотвала, а на берме перед гребнем первичной дамбы в намытом золошлаковом материале проложена открытая дренажная траншея; *г*—тип III Г, то же, что и тип III А, но в основании первичной дамбы уложен сквозной трубчатый дренаж; *1*—намытый золошлаковый материал; *2*—дамба наращивания; *3*—первичная дамба; *4*—трубчатый дренаж.

Ниже, в виде примера приводятся результаты фильтрационных исследований методом ЭГДА нескольких конструкций золоотвала типа III с поярусным обвалованием из суглинка.

Рассматривались следующие конструкции:

тип III А — первичная дамба и дамбы наращивания, отсыпанные из суглинка, образуют сплошной экран на наружном откосе золоотвала (рис. 4-2, *а*);

тип III Б — то же, что и тип А, но над гребнем первичной дамбы в пределах основания второго яруса устраивается сквозная дрена из намытого золошлакового материала (рис. 4-2, *б*);

тип III В — первичная дамба отсыпана из суглинка. Дамбы из суглинка следующих ярусов намыва сдвинуты внутрь золоотвала, а на берме перед гребнем первичной дамбы в намытом золошла-

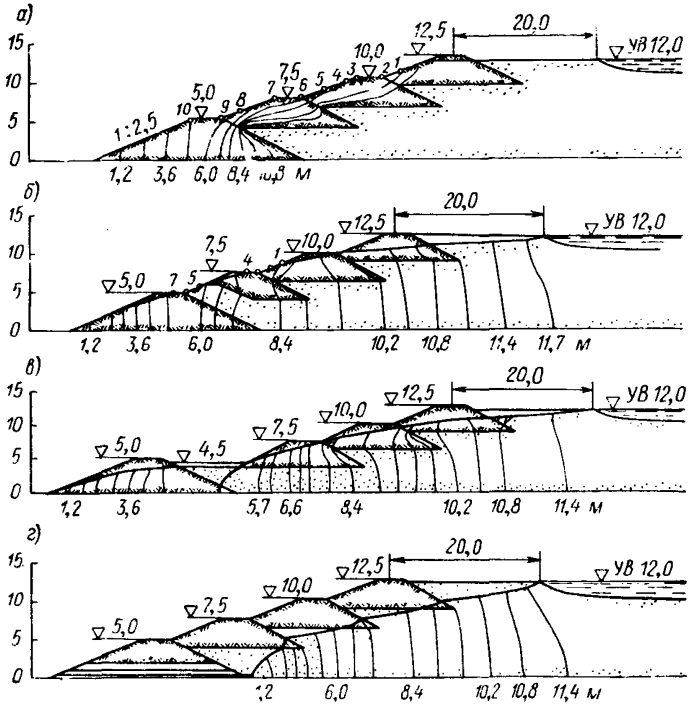

Рис. 4-3. Кривые депрессии и линии равного напора фильтрационного потока на золоотвале с поярусным обвалованием из грунта.

ковом материале проложена открытая дренажная канава, борта и дно которой покрыты обратным фильтром (рис. 4-2, *в*);

тип III Г — то же, что и тип А, но в основании первичной дамбы уложены сквозные дренажные «пальцы» (рис. 4-2, *г*).

При проведении исследований был принят наиболее неблагоприятный случай, когда золоотвал возведен на проектную высоту, равную 12,5 *м*, а уровень воды отстойного пруда имеет превышение над основанием 12 *м*. Кроме того, было установлено, что в основании золоотвала залегают глинистые грунты, а первичная дамба и дамбы наращивания отсыпаны из суглинка, коэффициент фильтрации которого составляет 0,01 *м/сут*. Коэффициент филь-

трации намытого золошлакового материала в пределах низового клина золоотвала 10 *м/сут*. Расстояние от уреза отстойного пруда до оси дамбы четвертого яруса принято равным длине ответвления от разводящего пульпопровода, т. е. 20 *м*. Такое положение отстойного пруда является наиболее неблагоприятным расчетным случаем. Результаты исследований методом ЭГДА на моделях указанных конструкций золоотвалов с поярусным обвалованием из грунта показаны на рис. 4-3. В поперечном разрезе низового клина золоотвала нанесены кривые депрессии и линии равного напора фильтрационного потока.

Анализ результатов исследований дает возможность сделать следующие выводы.

1. Наиболее неблагоприятное для устойчивости откоса золоотвала положение фильтрационного потока получено для конструкции типа IIIA, в которой первичная дамба и дамбы наращивания ярусов намыва образуют сплошной водоупорный экран на наружном откосе. При такой конструкции золоотвала возникают недопустимые по величине выходные градиенты фильтрационного потока на участках сопряжения дамб наращивания по ярусам намыва. В рассматриваемом случае выходной градиент достиг 2,50, что неизбежно должно вызвать нарушение фильтрационной прочности грунта и возникновение опасных фильтрационных деформаций — механической суффозии и местного фильтрационного выпора. Нарушение фильтрационной прочности грунта приведет к оползанию больших масс грунта и золошлакового материала на откосе золоотвала. Конструкция золоотвала типа IIIA является дефектной и должна быть исключена из практики проектирования золоотвала.

2. Более благоприятная картина области фильтрации зафиксирована при устройстве в основании второго яруса сквозной дрены из намытого золошлакового материала (тип. IIIБ). Выходные градиенты фильтрационного потока здесь существенно меньше и приближаются к допустимым по нормативным требованиям для земляных плотин. Однако кривая депрессии выклинивается на наружном откосе золоотвала вблизи гребня дамбы третьего яруса, и откос почти весь смочен фильтрационной водой, что может вызвать оползание откоса. Кроме того, эта конструкция золоотвала требует применения сложной системы закрытых дренажных устройств для организованного перехвата и отвода фильтрационной воды с гребня первичной дамбы.

3. Достаточно просто решается перехват фильтрационной воды дренажной канавой перед гребнем первичной дамбы в конструкции типа IIIB. Этой конструкции отвечает сравнительно благоприятная картина фильтрации, кривая депрессии, даже при столь близком к откосу золоотвала положении уреза пруда, не выклинивается на откосе. К положительным сторонам конструкции золоотвала типа IIIB относится отсутствие закрытых дренажных устройств. Известным недостатком этой конструкции яв-

ляется возможность намерзания льда в дренажной канаве, поэтому эта конструкция может найти применение в районе с мягким климатом.

4. Наиболее благоприятное для устойчивости откоса золоотвала положение поверхности фильтрационного потока получено при наличии дренажных «пальцев» в основании первичной дамбы (тип III Г), так как кривая депрессии занимает по сравнению с другими конструкциями наинизшее положение.

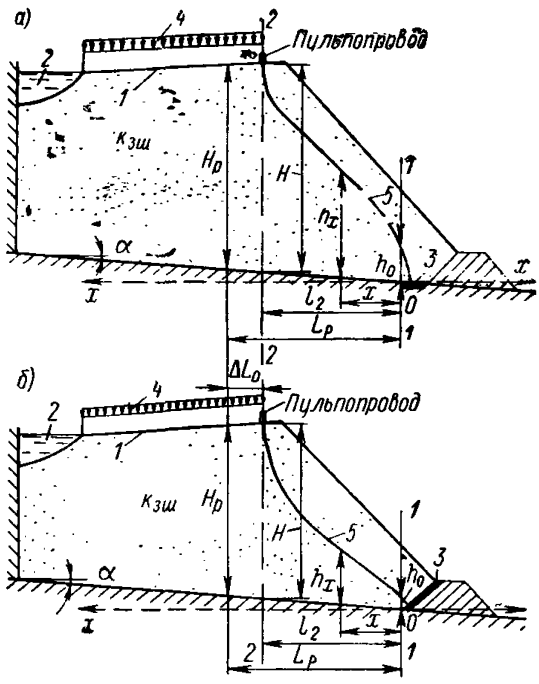

Рис. 4-4. Расчетные схемы фильтрации в золоотвале с учетом инфильтрации с откоса намыва

а - ленточный дренаж в основании перед первичной дамбой; *б* — наслонный дренаж на верховом откосе первичной дамбы; *1* — откос намыва; *2* — отстойный пруд; *3* — дренаж; *4* — зона инфильтрации; *5* — кривая депрессии.

В результате инфильтрации с надводного откоса намыва, периодически покрытого потоками пульпы, а также за счет водоотдачи намываемого материала в теле золоотвала возникает фильтрационный поток, который добавляется к фильтрационному потоку из отстойного пруда. Поэтому положение поверхности фильтрационного потока в теле золоотвала следует определять с учетом технологии производства работ по складированию золошлакового материала в конкретных условиях. Известны методы расчета кривой депрессии в теле намываемого сооружения, учитывающие фильтрационный поток из отстойного пруда, а также за счет инфильтрации с откоса намыва и водоотдачи намытого материала[1]. Однако применять такие методы расчета во всех случаях проектирования золоотвала нет необходимости вследствие обычно малой интенсивности намыва и небольшой высоты годичного слоя, который составляет для средних условий не более 1—2 *м*.

Вместе с тем не исключены случаи, когда отдельные участки золоотвала намываются при большой интенсивности (более 1 *м/сут*), поэтому для таких участков может потребоваться выполнение проверочного расчета устойчивости откоса при повышенном положении кривой депрессии, что определяет наиболее

[1] **Мелентьев В. А., Колпашников Н. П., Волнин В. А.** Намывные гидротехнические сооружения. М., «Энергия», 1973, 248 с. с ил.

неблагоприятные условия работы сооружения. Ниже приводится методика фильтрационного расчета золоотвала для такого наиболее неблагоприятного случая [1].

Расчетные зависимости даны при наличии в основании водоупорного грунта (рис. 4-4).

Удельный фильтрационный расход определяется по формуле:

$$q = k_{зш}\left[\sqrt{A_1^2 L_р^2 + H_р^2 + iL_р H_р} - A_1 L_р\right],$$

где $A_1 = \frac{1}{\cos\alpha} - \frac{i}{2}$; $L_р = l_2 + \Delta L_0$; $\Delta L_0 = \frac{H}{2(1+2i)}$; $H_р = H - i\Delta L_0$ $i = \sin\alpha$;

α — угол наклона основания к горизонту (при горизонтальной поверхности $\alpha = 0$); $k_{зш}$ — коэффициент фильтрации намытого золошлакового материала, *м/сут*.

Ординаты кривой депрессии между сечениями *1—1* и *2—2* вычисляются по следующей формуле:

$$h_x = \sqrt{\left(\frac{q}{k_{зш}} - \frac{ix}{2}\right)^2 + \frac{2xq}{k_{зш}\cos\alpha}} - \frac{ix}{2},$$

где $0 \leqslant x \leqslant l_2$.

Приложение 5

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗОЛООТВАЛА

Расчеты устойчивости откосов золоотвала следует производить согласно «Указаниям по расчету устойчивости земляных откосов» $\frac{\text{ВСН 04-71}}{\text{Минэнерго СССР}}$ (ВНИИГ, «Энергия», 1971).

В качестве основного метода установления степени устойчивости откоса рекомендуется применять метод круглоцилиндрических поверхностей сдвига грунта. При наличии в теле откоса или в основании резковыраженных слабых прослоек грунта следует дополнительно применять метод плоских поверхностей сдвига.

Для обеспечения достаточной устойчивости откоса необходимо, чтобы найденное расчетом значение коэффициента запаса устойчивости откоса $k_з^\circ$ удовлетворяло условию:

$$k_з^\circ \geqslant (k_з)_{доп}, \qquad (5\text{-}1)$$

где $(k_з)_{доп}$ — допускаемое значение коэффициента запаса устойчивости откоса, назначаемое по СНиП на проектирование плотин из грунтовых материалов (см. табл. 4 раздела 3 настоящего «Руководства»).

Согласно указаниям главы СНиП на проектирование оснований гидротехнических сооружений, учет избыточного порового давления в процессе консолидации намытого грунта производится в случае, когда коэффициент консолидации $\delta < 1 \cdot 10^7$ *см²/год*. Подсчет этого коэффициента для наиболее мелкой золы в преде-

[1] **Рекомендации** по проектированию сооружений шламохранилищ металлургической промышленности. М., «Стройиздат», 1965, 144 с. с ил.

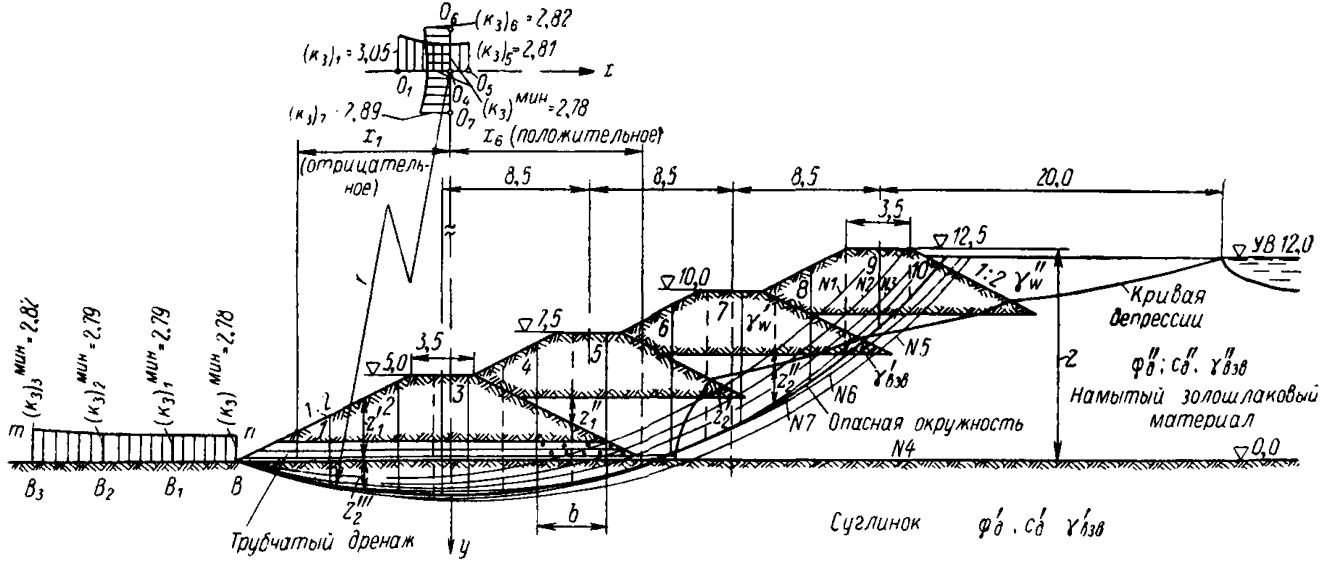

Рис. 5-1. Расчетная схема определения общей устойчивости откоса золоотвала.

лах отстойного пруда дает величину на один порядок выше (10^8 *см²/год*), а для зоны отложений шлаковых фракций — 10^{10} *см²/год*, т. е. гораздо больше указанной величины. Таким образом, возможность возникновения избыточного порового давления в намытом золошлаковом материале практически исключается, и учитывать его при расчете устойчивости откосов золоотвала не следует.

Пример определения коэффициента запаса общей устойчивости откоса золоотвала методом круглоцилиндрических поверхностей сдвига

На рис. 5-1 показан золоотвал с поярусным обвалованием из глинистого грунта с дренажными «пальцами» в основании первичной дамбы. Основные обозначения:
z — высота откоса; $\varphi_д$ — действительный угол внутреннего трения грунта или золошлакового материала; $c_д$ — действительное удельное сцепление; n — пористость грунта или золошлакового материала; $\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета грунта или золошлакового материала; γ_w — объемный вес грунта или золошлакового материала в состоянии естественной влажности; $\gamma_{взв}$ — объемный вес взвешенного в воде грунта или золошлакового материала:

$$\gamma_{взв} = \gamma_{ск} - (1 - n)\,\gamma_в. \qquad (5\text{-}2)$$

Обозначение объемного веса грунта

ВСН 04-71 Минэнерго СССР	Настоящее „Руководство"
$\gamma_{сух}'$ — объемный вес абсолютно сухого грунта $\gamma_{сух}$ — объемный вес практически „сухого" грунта	$\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета грунта γ_w — объемный вес грунта в состоянии естественной влажности

Основанием золоотвала служит суглинок, обладающий следующими физико-механическими свойствами:

$$\varphi_д' = 24°; \quad c_д' = 0{,}40\ кгс/см^2; \quad \gamma_{ск}' = 1{,}70\ т/м^3;$$
$$n = 0{,}36; \quad \gamma_{взв}' = 1{,}10\ т/м^3; \quad \gamma_w' = 1{,}87\ т/м^3.$$

Из этого же суглинка отсыпаны первичные дамбы и дамбы наращивания.

Намытый золошлаковый материал обладает следующими физико-механическими свойствами:

$$\varphi_д'' = 26°; \quad c_д'' = 0{,}05\ кгс/см^2; \quad \gamma_{ск}'' = 1{,}00\ т/м^3;$$
$$n = 0{,}59; \quad \gamma_{взв}'' = 0{,}59\ т/м^3; \quad \gamma_w'' = 1{,}10\ т/м^3.$$

Положение кривой депрессии в теле намытого золоотвала было установлено исследованиями по методу ЭГДА.

Задаются рядом возможных круглоцилиндрических поверхностей сдвига, проходящих сначала через точку B, расположенную у подошвы откоса, а затем через точки B_1, B_2 и B_3 (рис. 5-1).

Для каждого выделенного отсека обрушения, ограниченного снизу заданной дугой сдвига, определяется коэффициент запаса устойчивости. При этом используется способ весового давления [1]. По этому способу в случае откоса, сложенного неоднородным грунтом и подверженного воздействию фильтрационных сил, расчет ведется в такой последовательности.

1. Рассматриваемый отсек обрушения разбивается на вертикальные «столбики» (фрагменты) шириной b путем проведения соответствующих вертикалей. При этом величину b следует назначать, например, такой: $b \simeq (1/3 \div 1/4)z$, где z — высота откоса. Здесь $b = 4{,}0$ *м*.

2. В табл. 5-1 подсчитываются для каждого элементарного столбика величины H_1 по формуле

$$H_1 = (\Delta_w' z_1' + \Delta_w'' z_1'') + \left(\Delta'_{взв} z_2' + \Delta''_{взв} z_2'' + \Delta'_{взв} z_2'''\right), \qquad (5\text{-}3)$$

где z_1', z_2', z_1'', z_2'', z_2''' — высоты слоев с разными объемными весами, измеренные по осям отдельных вертикальных столбиков, на которые разбит отсек обрушения (рис. 5-1) [2].

$$\Delta_w' = \frac{\gamma_w'}{\gamma_в}; \quad \Delta_w'' = \frac{\gamma_w''}{\gamma_в}; \quad \Delta'_{взв} = \frac{\gamma'_{взв}}{\gamma_в}; \quad \Delta''_{взв} = \frac{\gamma''_{взв}}{\gamma_в}. \qquad (5\text{-}4)$$

Таблица 5-1

$$\Delta_w' = \frac{1{,}87}{1{,}00} = 1{,}87; \quad \Delta_w'' = \frac{1{,}10}{1{,}00} = 1{,}10; \quad \Delta'_{взв} = \frac{1{,}10}{1{,}00} = 1{,}10; \quad \Delta''_{взв} = \frac{0{,}59}{1{,}00} = 0{,}59$$

(для опасной окружности O_1)

№ столбика	z_1', *м*	z_1'', *м*	z_2', *м*	z_2'', *м*	z_2''', *м*	$\Delta_w' \cdot z_1'$	$\Delta_w'' \cdot z_1''$	$\Delta'_{взв} \cdot z_2'$	$\Delta''_{взв} \cdot z_2''$	$\Delta'_{взв} \cdot z_2'''$	H_1, *м*
1	1,72	—	—	—	1,06	3,22	—	—	—	1,17	4,39
2	3,60	—	—	—	1,75	6,73	—	—	—	1,93	8,66
3	4,97	—	—	—	2,10	9,30	—	—	—	2,31	11,61
4	5,75	0.10	—	—	2,00	10,75	0,11	—	—	2,20	13,06
5	5.75	1,60	—	—	1,50	10,75	1,76	—	—	1,65	14,16
6	4,67	3,39	—	—	0,52	8,72	3,73	—	—	0,58	13,03
7	4,37	1,84	0,31	2,29	—	8,15	2,02	0,34	1,35	—	11,86
8	4,22	0,60	—	2,60	—	7,88	0,66	—	1,53	—	10,07
9	4,34	1,00	0,30	0,67	—	8,12	1,10	0,33	0,40	—	9,95
10	2,88	0,24	—	—	—	5,38	0,26	—	—	—	5,64

[1] **Чугаев Р. Р.** Земляные гидротехнические сооружения. Л., «Энергия», 1967, 460 с. с ил.

[2] При разбивке отсека обрушения на отдельные вертикальные столбики шириной b в некоторых случаях получаются «остатки», т. е. элементарные отсеки шириной меньше b. В этих случаях при составлении расчетной таблицы записываются не действительные значения z, а приведенные значения $z_{пр}$, определяемые по формуле $z_{пр} = F/b$, где F — площадь «остатка».

3. Из имеющихся величин $\operatorname{tg}\varphi_д'$; $\operatorname{tg}\varphi_д''$; $c_д'$ и $c_д''$ выбираются „основные“ величины $\operatorname{tg}\varphi_д$ и $c_д$ и обозначаются через $\operatorname{tg}\varphi_д^{oc}$ и $c_д^{oc}$ (в нашем примере за $\operatorname{tg}\varphi_д^{oc}$ и $c_д^{oc}$ приняты значения $\operatorname{tg}\varphi_д'$ и $c_д'$).

4. В табл. 5-2 вычисляются величины:

$$\Sigma(\varepsilon H_1); \qquad \Sigma(H_2 x); \qquad \Sigma(\mu\delta s),$$

где

$$H_2 = H_1 + (z_2' + z_2'' + z_2'''); \qquad z_2' + z_2'' + z_2''' = z_2; \tag{5-5}$$

x — абсцисса, измеряемая от вертикальной оси $0y$ (рис. 5-1) до вертикальной оси данного элементарного столбика, проведенной через его центр тяжести;

$$\varepsilon = \frac{\operatorname{tg}\varphi_д}{\operatorname{tg}\varphi_д^{oc}}; \qquad \mu = \frac{c_д}{c_д^{oc}}, \tag{5-6}$$

δS — длина элемента дуги, образующего подошву данного столбика.

5. Искомое значение коэффициента запаса устойчивости для заданного отсека обрушения находится по формуле

$$k_з = \left[r \cdot \frac{\Sigma(\varepsilon H_1)}{\Sigma(H_2 x)}\right] \operatorname{tg}\varphi_д^{oc} + \left[\frac{r}{b\gamma_в} \cdot \frac{\Sigma(\mu\delta s)}{\Sigma(H_2 x)}\right] \cdot c_д^{oc}, \tag{5-7}$$

где r — радиус дуги сдвига заданного отсека обрушения.

На рис. 5-1 показаны семь окружностей сдвига, проходящие через точку B. Коэффициенты запаса устойчивости, вычисленные по формуле (5-7) для каждой намеченной окружности, выписаны у соответствующих центров O_1, O_2, O_3 ....

Сопоставляются полученные значения $k_з$ и устанавливается среди них минимальная величина, которая обозначается $(k_з)_{мин}$. В нашем примере наиболее опасной поверхностью сдвига оказалась поверхность № 4, а величина минимального коэффициента запаса устойчивости, отвечающего этой окружности, оказалась равной:

$$(k_з)_{мин} = 2{,}78.$$

Примечание. Для рассматриваемого примера приведены только две расчетные таблицы, служащие для определения $k_з$, относящегося к опасной окружности № 4 (O_4).

На чертеже, аналогичном рис. 5-1, задаются рядом дуг сдвига, проходящих через точку B_1. Для каждой дуги сдвига подсчитывается (в таблицах, подобных табл. 5-1 и 5-2) соответствующее значение $(k_з)_{мин}$. Минимальное значение $k_з$ для точки B_1 оказалось равным $(k_з)_{1мин} = 2{,}79$.

Рассматривая подобным же образом точки B_2 и B_3, через которые соответственно проходят возможные окружности сдвига,

Таблица 5-2

$r = 37{,}10$ *м*; $b = 4{,}0$ *м*; $\operatorname{tg}\varphi_д^{ос} = 0{,}4452$; $c_д^{ос} = 4{,}0$ *тс/м²*; $\dfrac{r}{b\gamma_в} = \dfrac{37{,}10}{4 \cdot 1} = 9{,}27$ *м³/т*

(для опасной окружности O_4)

№ столбика	H_1, *м* (из таблицы 5-1)	x, *м*	z_2, *м*	$H_2 = H_1 + z_2$	$H_2 \cdot x$	$\operatorname{tg}\varphi_д$	$\varepsilon = \dfrac{\operatorname{tg}\varphi_д}{\operatorname{tg}\varphi_д^{ос}}$	$\varepsilon \cdot H_1$	$c_д$	$\mu = \dfrac{c_д}{c_д^{ос}}$	δs	$\mu \cdot \delta s$
1	4,39	—8,8	1,06	5,45	—48,00	0,4452	1,0	4,39	4,0	1,000	5,40	5,40
2	8,66	—5,0	1,75	10,41	—52,00	0,4452	1,0	8,66	4,0	1,000	4,00	4,00
3	11,61	—1,0	2,10	13,71	—13,71	0,4452	1,0	11,61	4,0	1,000	4,00	4,00
4	13,06	3,0	2,00	15,06	45,18	0,4452	1,0	13,06	4,0	1,000	4,00	4,00
5	14,16	7,0	1,50	15,66	110,00	0,4452	1,0	14,16	4,0	1,000	4,00	4,00
6	13,03	11,0	0,52	13,55	149,00	0,4452	1,0	13,03	4,0	1,000	4,00	4,00
7	11,86	15,0	2,60	14,46	217,00	0,4877	1,09	12,90	0,5	0,125	4,35	0,54
8	10,07	19,0	2,60	12,67	240,00	0,4877	1,09	10,07	0,5	0,125	4,70	0,59
9	9,95	23,0	0,97	10,92	251,00	$\dfrac{0,4877}{0,4452}$	$\dfrac{1,09}{1,00}$	$\dfrac{8,50}{2,15}$	$\dfrac{0,5}{4,0}$	$\dfrac{0,125}{1,00}$	$\dfrac{4,00}{1,10}$	$\dfrac{0,50}{1,10}$
10	5,64	26,4	—	5,64	149,00	$\dfrac{0,4452}{0,4877}$	$\dfrac{1,00}{1,09}$	$\dfrac{3,36}{2,48}$	$\dfrac{4,0}{0,5}$	$\dfrac{1,00}{0,125}$	$\dfrac{3,70}{2,50}$	$\dfrac{3,70}{0,31}$
					$\Sigma = 1047{,}47$			$\Sigma = 104{,}37$				$\Sigma = 32{,}34$

$$(k_3)_4 = \left[r\,\frac{\Sigma(\varepsilon H_1)}{\Sigma(H_2 \cdot x)}\right]\operatorname{tg}\varphi_д^{ос} + \left[\frac{r}{b\gamma_в}\cdot\frac{\Sigma(\mu\delta s)}{\Sigma(H_2 \cdot x)}\right]c_д^{ос} = \left[37{,}10 \cdot \frac{104{,}37}{1047{,}47}\right]\cdot 0{,}4452 + \left[9{,}27 \cdot \frac{32{,}34}{1047{,}47}\right]\cdot 4 = 2{,}785.$$

находят следующие значения коэффициента запаса устойчивости:

$$(k_з)_{2\ мин} = 2{,}79; \qquad (k_з)_{3\ мин} = 2{,}82.$$

Таким образом, в результате расчета получается ряд минимальных значений коэффициента запаса устойчивости, отвечающих различным точкам B. Чтобы найти минимум-миниморум значений $k_з$, строится вдоль линии $B—B_1—B_2—B_3$ график изменения $(k_з)_{мин}$ (кривая mn на рис. 5-1). По этому графику определяется искомое значение коэффициента $k_з°$ запаса устойчивости откоса, а затем по формуле (5-1) сравнивается это значение $k_з$ с допускаемым значением коэффициента запаса устойчивости откоса. В нашем примере $k_з° = (k_з)_{мин} = 2{,}78$.

Примечание. Величина коэффициента запаса оказалась больше нормативной ($k_з° > (k_з)_{доп}$), что подтверждает возможность принятия в данных условиях более крутого уклона откоса золоотвала.

Приложение 6

УПРОЩЕННЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА КОНЕЧНОЙ ОСАДКИ ДАМБЫ НАРАЩИВАНИЯ, ВОЗВЕДЕННОЙ НА НАМЫТОМ ЗОЛОШЛАКОВОМ МАТЕРИАЛЕ

Рассматривается случай, когда дамба возведена на проектную высоту, но намыв золошлакового материала под защитой этой дамбы еще не производится.

Трапецеидальное поперечное сечение дамбы может быть разбито на три части: две треугольные и одна прямоугольная, причем каждая из этих частей представляет собой нагрузку, самостоятельно действующую на основание (рис. 6-1).

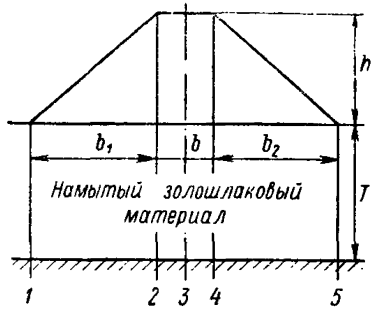

Рис. 6-1. Схема расчетных вертикалей на поперечном сечении дамбы наращивания.

Механика грунтов имеет решения по распространению напряжений в линейно-деформируемом массиве от действия полосовой распределенной нагрузки в виде прямоугольника и треугольника.

Определение напряжений σ_z в долях от величины P равномерно распределенной нагрузки и напряжений σ_z в долях от максимальной величины P — нагрузки, распределенной по треугольнику, выполняется с помощью табл. 6-1 и 6-2 [1].

[1] **Цытович Н. А.** Механика грунтов. М., Госиздат литературы по строительству и архитектуре, 1963, 528 с. с ил.

Таблица 6-1

Величины напряжений σ_z в долях от интенсивности равномерно распределенной нагрузки P

z/b \ y/b	0,0	0,05	0,50	1,0	1,5	2,0
0,0	1,00	1,00	0,50	0,0	0,0	0,0
0,25	0,96	0,90	0,50	0,02	0,0	0,0
0,50	0,82	0,74	0,48	0,08	0,02	0,0
0,75	0,67	0,61	0,45	0,15	0,04	0,02
1,00	0,55	0,51	0,41	0,19	0,07	0,03
1,25	0,46	0,44	0,37	0,20	0,10	0,04
1,50	0,40	0,38	0,33	0,21	0,11	0,06
1,75	0,35	0,34	0,30	0,21	0,13	0,07
2,00	0,31	0,31	0,28	0,20	0,13	0,08
3,00	0,21	0,21	0,20	0,17	0,135	0,10
4,00	0,16	0,16	0,15	0,14	0,12	0,10
5,00	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,09
6,00	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,0

Таблица 6-2

Величины напряжений σ_z при действии нагрузки, распределенной по треугольнику, в долях от максимальной интенсивности нагрузки P

z/b_1 \ y/b	−1,5	−1,0	−0,5	0,0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,50	0,75	0,50	0,00	0,00	0,00
0,25	0,00	0,00	0,001	0,075	0,256	0,480	0,643	0,424	0,015	0,003	0,00
0,50	0,002	0,003	0,023	0,127	0,263	0,410	0,477	0,353	0,056	0,017	0,003
0,75	0,006	0,016	0,042	0,153	0,248	0,335	0,361	0,293	0,108	0,024	0,009
1,00	0,014	0,025	0,061	0,159	0,223	0,275	0,279	0,241	0,129	0,045	0,013
1,50	0,020	0,048	0,096	0,145	0,178	0,200	0,202	0,184	0,124	0,082	0,041
2,00	0,033	0,061	0,092	0,127	0,146	0,155	0,163	0,153	0,108	0,069	0,050
3,00	0,050	0,064	0,080	0,096	0,103	0,104	0,108	0,104	0,090	0,071	0,050
4,00	0,051	0,060	0,067	0,075	0,078	0,085	0,082	0,075	0,073	0,060	0,049
5,00	0,047	0,052	0,057	0,059	0,062	0,063	0,063	0,065	0,061	0,051	0,047
6,00	0,041	0,041	0,050	0,051	0,052	0,053	0,053	0,053	0,050	0,050	0,045

В этих таблицах приняты следующие условные обозначения (рис. 6-1): z — глубина от поверхности золошлаковых отложений; y — положение вертикали относительно центра координат; b_1 и b_2 — горизонтальное заложение верхового и низового клина дамбы (заложение верхового откоса принять равным заложению низового откоса); b — ширина гребня дамбы.

Поскольку треугольные и прямоугольные нагрузки от веса дамбы являются сопряженными, то необходимо знать их совместное влияние с учетом расположения расчетных вертикалей, для чего расчет ведется при следующих значениях y (табл. 6-3).

Таблица 6-3

Расчет величины y для вертикалей при различных нагрузках

Вид нагрузки	Номер вертикали				
	1	2	3	4	5
Треугольная слева	0	b_1	$b_1+\frac{b}{2}$	b_1+b	b_1+b+b_2
Прямоугольная	$b_1+\frac{b}{2}$	$\frac{b}{2}$	0	$\frac{b}{2}$	$b_2+\frac{b}{2}$
Треугольная справа	b_2+b+b_1	b_2+b	$b_2+\frac{b}{2}$	b	0

Для расчета должно быть задано:

а) объемный вес материала тела дамбы в состоянии естественной влажности $\gamma_{wд}$;

б) объемный вес отложений золошлакового материала в состоянии естественной влажности $\gamma_{wз}$;

в) коэффициент пористости отложений золошлакового материала на поверхности ε_1;

г) кривая $\varepsilon=f(p)$, полученная в результате исследования золошлакового материала на компрессию.

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1. Определяется максимальное давление от веса дамбы на поверхности отложений по формуле

$$P_д=\gamma_{wд}h,$$

где h — высота дамбы.

2. Определяется суммарное напряжение σ_{z0} от веса дамбы в основании отвала (на поверхности грунта) на глубине $z=T$, раздельно от треугольной нагрузки слева, от прямоугольной нагрузки и от треугольной нагрузки справа по формуле

$$\sigma_{z0}=(\sigma_{z\text{ тр. л}}+\sigma_{z\text{ пр}}+\sigma_{z\text{ тр. п}})P_д,$$

для всех выбранных вертикалей.

3. Определяется напряжение $P_{ест}$ от веса отложений золошлакового материала в основании отвала (на поверхности грунта) на глубине $z=T$:

$$P_{ест}=\gamma_{wз}T.$$

4. Вычисляется суммарное давление в основании отвала на глубине T для всех выбранных вертикалей:

$$P_2=\sigma_{z0}+P_{ест}.$$

5. С помощью компрессионной кривой $\varepsilon=f(p)$ определяются величины коэффициента пористости отложений ε_2 при давлении P_2 для всех выбранных вертикалей.

6. Вычисляется коэффициент сжимаемости a для всех выбранных вертикалей:

$$a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P_2 - P_1},$$

величина $P_1 = 0$ для поверхности отложений (до возведения дамбы).

При полевых испытаниях методом статической нагрузки с помощью стандартных штампов, в результате которых определяется модуль деформации E, коэффициент сжимаемости вычисляется по формуле

$$a = \frac{\beta (1 + \varepsilon_1)}{E},$$

где β — безразмерный коэффициент, принимаемый для зольных отложений 0,80.

Осадка сооружения для всех выбранных вертикалей вычисляется по следующей формуле:

$$s = T \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} = Ta \frac{P_2 - P_1}{1 + \varepsilon_1}.$$

Пример расчета осадки дамбы наращивания из грунта на отложениях золы

Исходные данные.

Проектное сечение дамбы:

ширина по гребню $b = 300$ *см*;

высота дамбы $h = 500$ *см*;

уклон откосов 1 : 2.

Заложение верхового и низового откосов $b_1 = b_2 = 1000$ *см*.

Объемный вес грунта тела дамбы в состоянии естественной влажности $\gamma_{wд} = 1{,}60$ *г/см*^{3}.

Максимальное давление от веса дамбы на поверхности отложений $P_д = 1{,}60 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 0{,}80$ *кгс/см*^{2}.

Глубина от поверхности отложений золы до основания отвала $T = 1000$ *см*.

Объемный вес отложений золы во взвешенном состоянии (ниже уровня воды, совпадающего с поверхностью отложений) $\gamma_{wз} = 0{,}50$ *г/см*^{3}.

Напряжение от веса отложений в основании отвала $P_{ест} = 0{,}50 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 0{,}50$ *кгс/см*^{2}.

Коэффициент пористости отложений (на поверхности) $\varepsilon_1 = 1{,}565$ при $P_1 = 0$ принимается по компрессионной кривой.

Вычисление суммарных напряжений σ_{zo} от веса дамбы в основании отвала сведено в табл. 6-4.

Расположение вертикалей принято по данным табл. 6-3; относительная глубина до основания отвала для верхового и

низового клина дамбы $\frac{T}{b_1} = \frac{1000}{1000} = 1{,}0$, для центральной части $\frac{T}{b} = \frac{1000}{300} = 3{,}33$.

Таблица 6-4

Вычисление суммарных напряжений σ_{z0}

Вертикаль	Напряжение, в долях $P_д$						$\Sigma\sigma_{z0}$	$\Sigma\sigma_{z0}P_д$, кгс/см²
	Треугольная нагрузка слева		Прямоугольная нагрузка		Треугольная нагрузка справа			
	y/b_1	$\sigma_{z0}=f(P_д)$	y/b	$\sigma_{z0}=f(P_д)$	y/b_1	$\sigma_{z0}=f(P_д)$		
1	0,0	0,159	3,85	0,050	2,30	0,026	0,235	0,19
2	1,00	0,241	0,50	0.180	1,30	0,174	0,595	0,47
3	1,15	0,207	0,00	0,190	1,15	0,207	0,604	0,48
4	1,30	0,174	0,50	0,180	1,00	0,241	0,595	0,47
5	2,30	0,026	3,85	0,050	0,00	0,159	0,235	0,19

Результаты вычисления осадки отложений золы под дамбой для всех выбранных вертикалей сведены в табл. 6-5.

Таблица 6-5

Вычисление осадки отложений золы

Вертикаль	$\Sigma\sigma_{z0}P_д$, кгс/см²	$P_{ест}$, кгс/см²	P_2, кгс/см²	Коэффициент пористости		a, см²/кг	s, см
				ε_1	ε_2 *		
1	0,19	0,50	0,69	1,565	1,52	0,065	17
2	0,47	0,50	0,97	1,565	1,50	0,067	26
3	0,48	0,50	0,98	1,565	1,50	0,067	26
4	0,47	0,50	0,97	1,565	1,50	0,067	26
5	0,19	0,50	0,69	1,565	1,52	0,065	17

* Величина ε_2 снимается с компрессионной кривой по величине P_2.

Приложение 7

РАСЧЕТЫ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ГЗУ

А. Расчет составляющих водного баланса для среднемноголетнего года и года расчетной обеспеченности

Составляющие приходной и расходной частей водного баланса рекомендуется определять следующим путем.

1. Величина W_c (объем водной составляющей пульпы) принимается по данным проекта ГЗУ.

2. Величина объема осадков, выпадающих на поверхность надводного откоса намыва

$$W_н = x_0 F_1, \tag{7-1}$$

где x_0 — среднемноголетняя сумма осадков, выпадающих на единицу площади в районе расположения золоотвального хозяйства, *м*; F_1 — площадь надводного пляжа золоотвала, *м*^{2}.

Для среднемноголетнего года x_0 определяется по данным ближайшей метеостанции или по карте изолиний осадков и сведениям, приводимым в климатологических справочниках. Годовая сумма осадков заданной обеспеченности ($x_0^{P\%}$) определяется путем обработки не менее чем десятилетнего ряда значений годовых сумм осадков (полученных по данным ближайшей метеостанции или по климатологическим справочникам) методами математической статистики, используемыми, в частности, для вычисления обеспеченности стока.

Величина F_1 определяется по плану золоотвального хозяйства, где нанесены границы надводного пляжа и отстойного пруда, полученные по расчету длины пути осветления.

3. Величина объема осадков, выпадающих на зеркало пруда, каналов осветленной воды и дренажных канав:

$$W_п = x_0 F_2, \tag{7-2}$$

где F_2 — площадь зеркала отстойного пруда, каналов осветленной воды и дренажных канав, определяемая аналогично F_1, *м*^{2}.

4. Величина $W_в$ притока в пруд с площади водосбора, прилегающей к золоотвалу, как правило, для равнинных и пойменных золоотвалов, полностью отгороженных от окружающей местности дамбами, равна нулю.

В отдельных случаях отстойные пруды равнинных и пойменных золоотвалов могут иметь некоторую площадь водосбора. При этом величина стока будет в основном определяться физико-географическими условиями (почво-грунты, залесенность, заболоченность и т. д.) водосборной площади. Для овражных, косогорных и подводных золоотвалов, не отгороженных полностью от окружающей местности, поступающие в отстойный пруд с площади водосбора воды формируются склоновым стоком (сток с прилегающих к золоотвалу склонов, не имеющих достаточно четко выраженной гидрографической сети) и стоком временно действующих и маловодных водотоков. Приток воды в пруд с площади водосбора за среднемноголетний период определяется по зависимости:

$$W_в = h_0 F_3, \tag{7-3}$$

где h_0 — среднемноголетний слой стока (годовая норма стока) с площади водосбора, прилегающей к золоотвалу, *м*; F_3 — площадь водосбора, *м*^{2}.

В зависимости от физико-географических условий водосборной площади рекомендуется определять h_0 по картам изолиний

стока. Если площадь водосбора отстойного пруда — заболоченная территория, h_0 определяется по картограммам стока с болот [1].

Если площадь водосбора представлена участком равнинной местности, сток с нее можно принять равным объему весеннего стока. В этом случае h_0 определяется по картам изолиний весеннего стока [2].

При залесенности водосбора, близкой к 100% его площади, величина h_0, определенная по картам, должна быть уменьшена на 50%. Склоновый сток также может быть приравнен к весеннему поверхностному стоку. Величины h_0, определенные по картограммам, должны быть уменьшены в лесостепной зоне на 20—30% и в степной зоне на 50%.

Для засушливых степных и полупустынных районов Прикаспийской низменности Казахстана и Южной Сибири средний весенний поверхностный сток должен быть увеличен в 2—3 раза для получения величины склонового стока. Наконец, сток временно действующих и маловодных водотоков может быть отождествлен с весенним поверхностным стоком и определен по соответствующим картам изолиний [2].

Площадь водосбора золоотвала $F_з$ определяется по крупномасштабным топографическим планам участка местности, отводимого под строительство золоотвального хозяйства.

Расчет объема стока заданной обеспеченности с водосборной площади рекомендуется выполнять по зависимости

$$W_в^{P\%} = h_0^{P\%} F_з, \tag{7-4}$$

где $h_0^{P\%}$ — слой стока заданной обеспеченности с площади водосбора золоотвала, *м*.

Если площадь водосбора — заболоченная территория, обеспеченный расход с нее в зависимости от вида заболоченности определяется по картам изолиний. В остальных случаях под $h_0^{P\%}$ понимается слой весеннего поверхностного стока заданной обеспеченности. Его величина определяется по зависимости

$$h_0^{P\%} = (\Phi c_v + 1) h_0, \tag{7-5}$$

где Ф — относительные отклонения ординат биноминальной кривой обеспеченности от середины (от единицы) при $c_v = 1$ и заданном значении c_s; c_v — коэффициент вариации весеннего стока; c_s — коэффициент асимметрии ряда.

Величина Ф в зависимости от c_s выбирается по таблицам [3]. Коэффициент асимметрии принимается $c_s = 2c_v$. Коэффициент

---

[1] **Гидрологические** расчеты при осушении болот и заболоченных земель. Приложение IX к климатическому атласу СССР, ч. I. Гидрометеоиздат, 1960, 447 с.

[2] **Указания** по определению расчетных гидрологических характеристик, СН 435-72. Гидрометеоиздат, 1972, 19 с.

[3] **Воскресенский К. П.** Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках. Гидрометеоиздат, 1956, 468 с.

вариации c_v определяется по картам изолиний. При невозможности использовать карты изолиний коэффициент вариации весеннего стока может быть определен по зависимости

$$c_v = 0{,}78 - 0{,}29 \lg M_0, \tag{7-6}$$

где $M_0 = 31{,}54 h_0$ — среднемноголетний модуль весеннего поверхностного стока.

5. Величина $W_{пр}$ (объем сбросных вод других цехов электростанции и других предприятий, направляемых непосредственно в золоотвал) определяется по данным проекта ГЗУ электрической станции.

6. Наиболее важным в задаче определения величины потерь на фильтрацию через ложе пруда $W_{ф.п}$ является выбор расчетной схемы применительно к отстойному пруду заданной конфигурации, находящемуся в конкретных гидрогеологических условиях, для чего необходима схематизация геологического строения ложа пруда, установление бытового гидрогеологического режима и границ области фильтрации золоотвала и окружающей гидрографической сети. Величину $W_{ф.п}$ для вновь организуемого отстойного пруда при отсутствии данных о коэффициенте фильтрации рекомендуется определять по зависимости

$$W_{ф.\,п} = z_{ф.\,п} F_2 T, \tag{7-7}$$

где $z_{ф.п}$ — слой воды, теряемой на фильтрацию из отстойного пруда, *м/год*; T — расчетный период времени, равный одному году.

Величина $z_{ф.п}$ определяется по нормам в зависимости от следующих градаций гидрогеологических условий местности, где размещается золоотвал:

а) хорошие гидрогеологические условия — ложе сложено водонепроницаемыми грунтами, близко залегают грунтовые воды в бортах,

б) средние,

в) плохие — ложе сложено водопроницаемыми грунтами, водоносные горизонты отсутствуют.

В зависимости от этих условий потери на фильтрацию принимаются следующие:

Гидрогеологические условия	Потери на фильтрацию, *м/год*
Хорошие	0,5
Средние	0,5—1,0
Плохие	1,0—2,0

Расчет фильтрационных потерь аналитическим путем нуждается в обосновании натурными данными о коэффициенте фильтрации, положении кривой депрессии и т. п., но дает более точные и надежные результаты. Величина $W_{ф.п}$ в этом случае определяется по зависимости:

$$W_{ф.\,п} = W_{ф.\,л} + W_{ф.\,д}, \tag{7-8}$$

где $W_{ф.л}$ — объем фильтрационных потерь через ложе пруда, $м^3$; $W_{ф.д}$ — объем фильтрационных потерь через ограждающие пруд дамбы, $м^3$.

Примечание. Величина $W_{ф.д}$ учитывается только в тех случаях, когда воды, профильтровавшиеся через ограждающие дамбы, выводятся за пределы системы ГЗУ. В тех случаях, когда воды, профильтровавшиеся через ограждающие пруд дамбы, перехватываются дренажными канавами или дренажами других типов и направляются обратно в систему (отстойный пруд, каналы осветленной воды) или перехватываются каналами осветленной воды, величина $W_{ф.д}$ не учитывается.

$$W_{ф.\,л} = Q_{ф.\,л}\,T, \qquad W_{ф.\,д} = Q_{ф.\,д}\,T, \tag{7-9}$$

где $Q_{ф.\,л}$ — расход фильтрационных вод через ложе отстойного пруда, *м³/сут*; $Q_{ф.\,д}$ — расход фильтрационных вод через ограждающие пруд дамбы, *м³/сут*; T — расчетный период времени, равный 365 суткам.

Величина $Q_{ф.л}$ определяется в зависимости от гидрогеологических условий размещения золоотвала, которые приводят к двум видам фильтрации [1].

1) Случай свободной фильтрации, при котором положение грунтовых вод не влияет на фильтрацию из пруда. Это может осуществиться при следующих гидрогеологических условиях:

а) в основании отстойного пруда залегают однородные грунты, подстилаемые на большой глубине пластом с высокой водонепроницаемостью;

б) ложе пруда покрыто слабопроницаемым экранирующим слоем, и уровень грунтовых вод оказывается ниже подошвы слабопроницаемого слоя (пруд с зольными отложениями на дне); коэффициент фильтрации золы на один порядок меньше коэффициента фильтрации подстилающего слоя.

При первом сочетании гидрогеологических условий (а) могут быть рассчитаны фильтрационные потери из пруда без зольных отложений на дне. Величина $Q_{ф.л}$ определяется по зависимости

$$Q_{ф.\,л} = k_{ф.\,п} L_{ср} (B_{ср} + 2H_{ср}), \tag{7-10}$$

где $k_{ф.\,п}$ — коэффициент фильтрации ложа пруда, *м/сут*; $L_{ср}$ — средняя длина отстойного пруда, *м*; $B_{ср}$ — средняя ширина отстойного пруда, *м*; $H_{ср}$ — средняя глубина отстойного пруда, *м*.

Величина $k_{ф.п}$ определяется по справочным данным в зависимости от состава грунта, слагающего ложе пруда, или по результатам натурных определений. Величины $B_{ср}$, $H_{ср}$ и $L_{ср}$ определяются по плану пруда и вычисленной длине пути осветления.

При втором сочетании гидрогеологических условий (б) могут быть рассчитаны фильтрационные потери из пруда, ложе которого покрыто зольными отложениями. Величина $Q_{ф.л}$ определяется по зависимости

$$Q_{ф.\,л} = k_{ф.\,з} \left(1 + \frac{H_{ср}}{m_{ср}}\right) F_2, \tag{7-11}$$

где $k_{ф.\,з}$ — коэффициент фильтрации зольных отложений, покрывающих ложе отстойного пруда, *м/сут*; $m_{ср}$ — средняя толщина слоя зольных отложений, покрывающих ложе, *м*.

---

[1] **Бочевер Ф. И., Гармонов И. В., Лебедев А. В., Шестаков В. М.** Основы гидрогеологических расчетов. М., «Недра», 1969, 367 с.

Величина $k_{ф.з}$ определяется в натурных условиях по пруду-аналогу. Величина $m_{ср}$ может быть определена посредством расчета профиля поверхности подводных отложений по зависимости п. 4.4 «Руководства» или путем промеров глубин пруда-аналога и сопоставления полученных отметок поверхности отложений с отметками «черной» поверхности.

2) Случай подпертой фильтрации, при котором положение уровня грунтовых вод влияет на фильтрацию из пруда. Это может осуществиться при следующих гидрогеологических условиях:

а) в основании пруда залегают однородные грунты, а уровень грунтовых вод располагается в непосредственной близости от поверхности ложа отстойного пруда или выше этой поверхности;

б) ложе пруда покрыто слабопроницаемым экранирующим слоем, а уровень грунтовых вод располагается выше подошвы слабопроницаемого слоя (пруд с зольными отложениями на дне).

При первом сочетании гидрогеологических условий (а) могут быть рассчитаны фильтрационные потери из пруда без зольных отложений на дне. Величина $Q_{ф.л}$ определяется по зависимости

$$Q_{ф.\,л} = k_{ф.\,п} q_r L_{ср}, \tag{7-12}$$

где q_r — приведенный фильтрационный расход, *м*.

Величина q_r определяется по зависимости

$$x = 0{,}5q_r + 0{,}5\,(B_{ср} - q_r)\,\mathrm{ch}\left(\frac{\pi}{q_r}y\right) + H_{ср}\,\mathrm{sh}\left(\frac{\pi}{q_r}y\right), \tag{7-13}$$

где x и y — координаты точек правой или левой половины кривой депрессии (начало координат располагается на поверхности воды среднего сечения пруда в точке $B_{ср}/2$; кривая депрессии начинается в точках уреза воды среднего сечения), *м*.

Для определения q_r по уравнению (7-13) должны быть известны координаты одной точки кривой депрессии. Эти координаты могут быть получены посредством пьезометрических наблюдений на пруде-аналоге или по плановым и высотным характеристикам уреза воды ближайшего к пруду водоема с практически постоянным уровнем (озеро, болото). Величина q_r находится путем решения уравнения (7-13) графически или подбором [1].

При втором сочетании гидрогеологических условий (б) могут быть рассчитаны фильтрационные потери из пруда, ложе которого покрыто зольными отложениями. Величина $Q_{ф.л}$ определяется по зависимости

$$Q_{ф.\,л} = \frac{L_{ср}\,(H_в - H_г)}{\sqrt{\dfrac{m_{ср}}{k_{ф.\,п}\,m_н k_{ф.\,з}}}\,\mathrm{cth}\,B_{ср}\sqrt{\dfrac{k_{ф.\,з}}{k_{ф.\,п} m_н m_{ср}}}}, \tag{7-14}$$

где $H_в$ — отметка поверхности воды в пруде, *м*; $H_г$ — отметка уровня грунтовых вод, до начала заполнения золоотвала, *м*; $m_н$ — мощность грунтового слоя, простирающегося от нижней поверхности зольных отложений до водоупора, *м*.

[1] **Аравин В. И., Нумеров С. Н.** Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. М., Госстройиздат, 1955, 226 с.

Величины $H_г$ и $m_н$ определяются на основе гидрогеологических данных.

Если гидрологические условия не соответствуют предлагаемой схематизации, расчет фильтрационных потерь из отстойного пруда следует производить методами расчета фильтрации через ложе каналов по литературным рекомендациям.

Величину $Q_{ф·д}$ во всех необходимых случаях следует определять по указаниям приложения 4.

7. Величина потерь на фильтрацию через ложе каналов осветленной воды и дренажных канав $W_{ф·к}$ определяется по зависимости

$$W_{ф.к} = Q_{ф.к} T, \tag{7-15}$$

где $Q_{ф.к}$ — расход фильтрационных вод через ложе каналов осветленной воды и дренажных канав.

Величина $Q_{ф·к}$ определяется в зависимости от гидрогеологических условий, перечисленных выше по формулам (7-10) или (7-12) и (7-13). При этом вместо геометрических характеристик ложа пруда берутся соответственно длина $l_к$, ширина $b_к$ и глубина $h_к$ каналов осветленной воды и дренажных канав, а вместо $k_{ф·п}$ — коэффициент фильтрации каналов осветленной воды и дренажных канав $k_{ф·к}$, определяемый в зависимости от характеристик грунтов ложа этих сооружений. В более сложных гидрогеологических условиях величина $Q_{ф·к}$ может быть определена по расчетным схемам, приводимым в литературе [1].

8. Величина испарения с поверхности золоотвала, занятой водами ГЗУ, $W_{и.в}$ рассчитывается так же, как и испарение с водоемов, содержащих неминерализованные воды, так как минерализация осветленной воды не превышает 10 *г/л*, а величина минерализации, при которой она начинает оказывать влияние на испарение, составляет 25—30 *г/л*.

Величина $W_{и.в}$ определяется по зависимости:

$$W_{и.в} = z_в F_в, \tag{7-16}$$

где $z_в$ — норма (среднемноголетний слой) испарения с поверхности воды, *м*; $F_в$ — площадь золоотвала, занятая водой (отстойный пруд, каналы осветленной воды, дренажные канавы), *м*^{2}.

Величина $z_в$ определяется по карте изолиний испарения с поверхности малых водоемов по рекомендациям [1]. В случае необходимости выполнения уточненного расчета потерь воды на испарение с поверхности отстойного пруда следует пользоваться также этими рекомендациями.

---

[1] **Указания** по расчету испарения с поверхности водоемов. Л., Гидрометеоиздат, 1969, 83 с.

9. Величина $W_г$ (объем воды, оставшейся в порах намытого золошлакового материала), определяется по зависимости

$$W_г = nW_{зш}, \tag{7-17}$$

где n — пористость отложений золошлакового материала (в долях единицы); $W_{зш}$ — объем золошлакового материала, уложенный на золоотвале за расчетный период, $м^3$.

Величина n определяется по зависимости

$$n = 1 - \frac{\gamma_{ск}}{\gamma_а}, \tag{7-18}$$

где $\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета золошлаковых отложений, определяемый по приложению 2, $г/см^3$; $\gamma_а$ — агрегатный удельный вес золошлаковых отложений, определяемый по приложению 1, $г/см^3$.

Величина $W_{зш}$ определяется в соответствии с рекомендациями п. 2.10 настоящего «Руководства».

10. Величина $W_{ис}$ потерь на испарение с поверхности, покрытой снегом, определяется по зависимости:

$$W_{ис} = z_с (F_1 + F_2), \tag{7-19}$$

где $z_с$ — норма испарения с поверхности, покрытой снегом, $м$.

Величина испарения с поверхности снега может быть принята $z_с = 0{,}10 z_в$.

11. Величина $W_{ст}$ внутристанционных потерь воды, как правило, складывается из потерь воды на испарение в скрубберах и при грануляции шлака. В среднем при грануляции шлака испаряется 15—25% воды, подаваемой в шлаковые ванны, а в скрубберах теряется до 15% циркулирующей в них воды. Все эти потери составляют не более 5% общего расхода системы ГЗУ и поэтому из расчета баланса могут быть исключены. В особых случаях величина $W_{ст}$ определяется по данным проекта ГЗУ.

12. Составляющая $W_д$ (объем воды, необходимый для поддержания уровня отстойного пруда) учитывается только при расчете водного баланса отстойных прудов, свободно сопрягающихся с надводным пляжем. При этом складируемый золошлаковый материал замывает часть площади отстойного пруда, превращая ее в надводный пляж и сокращая тем самым длину пути осветления (расстояние между урезом надводного пляжа и водосбросным сооружением) L_0. Когда расстояние между урезом надводного пляжа и водосбросным сооружением сокращается до величины $0{,}9L_0$, необходимо путем добавления воды в отстойный пруд увеличить площадь его зеркала, доведя тем самым длину пути осветления до расчетной величины.

Величина $W_д$ определяется по зависимости:

$$W_д = F_2 \Delta H, \tag{7-20}$$

где ΔH — разность отметок поверхности воды в отстойном пруде при площадях его зеркала, соответствующих длине пути осветления L_0 и $0{,}9L_0$, $м$.

Отметка поверхности воды в отстойном пруде, соответствующая длине пути осветления $0{,}9L_0$, определяется посредством на-

несения этой длины на план отстойного пруда в горизонталях и выяснения отметки горизонтали, пересекающейся с концом линии пути осветления (равной $0{,}9L_0$ и отложенной от водосбросного сооружения). Величина ΔH определяется путем вычитания полученной отметки из отметки горизонта воды, соответствующей длине пути осветления, равной L_0.

Б. Расчет составляющих водного баланса отдельно для летнего и зимнего периодов

Составляющие водного баланса отдельно для зимнего и летнего периодов рекомендуется определять следующим путем:

1. Величина потерь на ледообразование в отстойном пруде $W_{л.п}$, определяется по зависимости

$$W_{л.\,п} = 0{,}90 h_{л.\,п} F_2, \tag{7-21}$$

где $h_{л.\,п}$ — толщина ледового покрова пруда, *м*.

За толщину ледового покрова отстойного пруда может быть принята среднемноголетняя толщина льда на ближайшем к золоотвалу водоеме, полученная по результатам ежегодных наблюдений. Если таковые данные отсутствуют, то в качестве аналога может быть принята среднемноголетняя толщина льда, полученная по наблюдениям на ближайшем водотоке, которая пересчитывается по зависимости

$$h_{л.\,п} = 1{,}33 h_р, \tag{7-22}$$

где $h_р$ — толщина льда водотока (реки), *м*.

При полном отсутствии данных о ледовом покрове его толщина ориентировочно может быть получена по формуле Г. Р. Брегмана:

$$h_{л.\,п} = (\Sigma t°)^{0{,}67}, \tag{7-23}$$

где $\Sigma t°$ — сумма отрицательных температур воздуха за период нарастания льда $T_з$ (период, начинающийся с момента устойчивого перехода температуры воздуха через 0° С в область отрицательных значений и заканчивающийся переходом температуры воздуха в область положительных значений).

2. Величина $W_{л.к}$ определяется по зависимости

$$W_{л.\,к} = 0{,}90 h_{л.\,к} F_к, \tag{7-24}$$

где $h_{л.\,к}$ — толщина ледового покрова каналов осветленной воды, *м*; $F_к$ — площадь водного зеркала каналов осветленной воды, $м^2$.

За толщину ледового покрова каналов осветленной воды может быть принята среднемноголетняя толщина льда $h_л$, полученная по наблюдениям на ближайшем к золоотвалу малом водотоке. При отсутствии таких данных эта величина ориентировочно может быть получена по зависимости

$$h_{л.\,к} = 0{,}75\,(\Sigma t°)^{0{,}67}, \tag{7-25}$$

3. Величина потерь воды на образование наледей на надводном пляже золоотвала $W_{л.н}$ в настоящее время не может быть получена достаточно надежно расчетным путем. На основании натурных обследований золоотвалов она может быть принята следующей:

$$W_{л.\,н} = 0{,}10 W_{л.\,п}. \qquad (7\text{-}26)$$

4. Величины $W_{ф.пз}$ и $W_{ф.кз}$ определяются по рекомендациям раздела А настоящего приложения, п. 67. При этом за расчетный период времени принимается величина $T_з$ (период нарастания льда).

5. Величина $W_{г.з}$ (объем воды, оставшейся в порах золошлакового материала, уложенного в золоотвал в зимний период) определяется по рекомендациям раздела А настоящего приложения, п. 9. Входящая в зависимость (7-17) величина $W_{зш}$ — объем золошлакового материала, уложенного на золоотвале за расчетный период времени $T_з$.

6. Величина потерь воды на испарение заданной обеспеченности за безледоставный период $W^{P\%}_{и.в}$ определяется по зависимости

$$W^{P\%}_{и.\,в} = z_в k_и,$$

где $k_и$ — коэффициент, приводящий норму испарения к величине с расчетной обеспеченностью $P\%$. Величина $k_и$ выбирается по табл. 7-1.

Таблица 7-1

Значения $k_и$ в зависимости от зоны расположения золоотвального хозяйства и расчетной обеспеченности

Зоны	Расчетная обеспеченность, $P\%$					
	1	3	5	10	25	50
I—V	1,35	1,28	1,25	1,19	1,10	1,00
VI—VIII	1,23	1,19	1,16	1,13	1,07	1,00

Соответствующая зона выбирается по карте, приведенной в «Указаниях по расчету испарения с поверхности водоемов». Величина расчетной обеспеченности определяется по рекомендациям п. 5.13 настоящего «Руководства».

7. Величины потерь на фильтрацию через ложе пруда за летний период ($W_{фп.л}$) и через ложе каналов осветленной воды и дренажных канав за летний период ($W_{фк.л}$) определяются по рекомендациям раздела А настоящего приложения, п. 6 и 7; за расчетный период времени берется величина $T_л$, равная промежутку времени от момента установления положительной температуры воздуха до момента перехода этой температуры в область отрицательных значений.

8. Величина $W_{г.л}$ (объем воды, оставшейся в порах золошлакового материала, уложенного в золоотвал за летний период) оп-

ределяется по рекомендациям раздела А настоящего приложения, п. 9; за величину $W_{зш}$ принимается объем золошлакового материала, уложенного на золоотвале за расчетный период времени $T_л$.

Пример расчета отстойного пруда золоотвала

Технологические данные

Тепловая станция сжигает сланцевое топливо.

Расход воды в системе ГЗУ станции 10000 *м*³/*ч*.

Концентрация пульпы у сброса на надводный откос намыва $C_0 = 50000$ *мг/л*.

Длина надводного пляжа $L_н = 1250$ *м*.

Концентрация взвешенной золы в осветленной воде у насосной станции $c_n = 150$ *мг/л*.

Глубина воды у водосбросного колодца $H = 1{,}5$ *м*.

Расчет длины пруда (пути осветления)

Эффект осветления пульпы на надводном пляже:

$$Э_н = 100\left(1 - \frac{1}{3{,}2^{1{,}25}}\right) = 97{,}7\%.$$

Концентрация пульпы у места втекания в отстойный пруд:

$$c_* = 50000\left(1 - \frac{97{,}7}{100}\right) = 1150 \text{ мг/л}.$$

Потребный эффект осветления оборотного расхода в отстойном пруде:

$$Э = \frac{1150 - 150}{1150} = 87\%.$$

Процентная скорость осаждения при $c_* = 1150$ *мг/л* и $Э = 87\%$ выбирается по табл. 11 в разделе 5 настоящего „Руководства“:

$$u_0 = 0{,}00017 \text{ м/сек}.$$

Величины v_0 и N выбираются по табл. 10 раздела 5 „Руководства“: $v_0 = 0{,}77$ *м/сек*, $N = 0{,}066$.

Длина пути осветления:

$$L_0 = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}5 \times 0{,}77}{0{,}066 \times 0{,}00017}} = 450 \text{ м}.$$

Ширина пруда $B = 0{,}5\,L = 225$ *м*.

Пример расчета водного баланса системы ГЗУ

Описание системы

Станция сжигает смесь донецкого, кузнецкого и интинского углей и имеет мокрое золоулавливание. Выход золошлакового

материала составляет 411420 *т/год*. Объемный вес скелета отложений золы $\gamma_{ск}=0{,}70$ *т/м*^{3}, агрегатный удельный вес золы $\gamma_а=2{,}10$ *т/м*^{3}. Расход воды, подаваемой на грануляцию шлака, составляет 100 *м*^{3}*/ч*, а расход воды, циркулирующий в скрубберах, 700 *м*^{3}*/ч*. В систему ГЗУ поступают воды от гидроуборки в количестве 16 *м*^{3}*/ч*.

Золоотвал косогорного типа. Площадь надводного пляжа 28,6 *га*, а отстойного пруда 10,1 *га*. По границе золоотвала и примыкающего склона имеется нагорная канава, отводящая сток с площади водосбора. В основании золоотвала залегают флювиогляциальные отложения, представленные мелкими песками с включением большого количества гравийно-галечникового материала. Коэффициент фильтрации этого грунта достигает 20 *м/сут*. Коренные породы залегают на глубине 2,5—16,0 *м*. Уровень грунтовых вод располагается на глубине 0,2—2,0 *м*.

Средняя мощность зольных отложений на дне пруда по натурным измерениям на момент расчета составила 1,2 *м*. Коэффициент фильтрации зольных отложений с примесью глинистых частиц $k_{ф.з}=0{,}02$ *м/сут*. Вода из отстойного пруда возвращается к станции по трубопроводам. Величина осадков в районе золоотвала составляет $x_0=0{,}33$ *м*.

Расчет водного баланса системы ГЗУ

Приходная часть водного баланса для среднемноголетнего года в рассматриваемом случае имеет вид:

$$W_1 = W_н + W_п + W_{пр}.$$

Расходная часть водного баланса:

$$W_2 = W_{фп} + W_{ив} + W_г + W_{ис} + W_{ст}.$$

Составляющие приходной и расходной частей водного баланса могут быть определены следующим путем:

$$W_н = x_0 F_1 = 0{,}33 \times 286000 = 94380 \text{ м}^3,$$

$$W_п = x_0 F_2 = 0{,}33 \times 101000 = 33330 \text{ м}^3,$$

$$W_{пр} = 16 \text{ м}^3/\text{ч} \times 8760 \text{ ч} = 140160 \text{ м}^3,$$

$$W_{ф.п} = Q_{ф.п} T.$$

В рассматриваемом случае имеет место подпертая фильтрация, когда уровень подземных вод находится в непосредственной близости от ложа отстойного пруда и, следовательно, влияет на фильтрацию из него. Расчет следует выполнять по зависимости (7-14) раздела А настоящего приложения. Для расчета расхода фильтрационных вод приняты наихудшие условия: наибольшее (из зафиксированных) удаление от земной поверхности водоупора и уровня подземных вод. Расчетные величины приведены ниже.

$L_{ср}$, *м*	440	$m_{ср}$, *м*	1,2
$B_{ср}$, *м*	230	$m_{н}$, *м*	16,0
$H_{в}$, *м*	171,4	$k_{ф.\,п}$, *м/сут*	20,0
$H_{г}$, *м*	168,0	$k_{ф.\,з}$, *м/сут*	0,02

$$Q_{ф.\,п} = \frac{440\,(171{,}4 - 168)}{\sqrt{\frac{1{,}2}{20 \cdot 16 \cdot 0{,}02}}\,\mathrm{cth}\,230\,\sqrt{\frac{0{,}02}{20 \cdot 16 \cdot 1{,}2}}} = \frac{1496}{0{,}460} = 3252\ м^3/сут,$$

$$W_{ф.\,п} = 3252 \cdot 365 = 1186980\ м^3,$$

$$W_{ив} = z_{в} \cdot F_2 = 0{,}40 \times 101000 = 40400\ м^3$$

($z_{в}$ определяется по картам изолиний испарения),

$$W_{г} = nW_{зш} = \left(1 - \frac{0{,}70}{2{,}10}\right)\frac{411420}{0{,}80 \times 0{,}70} = 492450\ м^3,$$

$$W_{ис} = z_{с}F_3 = 0{,}04 \times 387000 = 15480\ м^3,$$

$$W_{ст} = (0{,}2 \times 100 + 0{,}15 \times 700)\,8760 = 1095000\ м^3.$$

Результаты расчета приходной и расходной частей баланса сведены в табл. 7-2. Как видно из приведенной таблицы, водный

Таблица 7-2

Результаты расчета приходной и расходной частей водного баланса в тыс. $м^3$ и % от расхода в системе ГЗУ 13140 тыс. $м^3$

Приходная часть водного баланса				Расходная часть водного баланса					
$W_{н}$	$W_{п}$	$W_{пр}$	W_{1}	$W_{ф.\,п}$	$W_{ив}$	$W_{г}$	$W_{ис}$	$W_{ст}$	W_{2}
94,38	33,33	140,16	267,87	1186,98	40,40	492,45	15,48	1095,0	2830,31
0,72	0,25	1,08	2,04	9,06	0,31	3,75	0,12	8,35	21,6

баланс системы ГЗУ отрицательный. В среднем за год потери из системы будут составлять 2,6 млн. $м^3$, или 19,6% от расхода воды в системе ГЗУ. Следовательно, в систему ГЗУ должна периодически добавляться свежая вода для восполнения потерь расходом 300 $м^3/ч$. Потери в системе можно также восполнить, направляя часть стока с площади водосбора в отстойный пруд.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
1. Общие положения	6
Область применения	6
Терминология	6
Классификация систем гидрозолоудаления и золоотвалов	7
2. Проектирование золоотвального хозяйства	11
Основные положения проектирования	11
Исходные данные для проектирования	12
Определение расчетных показателей физико-механических свойств намытого золошлакового материала	13
Расчет необходимой емкости золоотвала	14
Назначение класса капитальности золоотвала	15
Рекомендации по выбору вида золоотвалов в зависимости от рельефа местности	15
Выбор площадки для золоотвала	17
3. Проектирование конструкции золоотвала	18
Выбор типа конструкции	18
Назначение уклона откоса золоотвала	22
Крепление откосов	23
Дренажные устройства	25
4. Расчет намыва золошлакового материала	29
5. Осветление воды в отстойном пруде	35
Расчет длины пути осветления по заданному эффекту осветления	36
Расчет водного баланса	40
Условия сброса осветленной воды из оборотных систем ГЗУ	43
6. Сооружения для удаления осветленной воды и поверхностного стока	44
7. Вопросы эксплуатации в проектах золоотвалов	47
Возведение золоотвалов II и III типов с поярусным обвалованием из золошлакового материала и из грунта	47
Возведение ограждающих дамб из грунта на золоотвалах IV типа	48
Технология намыва золоотвала	49
Контрольно-измерительная аппаратура	53
Борьба с пылением	55
Консервация золоотвала	57
8. Строительство зданий на законсервированных отвалах	57

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Гранулометрический состав и агрегатный удельный вес золы и шлака твердых топлив на ТЭС	60
2. Физико-механические свойства намытых золошлаковых материалов	77
3. Химико-минералогический состав золошлаковых материалов твердых топлив	91
4. Методика фильтрационных расчетов золоотвалов	104
5. Методика расчета устойчивости откосов золоотвала	111
6. Упрощенный способ расчета конечной осадки дамбы наращивания, возведенной на намытом золошлаковом материале	117
7. Расчеты составляющих водного баланса оборотных систем ГЗУ	121

gost.e-ecolog.ru