МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

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

ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АТОМТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 26-85
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1986

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

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

ВСЕСОЮЗНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА И
ОРДЕНА
ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
АТОМТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 26—85
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1986

УДК 621.182.9

«Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций» разработаны на основе ранее изданных «Руководства по проектированию золоотвалов ТЭС»: П 20-74/ВНИИГ и «Руководства по проектированию дренированных золоотвалов ТЭС»: П 64-77/ВНИИГ с включением дополнительных разделов — проектирование насыпных отвалов, охрана окружающей среды и др. Большая часть разделов из ранее выпущенных Руководств существенно расширена и дополнена в соответствии с современными требованиями к золошлакоотвалам — местам складирования отходов производства. В Рекомендации включены последние результаты научных разработок по вопросам расчета золошлакоотвалов как намывных гидротехнических сооружений. Расширено использование золошлаковых материалов для возведения дамб наращивания отвалов.

В приложения Рекомендаций включены новейшие данные по физико-механическим свойствам золошлаковых отложений, по химическому составу осветленной воды оборотных систем ГЗУ. Приведены примеры конструкций построенных золошлакоотвалов. Рекомендации составлены во ВНИИГе им. Б. Е. Веденеева при участии института Атомтеплоэлектропроект.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники имени Б. Е. Веденеева (ВНИИГ), 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие электроэнергетики СССР предусматривает интенсивное строительство наряду с атомными и гидравлическими станциями тепловых электростанций, работающих на различных видах топлива, в том числе и на твердом топливе. В восточных районах страны строятся крупные топливно-энергетические комплексы на базе Экибастузского, Канско-Ачинского и Южно-Якутского угольных бассейнов. Годовой выход золы и шлака на тепловых электростанциях Минэнерго СССР к 1985 г. превысил 100 млн. т, имеется тенденция к удвоению выхода этих отходов каждые 10—15 лет.

Несмотря на ежегодное увеличение объема утилизации золошлаковых материалов в народном хозяйстве, все же большая часть золы и шлака удаляется в отвалы, расположенные, как правило, вблизи станций.

Возросшие требования к охране окружающей среды, предусмотренные соответствующими постановлениями Партии и Правительства, ставят перед проектными организациями, занятыми проектированием тепловых электростанций, жесткие условия по разработке мероприятий, предотвращающих загрязнения грунтовых и поверхностных вод, а также по борьбе с запылением воздушного бассейна.

Современные золошлакоотвалы тепловых электростанций — ответственные гидротехнические сооружения, характерной особенностью которых является совмещение строительства и эксплуатации, поэтому проект каждого золошлакоотвала должен включать раздел по организации его эксплуатации и наращиванию во время заполнения.

Золошлакоотвалы могут быть потенциальными источниками загрязнения окружающей среды за счет фильтрации из намываемых золошлаковых отходов и пылеобразования на поверхности отложений. Надежное предотвращение вредного воздействия отвалов на окружающую среду является одной из основных задач проектирования системы складирования золошлаковых отходов тепловой электростанции.

Расширение использования золы и шлака в различных областях народного хозяйства определяет целесообразность замены гидравлической системы удаления на пневматическую с подачей золы в пристанционные силосы, откуда она отгружается потребителям. При временном отсутствии потребления золы про-

изводится ее транспортировка в отвалы гидравлическим или механическим транспортом. Вопросы проектирования золошлакоотвалов при «сухой» отвозке до настоящего времени не были регламентированы, что до некоторой степени препятствовало расширению такого способа складирования золы и шлака.

Все вышеизложенное послужило основанием для разработки новой редакции «Рекомендаций по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций» на основе ранее изданных руководств с включением разделов и отдельных неразработанных вопросов. В новую редакцию Рекомендаций включены дополнительно вопросы охраны окружающей среды, расчеты намыва золошлакового материала, проектирования насыпных отвалов, проектирования системы складирования с оперативным золошлакоотвалом и др. Большая часть разделов из ранее изданных Руководств существенно расширена и дополнена.

В связи с выпуском настоящих Рекомендаций теряют силу «Руководство по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций»: П 20-74/ВНИИГ и «Руководство по проектированию дренированных золоотвалов ТЭС»: П 64-77/ВНИИГ, а также Временные руководящие указания [3].

Рекомендации разработаны в комплексной лаборатории грунтовых сооружений ВНИИГа доктором техн. наук В. А. Мелентьевым с учетом отзывов и замечаний, полученных от следующих организаций:

Института Атомтеплоэлектропроект;

Московского отделения Атомтеплоэлектропроекта;

Харьковского отделения Атомтеплоэлектропроекта;

Института ВНИПИЭнергопром,

а также от отдельных специалистов: бригадного инженера Южтехэнерго М. И. Федоренко; начальника отдела экспериментальных работ Рижского отделения Атомтеплоэлектропроекта В. А. Земетиса и рук. группы отдела А. М. Щербака.

В составлении отдельных разделов рекомендаций приняли участие сотрудники лаборатории экологической технологии удаления золы и шлака ВНИИГа: зав. группой В. Н. Яковлев и канд. биолог. наук Л. В. Баснина, которыми составлены разделы по охране воздушного бассейна и консервации золошлакоотвалов, зав. группой Э. Л. Добкин, составивший разделы по проектированию отстойных прудов и расчетам водного баланса, а также инж. Т. М. Гольдина и канд. хим. наук Т. Е. Алексеева, разработавшие таблицу химического состава воды оборотных систем ГЗУ. Канд. техн. наук Т. В. Матрошилина и инж. Г. А. Чугаева из комплексной лаборатории грунтовых сооружений разработали методику расчета устойчивости откосов золошлакоотвалов; инж. Э. А. Ларина составила методику оценки упрочнения во времени золошлаковых отложений; доктор техн.

наук В. Г. Пантелеев принял участие в составлении раздела по составу и свойствам золошлаковых материалов.

От института Атомтеплоэлектропроект в составлении Рекомендаций приняли участие: гл. гидротехник Р. Г. Минасян, гл. специалист по гидрозолоудалению К. П. Боричев, гл. инженер проекта МОАТЭПа Д. С. Седлович.

Экспертное рассмотрение Рекомендаций провели следующие организации:

Свердловский НИИ Гигиены труда и профзаболеваний Министерства здравоохранения РСФСР;

Лаборатория охраны вод МИСИ им. В. В. Куйбышева;

Управление водных проблем и водопользования Минводхоза РСФСР;

Центральное управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам по охране и воспроизводству рыбных запасов Министерства рыбного хозяйства СССР (ЦУРЭН);

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии Министерства геологии СССР (ВСЕГИНГЕО).

На основании экспертных заключений получено согласование «Рекомендаций по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций» со следующими союзными Министерствами:

Министерством здравоохранения СССР;

Министерством геологии СССР;

Министерством рыбного хозяйства СССР;

Министерством мелиорации и водного хозяйства СССР.

Министерство энергетики и электрификации СССР	**Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций**	П 26-85 ВНИИГ Взамен П 20-74 ВНИИГ и П 64-77 ВНИИГ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область применения

1.1. Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование намывных и насыпных отвалов, предназначенных для складирования золы и шлака тепловых электрических станций.

1.2. При проектировании золошлакоотвалов, расположенных в сейсмоопасных областях (более 6 баллов), в северной строительно климатической зоне, на участках с просадочными грунтами, на территориях, подработанных горными выработками или имеющих естественные карсты, а также в горных районах, подверженных действию селевых потоков, кроме настоящих Рекомендаций следует применять соответствующие нормативные документы и учитывать опыт строительства в аналогичных условиях [35, 40, 41, 43, 51], а также в случаях необходимости привлекать научно-исследовательские организации для обоснования проектных разработок.

Терминология

1.3. При проектировании золошлакоотвалов надлежит придерживаться следующей терминологии.

Золошлаковый материал (золошлаковые отходы) — смесь негорючих веществ, которые остались после сгорания топлива, включающая некоторое количество недожога.

Внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им. Б. Е. Веденеева и Всесоюзным Государственным научно-исследовательским и проектно-изыскательским институтом Атомтеплоэлектропроект	Утверждены ВНИИГом им. Б. Е. Веденеева решением № 25 от 4.09.85 г. по согласованию с Главниипроектом Минэнерго СССР	Срок введения I квартал 1986 г.

Зола (летучая зола, зола-унос) — частицы золы, которые выносятся дымовыми газами из топки котла 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, золы, шлака с водой.

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

Магистральный пульпопровод — пульпопровод от здания ТЭС до золошлакоотвала.

Распределительный пульпопровод — пульпопровод, прокладываемый на участках отвала, откуда производится сброс пульпы для намыва.

Намывной золошлакоотвал — гидротехническое сооружение, возводимое намывным способом при удалении золы и шлака с тепловой станции гидротранспортом.

Насыпной золошлакоотвал — сооружение, возводимое отсыпкой золы и шлака механическим транспортом.

Оперативный золошлакоотвал — отвал небольшой емкости, размещаемый вблизи станции, куда зола и шлак доставляются гидротранспортом. Удаление этих материалов из оперативного золошлакоотвала в основной отвал осуществляется с помощью механического транспорта или гидравлическим способом.

Шлаковая зона намывного золошлакоотвала — зона отложения шлаковых частиц при почти полном отсутствии зольных.

Золошлаковая зона намывного золошлакоотвала — зона отложения смеси шлаковых и зольных частиц.

Зольная зона — зона отложения зольных частиц.

Первичная дамба — дамба, возводимая до начала эксплуатации отвала и предназначенная для образования начальной его емкости.

Дамба наращивания (дамба обвалования, обвалование) — дамба из золошлакового материала или грунта, возводимая в процессе эксплуатации на намытых золошлаковых отложениях.

Ограждающая дамба — дамба из грунта, возводимая на проектную (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.

Русловой поток пульпы — блуждающий поток пульпы на откосе намыва.

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

Бассейн осветленной воды, вторичный отстойный пруд — водоем за пределами отвала, предназначенный для дополнительного осветления воды, т. е. для осаждения наиболее мелких частиц золы, которые не выпали в осадок в отстойном пруде, и для регулирования работы системы возврата осветленной воды.

Подводный откос намыва — поверхность зольных отложений ниже уровня воды.

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

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

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

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

Классификация систем золошлакоудаления и золошлакоотвалов

1.4. Наиболее распространены следующие системы внешнего золошлакоудаления на тепловых электрических станциях.

Гидравлическая система, при которой пульпа (золовая, золошлаковая, шлаковая) перекачивается с помощью насосов по пульпопроводу или транспортируется самотеком по каналу (лотку, трубе) на отвал.

Механическая система, при которой зола удаляется в пределах станции пневмотранспортом в пристанционные силосы, откуда периодически вывозится автотранспортом или другим транспортом потребителям или в отвал. Шлак при механической системе удаляется гидравлическим способом до пристанционного отстойника, откуда с помощью грейферного крана перегружается на сухогрузный транспорт и вывозится потребителям или в отвал.

Комбинированная система складирования, включающая оперативный намывной отвал вблизи ТЭС и основной отвал, куда золошлаковый материал доставляется механическим транспортом.

1.5. В зависимости от применяемой системы золошлакоудаления могут быть намывные (гидравлические) отвалы и насыпные (сухие) отвалы.

1.6. Система водоснабжения ГЗУ, как правило, должна быть оборотной, когда отводимая из отстойного пруда на отвале осветленная вода возвращается на ТЭС и повторно используется

для ГЗУ. Прямоточная система водоснабжения со сбросом осветленной воды в водоемы может применяться лишь в исключительных случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании и соблюдении Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, Основ водного законодатель-

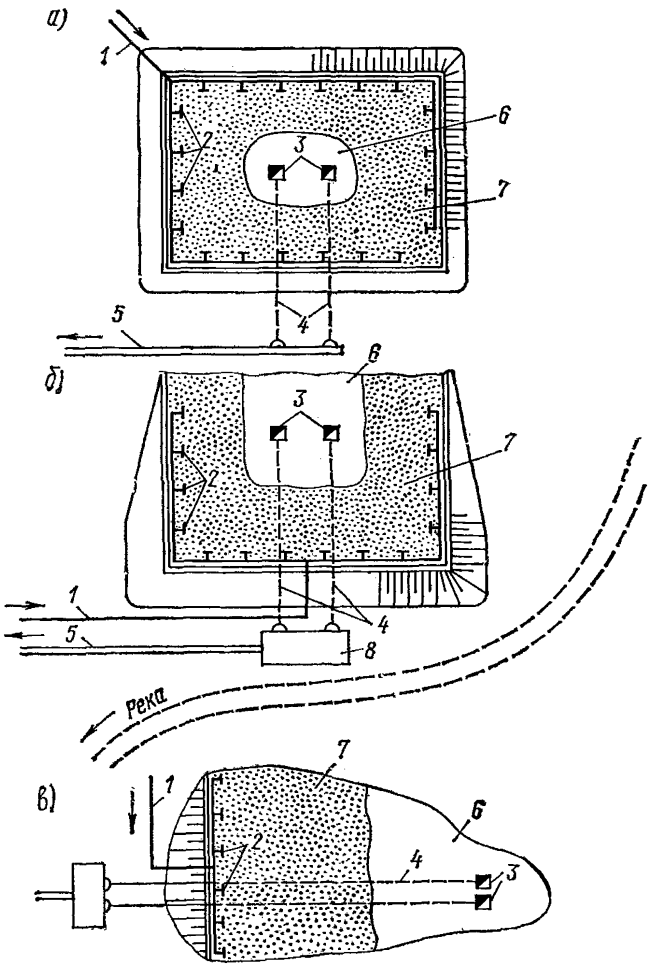


Рис. 1. Виды золошлакоотвалов

а — равнинный, *б* — пойменный; *в* — овражный; *1* — пульпопровод; *2* — выпуски; *3* — водосбросной колодец; *4* — коллектор осветленной воды; *5* — водоотводящий канал; *6* — отстойный пруд; *7* — надводный откос намыва; *8* — бассейн осветленной воды.

ства Союза ССР и союзных республик и положения об охране рыбных запасов и регулировании рыболовства в водоемах СССР, а также согласовании с органами санитарного надзора, рыбоохраны и Минводхоза и других заинтересованных организаций.

1.7. В зависимости от особенностей рельефа местности и гидрографической сети района различают следующие виды золошлакоотвалов (рис. 1): равнинные, косогорные (склоновые), овражные, пойменные и котлованные.

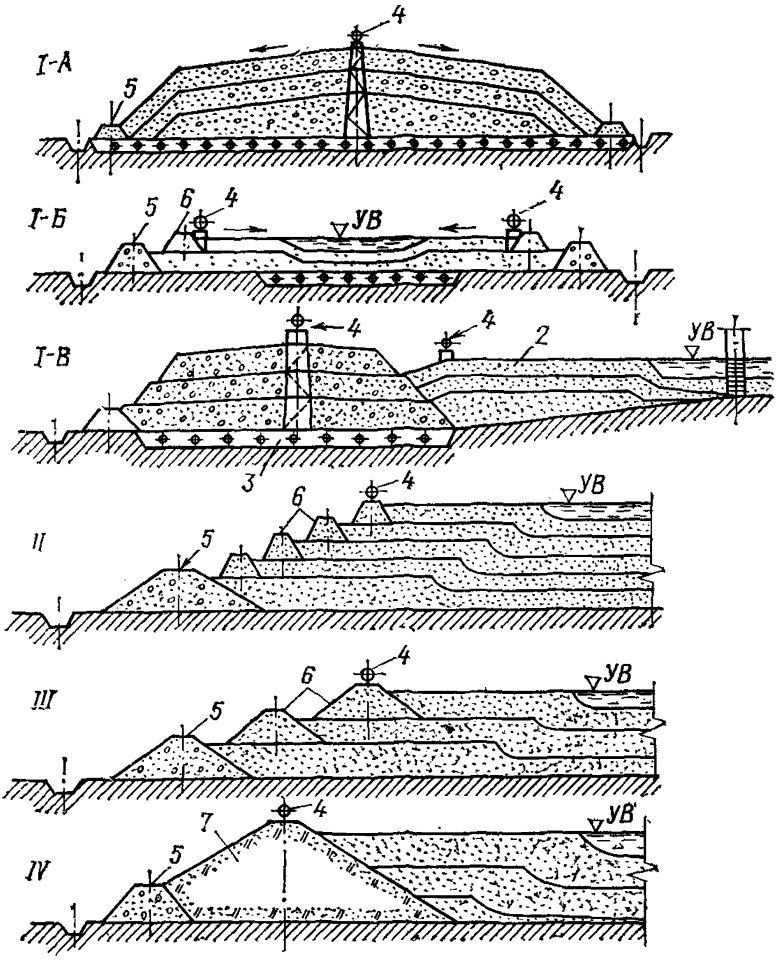


Рис. 2. Типы конструкций золошлакоотвалов

I-А — дренированный золошлакоотвал, образованный надводным намывом; *I-Б* — дренированный золошлакоотвал с прудом инфильтрации; *I-В* — комбинированный золошлакоотвал с дренированной боковой зоной и отстойным прудом; *II* — золошлакоотвал с поярусными дамбами наращивания из золошлакового материала; *III* — золошлакоотвал с поярусными дамбами наращивания из грунта; *IV* — золошлакоотвал с ограждающей дамбой из грунта на проектную (конечную) высоту; *1* — шлаковая зона; *2* — зольная зона; *3* — трубчатый дренаж; *4* — распределительный пульпопровод, *5* — первичная дамба; *6* — дамба наращивания; *7* — ограждающая дамба из грунта на полную высоту отвала.

1.8. По конструкции намывные (гидравлические) отвалы делятся на следующие основные типы (рис. 2):

тип I-А — дренированный отвал без отстойного пруда и дамб наращивания;

тип I-Б — дренированный отвал с дамбами и прудом инфильтрации;

тип I-В — отвал с боковой дренированной зоной и отстойным прудом;

тип II — золошлакоотвал с дамбами наращивания, возводимыми в процессе эксплуатации из золошлакового материала;

тип III — то же с дамбами наращивания из грунта;

тип IV — золошлакоотвал с ограждающей дамбой из грунта на проектную (конечную) высоту.

1.9. Заполнение намывных золошлакоотвалов может производиться по двум схемам (рис. 3): «от дамбы к пруду» и «от берега к дамбе».

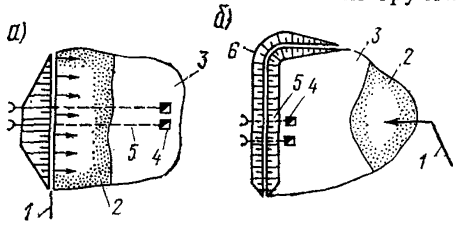


Рис. 3 Схемы намыва золошлакоотвалов

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

1.10. Различают рассредоточенный и сосредоточенный способы намыва. При рассредоточенном способе сброс пульпы производится из нескольких выпусков на распределительном пульпопроводе, при сосредоточенном — из торца пульпопровода.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Исходные положения

2.1. Проектирование системы гидрозолоудаления (ГЗУ) и золошлакоотвала ведется в соответствии с Инструкцией СН 202-81 * [42].

Как правило, выполнению проекта (рабочего проекта) должна предшествовать разработка технико-экономического обоснования или расчета (ТЭО или ТЭР). В технико-экономическом расчете должны быть определены следующие принципиальные вопросы:

выбор технологической схемы внутристанционного и внешнего золошлакоудаления на ТЭС;

выбор возможных площадок для строительства нового золошлакоотвала;

долгосрочное складирование золошлаковых материалов на нормативный срок (25 лет);

назначение основных конструктивных решений сооружений внешнего ГЗУ и природоохранных мероприятий;

определение сметной стоимости строительства.

При выполнении ТЭР должны быть согласованы с контролирующими органами (санитарный надзор, рыбоохрана, Минводхоз, Мингео СССР) основные проектные решения, оформлен

акт выбора площадки, определена необходимость выполнения научно-исследовательских работ для обоснования проектных решений и др.

Проектирование золошлакоотвалов ведется, как правило, в две стадии: проект и рабочая документация и только в отдельных, наиболее простых случаях, в одну стадию — рабочий проект. Объем проектных работ определяется Инструкцией СН 202-81*. Неотъемлемой частью проекта (рабочего проекта) является раздел по организации эксплуатации золошлакоотвала.

2.2. Проект системы внешнего золошлакоудаления ТЭС должен обеспечивать надежную и бесперебойную работу по удалению, транспортированию и складированию золошлаковых отходов тепловой электростанции при оптимальных капиталовложениях и эксплуатационных затратах, с максимальной механизацией строительных и эксплуатационных работ, с соблюдением экологических и безопасных условий эксплуатации.

2.3. Выбор способа удаления и складирования золы и шлака должен производиться на основании технико-экономического сопоставления возможных технологических схем золошлакоудаления с соблюдением мероприятий по охране окружающей среды и обеспечением возможности использования золы и шлака в народном хозяйстве. При наличии реальных потребителей сухой золы предпочтение должно отдаваться внутристанционному пневмозолоудалению, при котором из-за отсутствия контакта с водой обеспечивается сохранение свойств золы (например, вяжущих).

Для отгрузки золы потребителям применяется пневматическая система, а транспорт на отвал неиспользованной части золы и шлака — гидравлический.

На ТЭС с котельным оборудованием для жидкого шлакоудаления рекомендуется раздельное транспортирование золы и жидкого шлака, при этом шлакоотвал должен располагаться на возможно близком к ТЭС расстоянии.

2.4. При расстоянии до отвала более 10—15 км, а также при реконструкции систем ГЗУ в связи со строительством новых золошлакоотвалов на основании технико-экономических расчетов должен быть решен вопрос о целесообразности применения комбинированной системы золошлакоудаления с оперативным намывным отвалом.

Комбинированные системы золошлакоудаления предусматривают наличие двух подсистем, работающих в независимых друг от друга режимах. На участке ТЭС — оперативный отвал применяются, как правило, гидравлические способы удаления, транспортирования и складирования золошлаковых отходов.

Опорожнение оперативного золошлакоотвала и транспорт до основного отвала может осуществляться как механическим способом (экскаваторы и автотранспорт, конвейеры, канатные дороги), так и гидравлическим (земснаряды и гидротранспорт).

Работа земснаряда предусматривается обычно в теплое время года. При реконструкции системы ГЗУ, связанной с исчерпанием емкостей на действующих золошлакоотвалах, оперативный отвал может размещаться в пределах этих отвалов.

2.5. При наличии реальных потребителей золошлакового материала из золошлакоотвала проект отвала должен предусматривать возможность разработки и отгрузки материала в условиях непрерывной эксплуатации отвала.

При необходимости выдачи шлака применяется раздельное удаление и складирование золы и шлака в разных отвалах. В зависимости от местных условий отвалы шлака и золы могут быть расположены на одной площадке, примыкая друг к другу, или на разных площадках.

Примечание. При наличии на ТЭС совместной системы ГЗУ для выделения шлака могут применяться шлакоотборники.

2.6. Золошлакоотвал, как правило, проектируется только для складирования золы и шлака тепловой электростанции. Отходы близко расположенных от ТЭС промышленных предприятий разрешается направлять в золошлакоотвал только в том случае, если эти отходы, вследствие особенностей своего химического и гранулометрического состава, не изменят свойства золошлакового материала, что может затруднить его использование в народном хозяйстве. Кроме того, в случае применения гидравлической системы доставки промышленных отходов в отвал возможно образование недопустимого избытка воды в системе гидрозолошлакоудаления ТЭС.

Расчет емкости золошлакоотвалов

2.7. В соответствии с нормами технологического проектирования [24] и с учетом СНиП II-58-75 [48] вновь вводимая в эксплуатацию ТЭС должна располагать емкостью золошлакоотвала, рассчитанной на срок эксплуатации не менее 5 лет (после ввода станции на проектную мощность). При проектировании нового или наращивании существующего золошлакоотвала действующей ТЭС затраты на строительство отвала определяются исходя из 5-летнего срока складирования золошлаков.

При благоприятных топографических, геологических или других местных условиях разрешается при соответствующем технико-экономическом обосновании принимать затраты на строительство золошлакоотвала исходя из объемов складирования на период до 10 лет.

Вопросы долгосрочного складирования золы и шлака на период не менее 25 лет с указанием предельного заполнения золошлакоотвала или возможных площадок для размещения новых золошлакоотвалов приводятся в ТЭР (или в проекте, если ТЭР не выполняется).

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

2. При наличии реальных потребителей золошлакового материала и при соответствующем обосновании допускается уменьшение емкости проектируемого отвала.

2.8. Необходимая емкость золошлакоотвала для его заполнения в течение каждого года вычисляется по формуле

$$W_{\text{год}} = \frac{A_{\text{зш}}}{\eta \bar{\rho}_d},$$

где $W_{\text{год}}$ — расчетная годовая емкость отвала, м³; $A_{\text{зш}}$ — годовой выход золы и шлака (для систем с раздельным золошлакоудалением и складированием в расчет берутся выходы отдельно золы $A_{\text{з}}$ и шлака $A_{\text{ш}}$), т; η — коэффициент заполнения отвала; для намывных золошлакоотвалов $\eta = 0{,}80 \div 0{,}90$; для насыпных золошлакоотвалов $\eta = 0{,}95 \div 1{,}0$; $\bar{\rho}_d$ — осредненная плотность материала, укладываемого в отвал, т/м³. Величина $\bar{\rho}_d$ принимается по материалам изысканий или опытной укладки в отвал; для предварительных расчетов намывных отвалов — по табл. 2-2 приложения 2, насыпных отвалов — также по этой таблице.

2.9. Для предварительной оценки площади, необходимой для размещения нового золошлакоотвала, допускается пользоваться данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Выход золошлаковых материалов, тыс. т./год	Ориентировочная площадь отвалов, га		
	равнинных	косогорных, пойменных	овражных
<100	15—50	10—30	5—20
100—500	20—100	15—70	10—50
500—1000	60—200	50—150	40—120
1000—2000	200—500	150—400	100—300
>2000	500—1000	400—800	300—600

2.10. Классификацию золошлакоотвала следует определять по конечной проектной высоте его согласно табл. 2, составленной с учетом [24, 48].

Таблица 2

Конечная высота отвала, м	Класс золошлакоотвала
Свыше 20	II
От 10 до 20	III
10 и менее	IV

2.11. Класс золошлакоотвала может быть повышен в следующих случаях:

при высоте более 50 м;

при расположении золошлакоотвалов выше планировочных отметок ближайших населенных пунктов или объектов народнохозяйственного значения (промышленные предприятия, железнодорожные магист-

рали, автомобильные магистральные дороги, нефтегазопроводы, сельскохозяйственные объекты);

если авария золошлакоотвала вызывает остановку ТЭС;

при емкости золошлакоотвала свыше 50 млн. м³.

Класс насыпных золошлакоотвалов независимо от высоты следует принимать, как правило, IV. Повышение класса насыпных золошлакоотвалов допускается при соответствующем обосновании.

Выбор вида золошлакоотвала в зависимости от рельефа местности

2.12. Равнинные золошлакоотвалы устраиваются на местности со слабопересеченным рельефом и имеют дамбы по всему периметру. Эксплуатационные достоинства этого вида золошлакоотвала — большой объем складирования на единицу площади, отсутствие сложных сооружений по отводу поверхностного стока с водосборной территории, примыкающей к отвалу.

2.13. Косогорные (склоновые) золошлакоотвалы устраиваются на склонах возвышенностей выше уровня подтопления паводковыми водами. Дамбы сооружаются с трех сторон золошлакоотвала и примыкают к косогору.

2.14. Овражные золошлакоотвалы размещаются в оврагах или балках, перегороженных дамбами. В зависимости от местных условий овраг перегораживается одной дамбой или двумя (выше и ниже течения водотока). Овражные отвалы являются наиболее рациональными, поскольку они обеспечивают создание больших емкостей для складирования при относительно небольшой протяженности дамб. Так как овражные отвалы имеют, как правило, большую высоту, необходимо уделять особое внимание инженерно-геологическим и гидрогеологическим обоснованиям проекта. Особую сложность при их проектировании представляет отвод водотока и поверхностных вод с водосборной площади, примыкающей к золошлакоотвалу.

2.15. Пойменные золошлакоотвалы располагаются в поймах рек и примыкают, как правило, к надпойменным склонам. Для этих золошлакоотвалов необходимо предусматривать мероприятия по предотвращению фильтрации в близкорасположенный водоем. При сложной конфигурации поймы следует проводить модельные исследования для изучения влияния золошлакоотвала на режим реки в паводковый период. Расчетный горизонт воды и тип крепления назначаются исходя из обеспеченности расчетного расхода в зависимости от класса золошлакоотвала (табл. 3) [52].

Таблица 3

Класс золошлакоотвала	Принимаемая обеспеченность расчетного расхода, %
II	0,1
III	0,5
IV	1,0

Примечание. Пойменные золошлакоотвалы допускается устраивать лишь в особых случаях при соответствующем обосновании, например, при отсутствии других возможных площадок.

2.16. Комбинированные (косогорно-равнинные, пойменно-равнинные, овражно-равнинные)— это золошлакоотвалы переходного типа, на которых в процессе наращивания в пределах отведенной площади предусматривается (выше некоторой отметки заполнения) строительство дамб по всему периметру.

2.17. Котлованные золошлакоотвалы размещаются в естественных или искусственных понижениях (котлованах, угольных разрезах, шахтах, карьерах и др.) и при складировании не требуют возведения дамб. Особую сложность для этих отвалов представляет отвод осветленной воды за пределы отвала и противофильтрационные мероприятия.

2.18. Для обеспечения возможности ведения работ по наращиванию дамб все типы намывных отвалов, кроме овражных и котлованных, делаются секционированными. По количеству секций золошлакоотвалы разделяются на:

двухсекционные для попеременного заполнения и устройства дамб наращивания;

многосекционные (три и более секций) для попеременного заполнения, осушения намытых отложений и для устройства дамб наращивания.

Площади и емкости каждой секции должны быть примерно одинаковыми. Не рекомендуется проектировать отвалы с площадью каждой секции более 500 га (для всех видов золошлаковых материалов). Оперативные золошлакоотвалы, предназначенные для разработки золошлаковых отложений экскаваторами, принимаются, как правило, трехсекционными. На насыпных отвалах секционирование не предусматривается.

2.19. Выбор площадки для размещения золошлакоотвала и трасс инженерных коммуникаций от ТЭС до отвала должен производиться в соответствии с СН 202-81* [42].

Как правило, выбор площадки под золошлакоотвал выполняется одновременно с выбором площадки строительства тепловой электростанции. При необходимости строительства нового отвала действующей ТЭС, в случае завершения заполнения существующего, допускается производить выбор площадки для размещения золошлакоотвала вне общего комплекса.

2.20. При выборе места расположения отвала необходимо руководствоваться следующими основными положениями [50]:

организация отвала необходимой емкости должна обеспечивать минимальный объем приведенных затрат на весь планируемый период заполнения;

золошлакоотвал следует размещать на площадках, сложенных слабофильтрующими грунтами, на малоценных в сельско- и лесохозяйственном отношении землях (на заболоченных пло-

щадях, в оврагах, балках, на солончаках, оголенных склонах), в отработанных карьерах;

не рекомендуется размещать намывные отвалы на площадках, расположенных выше жилых поселков, промышленных предприятий, в пределах водоохранной зоны рек, водохранилищ, водоемов, подземных источников водоснабжения;

расположение отвала должно быть выбрано с подветренной стороны к направлению доминирующих ветров в летнее время (по розе ветров) от ТЭС, промышленных предприятий, населенных пунктов, охранной зоны источников водоснабжения (с целью уменьшения возможных последствий пыления);

не рекомендуется размещать отвалы на закарстованных или подработанных горными выработками площадках, при сильнотрещиноватых породах основания и на оползневых склонах, а также на площадках, сложенных породами с наличием термокарста.

2.21. Санитарный разрыв от отвала до промышленных, жилых, общественных, лечебно-оздоровительных зданий и сооружений, а также от мест массового отдыха населения должен быть не менее 500 м [38].

Примечания: 1. Для небольших отвалов площадью до 100 га при согласовании с органами санитарного надзора и Минводхоза допускается принимать санитарный разрыв размером 300 м.

2. В зоне санитарного разрыва не допускается проектирование и строительство зданий и сооружений с постоянным обслуживающим персоналом.

Изыскания под сооружения системы золошлакоудаления

2.22. Изыскания должны выполняться на основании технического задания, составленного по предварительным проектным разработкам и материалам выбора площадок возможного расположения золошлакоотвала.

2.23. Изыскания для изучения инженерно-геологических и гидрогеологических условий сооружений ГЗУ должны проводиться с учетом того, что золошлакоотвал ТЭС может быть потенциальным источником загрязнения подземных и поверхностных вод. Поэтому наряду с обычным комплексом инженерно-геологических изысканий должны проводиться специальные гидрогеологические изыскания и исследования, предназначенные для выявления опасности загрязнения поверхностных и подземных вод водами золошлакоотвала и для обоснования разработки защитных противофильтрационных мероприятий.

2.24. На предварительной стадии проектирования нового золошлакоотвала выполняются сбор и анализ имеющихся литературных и фондовых материалов о природных условиях района, существующих и намечаемых к строительству промышленных предприятиях, а также водном хозяйстве данного района — запасах подземных вод и их использовании, размещении водозаборов, систем канализации и т. п.

Если имеющихся материалов недостаточно, то проводится рекогносцировочное обследование района, а при необходимости — облегченные изыскания: бурение отдельных скважин, проведение электроразведки на площадках возможного размещения отвала и в зоне его влияния, определение расходов воды в близлежащих водотоках, установление их минимальных, средних и максимальных значений, определение уровней и химического состава подземных вод и вод близлежащих водотоков и водоемов.

2.25. Изыскания под сооружения системы золошлакоудаления ТЭС выполняется согласно «Временным руководствам по инженерным изысканиям для теплоэнергетического строительства», «Временным рекомендациям по составу изысканий для выбора площадок под золоотвалы» и «Рекомендациям по инженерно-геологическим исследованиям золоотвалов», выпущенным Теплоэлектропроектом.

В ряде случаев, когда вопросы изысканий для проектирования и возведения золошлакоотвалов выходят за рамки вышеперечисленных документов, например, при размещении ТЭС в пределах северной строительно-климатической зоны, на территориях, подработанных горными выработками, в сейсмоопасных районах с высокой балльностью (более 6 баллов), при создании сверхвысоких золошлакоотвалов и др., должны быть привлечены научно-исследовательские изыскательские организации соответствующего профиля.

2.26. На основе технического задания и общего представления о геологических и других природных условиях района размещения золошлакоотвала составляется программа инженерно-геологических и гидрологических изысканий, целью которых является:

определение фильтрационных потерь из отвала;

прогнозирование зоны загрязнения фильтрационными водами и районирование рассматриваемой территории по защищенности грунтовых вод по методике ВСЕГИНГЕО («Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод»);

определение величины подъема грунтовых вод в зоне влияния фильтрационного потока;

оценка степени изменения минерализации подземных вод в зоне фильтрационного потока отвала и влияние этого изменения на действующие в районе отвала водозаборы, а также на почвенный и растительный покровы;

определение степени изменения минерализации воды в прилегающих водотоках и водоемах на участках выклинивания в них фильтрационного потока отвала;

обоснование необходимости противофильтрационных и перехватывающих дренажных устройств для защиты почв, подземных вод, водотоков и водоемов от загрязнения.

2.27. Для изучения перечисленных в п. 2.26 вопросов проводятся инженерно-геологические и гидрогеологические полевые и лабораторные исследования на площади отвала и прилегающей к нему территории до близлежащих гидрогеологических границ (питания, стоков) водоносных горизонтов, с которыми будет связана эксплуатация отвала. Состав и объем исследований зависят от гидрологических, геологических и гидрогеологических условий района, места размещения и размеров золошлакоотвала. Во всех случаях необходимо установить:

геологическое строение района размещения отвала;

гидрогеологические условия района отвала, включая фильтрационные свойства пород зоны аэрации ниже горизонта подземных вод;

условия формирования и разгрузки подземных вод в водоемы и водотоки;

режим подземных вод;

физико-механические свойства грунтов;

физико-химические свойства грунтов;

физико-химические параметры взаимодействия стока отвала с природными водами и горными породами.

2.28. В состав инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий для проектирования любого золошлакоотвала входят: съемка, буровые, опытно-фильтрационные работы и специальные полевые и лабораторные исследования физико-механических и физико-химических свойств грунтов, золошлаковых материалов, наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод.

2.29. В результате проведения комплексной инженерно-геологической и гидрогеологической съемки должны быть изучены общие геоморфологические, геолого-литологические и гидрогеологические условия площадки проектируемого золошлакоотвала и прилегающей территории в направлениях возможного растекания стоков и подпора грунтовых вод. Съемкой должны быть выявлены гидрогеологические границы водоносных горизонтов, в которые может поступать фильтрационный расход из отвала. Материалы съемки служат основой для определения объема и вида разведочных и опытных выработок. Съемка должна дополняться материалами разведочных и опытных работ, полученных в ходе изысканий. В окончательном виде съемка служит основой для составления расчетных схем и моделей.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАМЫВНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Исходные положения

3.1. Намывные золошлакоотвалы — ответственные гидротехнические сооружения, возводимые из золы и шлака в процессе их складирования, что определяет требования, которые предъявляются к проекту таких сооружений. От надежной работы зо-

лошлакоотвала зависит нормальная работа тепловой электростанции и защита окружающей среды от загрязнений.

3.2. В проекте золошлакоотвала необходимо предусматривать наиболее полное использование отведенной территории путем возведения отвала на максимально возможную по техническим соображениям высоту и устройства карьеров грунта в чаше отвала.

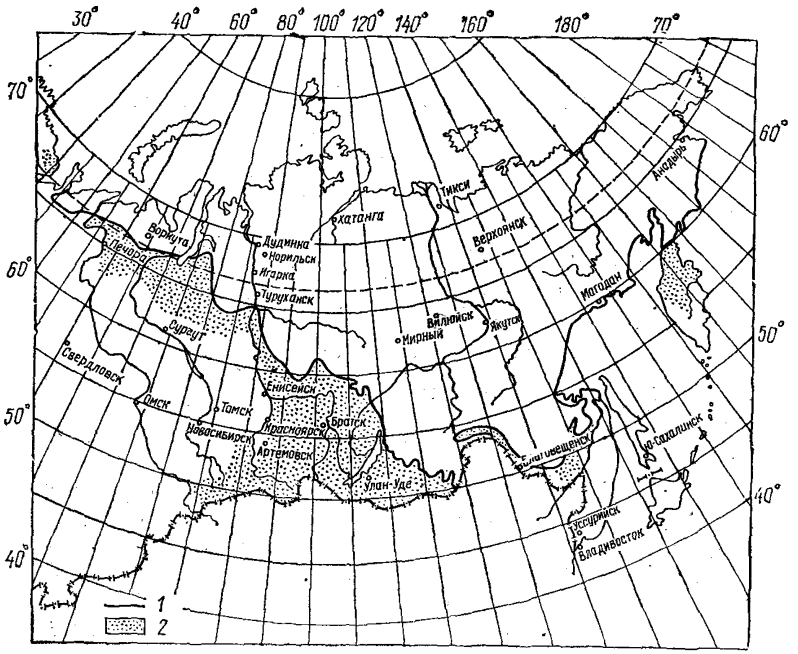


Рис. 4. Северная строительно-климатическая зона

1 — граница зоны; *2* — район распространения вечномерзлых грунтов за пределами зоны.

3.3. При выборе типа намывного золошлакоотвала и назначении его конструкции необходимо учитывать:

надежность работы сооружений в течение всего периода эксплуатации;

экономичность, низкую материалоемкость и трудоемкость работ по строительству, эксплуатации, ремонту и наращиванию сооружений золошлакоотвала;

предотвращение загрязнения поверхностных и грунтовых вод, а также запыленности воздушного бассейна;

возможность наращивания золошлакоотвала в соответствии с принятой технологией;

необходимую степень осветления воды, возвращаемой на ТЭС для повторного использования в системе ГЗУ;

устойчивость откосов первичной дамбы и дамб наращивания на всех этапах возведения и эксплуатации отвала;

фильтрационную прочность тела дамб и намытого золошлакового материала;

защиту наружного откоса дамб от воздействия атмосферных осадков;

достаточность превышения гребня дамб над уровнем отстойного пруда;

удобство эксплуатации сооружений золошлакоотвала.

3.4. При выборе технологии заполнения отвала предпочтение должно отдаваться схеме «от дамбы к пруду», которая обеспечивает отложение шлаковых фракций в зоне обвалования у наружного откоса золошлакоотвала. При такой схеме заполнения создаются ниболее благоприятные условия для возведения дамб наращивания из золошлакового материала и образование надежного основания для дамб наращивания из грунта.

3.5. Снижение кривой депрессии в золошлаковых отложениях обеспечивает увеличение несущей способности отложений, а также повышает статическую устойчивость откоса отвала. Это положение проектирования намывных золошлакоотвалов должно лежать в основе выбора конструкции его, а также размещения дренажных устройств и, в частности, размещения дренажных устройств перед верховым откосом первичной дамбы.

3.6. В пределах северной строительно-климатической зоны (ССКЗ) допускается возводить намывные золошлакоотвалы при условии учета всех особенностей этой зоны и на основании действующих нормативных документов по строительству гидротехнических сооружений в суровых климатических условиях (рис. 4) [35].

3.7. В сейсмоопасных областях допускается возводить намывные золошлакоотвалы типа IV с ограждающей дамбой из грунта или из каменной наброски на полную проектную высоту при условии обоснования устойчивости откосов дамбы при расчетной балльности землетрясения (не выше 9 баллов). Расчет откосов дамбы при сейсмическом воздействии выполняется на основании требований действующего СНиПа II-7-81 [51].

Примечание. В пределах сейсмоопасных районов предпочтительнее насыпные отвалы.

Выбор типа конструкции

3.8. При выборе конструкции дренированных отвалов необходимо учитывать следующие их достоинства:

обеспечение формирования более плотных отложений золошлакового материала при намыве на дренированное основание в результате уплотнения материала за счет вертикальной фильтрации;

образование боковых зон отвала с повышенной устойчивостью откосов в результате более низкого положения кривой депрессии;

высокая степень осветления водной составляющей пульпы при фильтрации через отложения золошлакового материала;

удобство эксплуатации отвала за счет возможности прохода по пляжу намыва механизмов и транспорта;

возможность отказа от возведения дамб наращивания с помощью сухоройных механизмов (отвалы типа I-А).

Примечание. Примерами дренированных золошлакоотвалов являются золошлакоотвалы Щекинской ГРЭС, Зуевской ГРЭС-2 и др.

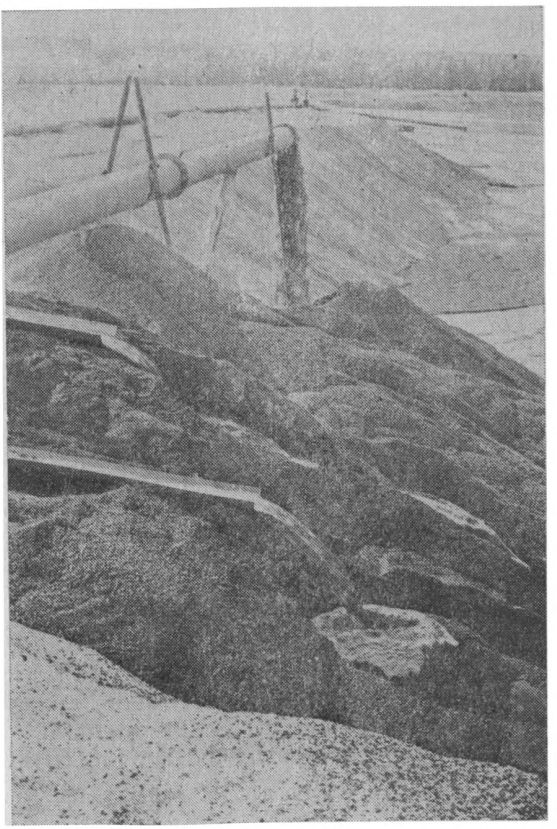


Рис. 5. Намыв дамбы отвала Бокситогорского глиноземного завода (отвал типа I-А)

3.9. Выбор типа дренированного золошлакоотвала производится на основании следующих соображений.

Дренированный отвал типа I-А следует принимать только при складировании шлака (как жидкого,так и твердого), т. е. материала, характеризующегося коэффициентом фильтрации в намытом теле $k_ф > 10 \div 20$ м/сут (рис. 5). Отвал типа I-Б рекомендуется проектировать для небольших ТЭС с совместной

системой гидрозолоудаления при расходе пульпы не более 1000 м³/ч и средней крупности материала более 0,10 мм. Дамбы наращивания возводятся нагребанием золошлакового материала с пляжа намыва.

Отвалы типа I-В рекомендуется применять при раздельном намыве, при подаче крупного материала ($d > 0{,}05 \div 0{,}10$ мм) в боковую дренированную зону и сбросе мелких фракций в центральную часть отвала.

Раздельный намыв может быть обеспечен при:

раздельном удалении золы и шлака;

совместном удалении, но с применением классификаторов для разделения материала по крупности;

выпуске на пляж намыва боковой дренированной зоны только части пульпы, содержащей крупные фракции, а остальная часть расхода отводится через холостой сброс в центр отвала.

Золошлакоотвал типа I-В может применяться в различных климатических районах, кроме ССКЗ. При проектировании этого типа отвалов необходимо предусматривать опережающий по высоте намыв боковой зоны (в теплое время года), чтобы обеспечить емкость для складирования золошлакового материала в зимнее время.

3.10. Дренированные отвалы рекомендуется проектировать для складирования золошлаковых материалов, характеризующихся содержанием оксида кальция менее 20%. Для золошлаковых материалов I группы (приложение 1), обладающих способностью самоцементироваться, применение дренированных отвалов нецелесообразно из-за снижения во времени коэффициента фильтрации намытого материала, а также возможности обрастания дренажей минеральными отложениями [4].

3.11. Одной из мер повышения эффективности работы дренированных отвалов является подача пульпы высокой консистенции, что позволяет уменьшить зону инфильтрации на отвале и количество ниток дренажа. Пульпа высокой консистенции получается либо путем использования специальных сгустителей [10], либо применением пневматических систем золоудаления на ТЭС с последующей подачей материала в зумпф багерной насосной станции [37].

3.12. Намывные отвалы типа II с дамбами наращивания из золошлакового материала и типа III с дамбами наращивания из местного грунта являются наиболее рациональными конструкциями, так как позволяют вести наращивание отвала по мере его заполнения. Конструкция отвала типа II предусматривает использование для возведения дамб складируемый материал и по технико-экономическим соображениям имеет существенные преимущества по сравнению с отвалами типа III [21, 22].

3.13. Предварительная оценка пригодности исходного на ТЭС золошлакового материала для возведения дамб наращи-

вания из намытого на отвале материала дается по одной из следующих характеристик:

а) по химико-минералогическому составу с учетом того, что для возведения поярусных дамб наращивания пригоден золошлаковый материал с достаточно высокой цементирующей способностью за счет наличия кальцийсодержащих минералов (свободный оксид кальция и магния, двухкальциевый силикат, гипс) и характеризующийся содержанием общего оксида кальция более 20% (в окисной форме) [5].

Примечание. Этим свойством обладают золошлаковые материалы сланцев, углей некоторых среднеазиатских месторождений, а также многих торфов (приложение 1).

б) по гранулометрическому составу с учетом того, что пригодность золошлакового материала для возведения дамб наращивания (без применения крепления внутреннего откоса дамб наращивания от размыва потоками пульпы) определяется содержанием шлаковых фракций в исходном составе золошлакового материала на ТЭС в количестве более 15—20%; при намыве такого материала вблизи пульпопровода откладывается золошлаковый материал с большим содержанием шлака.

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

3.14. Увеличение содержания шлаковых фракций в приоткосной части отвала с целью использования такого материала для возведения дамб наращивания достигается за счет технологических мероприятий. К таким мероприятиям относится применение классификаторов для разделения материала по крупности и подачи крупного материала в приоткосную зону, а мелкого — в центральную часть отвала.

Допускается применять для разделения материала по крупности так называемый раздельный способ намыва со сбросом крупных фракций в откосную часть отвала из донных выпусков на распределительном пульпопроводе, используя гидравлическую классификацию материала по сечению трубы, и отводом остальной части пульпы, содержащей мелкие фракции, через холостой сброс в центральную часть отвала (раздел 4).

3.15. При условии складирования золошлаковых материалов, свойства которых не соответствуют требованиям п. 3.13, допускается для наращивания применять дамбы композитного типа, в которых золошлаковый материал отсыпается в центральную часть поперечного сечения дамбы, а по внешнему контуру возводятся призмы из грунта (рис. 6, *б*) или осуществляется обсыпка откосов и гребня грунтом (рис. 6, *в*).

Примечание. Дамба композитного типа с наружными призмами из грунта рекомендуется для засушливых районов с сильными ветрами, когда в результате опережающего возведения призм из грунта предотвращается возможность разноса ветром отсыпаемого золошлакового материала.

3.16. При отсутствии цементирующих свойств у золошлакового материала и недостаточном количестве шлаковых фракций принимаются отвалы III типа. Дамбы наращивания рекомендуется отсыпать или намывать из фильтрующих грунтов на отложения золошлакового материала. Допускается использовать

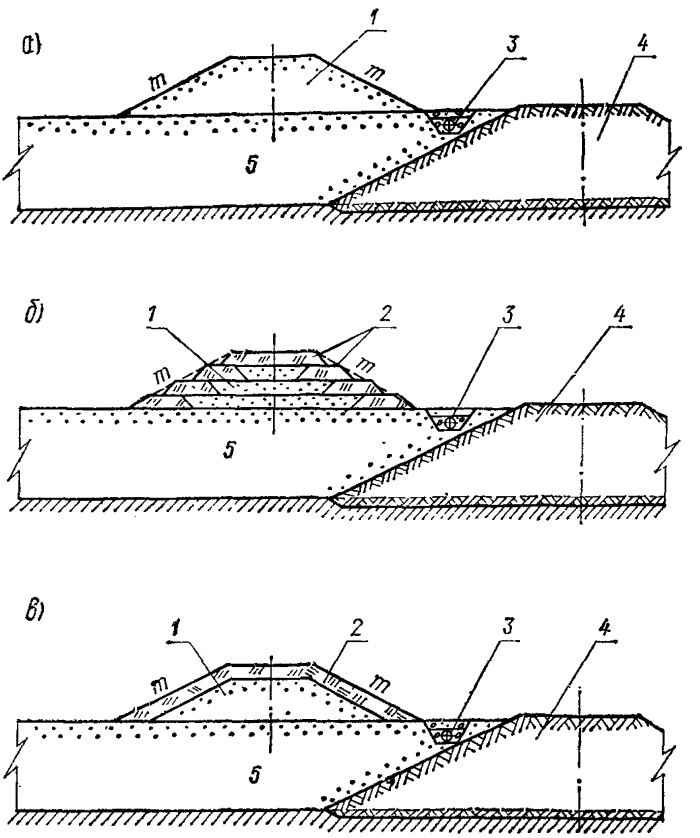


Рис. 6. Конструкции дамб наращивания золошлакоотвалов типа II

а — однородная дамба из золошлакового материала; *б* — дамба композитного типа из ЗШМ с наружными призмами из грунта; *в* — дамба композитного типа из ЗШМ с обсыпкой наружного контура грунтом; *1* — золошлаковый материал; *2* — грунт; *3* — трубчатый дренаж; *4* — первичная дамба; *5* — намытый золошлаковый материал.

для поярусных дамб наращивания связные грунты при условии обязательного применения дренажных устройств.

Для обоснования отвала III типа должно быть выполнено технико-экономическое сопоставление с отвалами II типа с композитными дамбами наращивания, а также с применением технологических мероприятий (классификаторы, раздельный способ намыва).

3.17. Надежность конструкции отвалов II и III типов обеспечивается за счет обязательного отдаления отстойного пруда от дамб наращивания (п. 3.36).

3.18. Не рекомендуется возводить дамбы наращивания отвалов 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 допускается при условии намыва на эти отложения подушки из шлакового материала или песка толщиной не менее 1—2 м.

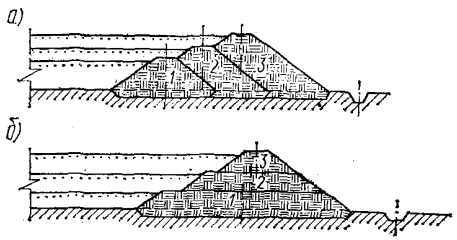


Рис. 7. Очередность возведения ограждающих дамб из грунта

а — в основании залегают плотные грунты; *б* — в основании залегают просадочные, иловатые грунты пластичной консистенции, торф.

3.19. Золошлакоотвалы IV типа с ограждающей дамбой из грунта или горной массы на проектную (конечную) высоту применяются только в особых случаях:

в сейсмоопасных районах;

когда емкость создается за счет разработки грунта в чаше отвала;

в случаях наличия грунтов полезных выемок и др.

При этом технико-экономическим расчетом должно быть доказано, что возведение отвала IV типа целесообразнее, чем отвалов других типов.

3.20. Ограждающие дамбы золошлакоотвалов IV типа, возводимые на проектную (конечную) высоту отвала из грунта насыпным или намывным способом или из крупнообломочного грунта наброской, проектируются как плотины из грунтовых материалов соответствующего класса капитальности.

3.21. Для ускорения ввода в эксплуатацию золошлакоотвала IV типа до окончания всех работ по строительству разрешается возводить ограждающие дамбы очередями. Дамбы отвалов IV типа, строящиеся очередями на слабодеформируемом основании, рекомендуется возводить способом досыпки с наружной стороны отвала, применяя дренажные устройства соответствующей конструкции (рис. 7, *а*).

Когда в основании залегают просадочные или иловатые грунты пластичной консистенции, либо торф, то разбивку на очереди рекомендуется производить горизонтальными ярусами, причем каждый ярус должен возводиться на полный профиль дамбы (рис. 7, *б*).

3.22. При возведении ограждающих дамб из разнородных грунтов должна быть запрещена отсыпка глинистых разновидностей грунта в низовой клин дамбы, также должно быть ис-

ключено образование отдельных прослоек глинистых грунтов в толще песчаного грунта тела дамбы. В дамбах, отсыпанных из разнородных грунтов, не рекомендуется устраивать трубчатый дренаж в пределах низового клина дамбы, предпочтительнее в этих случаях наслонный дренаж на низовом откосе.

Конструкция дамб

3.23. На отвалах II и III типа в пределах низового клина возводится до начала эксплуатации первичная дамба, которая предназначена:

для образования начальной емкости отвала;

для создания отстойного пруда, достаточного по размерам, чтобы осветлить воду в начальный период эксплуатации.

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

Первичные дамбы должны проектироваться по СНиП 2.06.05-84 [53] с учетом того, что заполнение емкости отвала производится золошлаковым материалом.

3.24. При выборе материала для первичной дамбы необходимо учитывать последующие эксплуатационные условия работы отвала как напорного гидротехнического сооружения. Для обеспечения нормальной эксплуатации золошлакоотвала первичная дамба должна выполнять роль дренажной призмы, поэтому в качестве материала для нее целесообразно использовать хорошо фильтрующий материал. При отсутствии фильтрующего материала для возведения первичной дамбы может быть использован глинистый грунт, но с обязательным применением дренажных устройств.

3.25. Для надежного сопряжения тела первичной и ограждающей дамбы с основанием по всей площади основания удаляется растительный слой, а также грунты, обладающие пониженными строительными свойствами, корневища и пни деревьев, кустарник. Разрешается оставлять в основании дамб торф любой степени разложения при условии учета повышенной осадки дамбы [28]. Подготовка основания под дамбы выполняется в соответствии с [49].

Примечание. При высоте дамб менее 3 м и при условии, что дальнейшее их наращивание не предполагается, снятие растительного грунта по площади основания необязательно.

3.26. Высота дамб наращивания на золошлакоотвалах II и III типа и способ производства работ по их возведению устанавливается в результате технико-экономического сопоставления вариантов с учетом времени строительства дамб для образования емкости отвала на период не менее 1 года. Для золо-

шлакоотвалов II и III класса высота дамб наращивания принимается, как правило, не более 3—5 м.

3.27. Ширина гребня первичных дамб и дамб наращивания назначается с учетом размеров механизмов, которые используются для их возведения, а также исходя из условия возможности проезда по гребню эксплуатационного транспорта и прокладки распределительного пульпопровода. Минимальная ширина гребня дамбы 5 м. При проектировании дороги общего назначения на гребне дамбы ее ширина назначается с учетом требований дорожного строительства.

Таблица 4

Золошлаковый материал или грунт тела дамбы	Коэффициент откоса
Золошлаковый материал самоцементирующийся (I группа по УралВТИ)	1,5—2,0
То же, инертный (II и III группы)	3,0—3,5
Песчаный грунт	2,5—3,0
Глинистый грунт	2,0—2,5

3.28. Крутизну откосов первичной дамбы высотой 5 м и дамб наращивания менее 5 м разрешается назначать по данным табл. 4.

Крутизна верхового и низового откосов дамб принимается одинаковой. Проектная крутизна откоса золошлакоотвала определяется расчетом в соответствии с п. 3.50. Проектирование подземного контура первичной и ограждающей дамбы золошлакоотвалов рекомендуется производить в соответствии с Руководством П 69-77/ВНИИГ [34].

3.29. Поперечное сечение дамб наращивания должно вписываться в проектное очертание наружного откоса золошлакоотвала. Для удобства производства работ и осмотра сооружения во время эксплуатации, а также для предохранения откоса от размыва поверхностными водами на низовом откосе золошлакоотвала рекомендуется устраивать бермы через 10—15 м (с учетом принятой высоты дамб наращивания). Ширину берм следует назначать не менее 3 м.

Таблица 5

Класс золошлакоотвала	Превышение гребня дамб, м	
	над статическим уровнем	над расчетной отметкой верха волны
I	2,00	1,50
II	1,50	0,70
III	1,00	0,50
IV	0,70	0,40

3.30. Превышения гребня первичной и ограждающей дамбы, а также дамб наращивания над эксплуатационным уровнем воды в пруде или над расчетной отметкой верха волны принимаются согласно табл. 5. Из полученных двух превышений надлежит принимать величину, дающую более высокую отметку гребня.

Расчет ветровой волны в пруде выполняется в соответствии со СНиП 2.06.04-82 [47]. Превышение гребня дамбы над поверхностью отложений золошлакового материала должно быть не менее 0,5 м.

3.31. Верховой (внутренний) откос дамб необходимо защищать от волнового разрушения со стороны отстойного пруда примывом золошлакового пляжа При невозможности осуществления примыва пляжа (например, в первые годы эксплуатации) и при размере пруда более 200 м разрешается, в виде исключения, применять крепление согласно данным табл. 6.

Таблица 6

Высота волны, м	Тип крепления
Менее 0,5 м	Отсыпка щебня или гравия толщиной 0,25—0,50 м или отсыпка шлака толщиной 0,50 м
0,5—1,0 м	Наброска камня слоем толщиной до 0,5 м

3.32. Наружные откосы золошлакоотвала и дамб в процессе их возведения во избежание размыва и выветривания должны закрепляться растительным грунтом с посевом трав. Разрешается покрывать наружные откосы золошлакоотвала слоем шлака толщиной 0,15—0,20 м.

Примечание. *Золошлаковый материал не рекомендуется применять в* качестве подготовки под крепление.

3.33. При возведении золошлакоотвалов на пойменных периодически затапливаемых участках необходимо предусматривать крепление наружных откосов для защиты их от воздействия реки. Тип крепления выбирается в зависимости от скорости течения по данным табл. 7.

Таблица 7

Тип крепления	Размер частиц, мм	Допускаемые неразмывающие скорости течения, м/с при глубине 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 СНиП 2 06 04-82 [47] в зависимости от интенсивности ледового и волнового воздействия.

3.34. Основное назначение дренажа на отвалах типа II и III сводится к понижению кривой депрессии, а также к организованному перехвату и отводу воды, фильтрующейся из отстойного пруда и за счет инфильтрации из блуждающих потоков пульпы на откосе намыва.

3.35. Выбор конструкции дренажных устройств и их размещение на отвале производится в зависимости от расчетного положения поверхности фильтрационного потока (кривой депрессии), выходных градиентов фильтрационного потока, удельного фильтрационного расхода по фронту наружного откоса. Кроме того, выбор конструкции дренажных устройств определяется также климатическими условиями района расположения ТЭС.

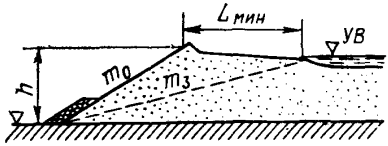


Рис. 8. Схема определения минимально допустимого расстояния от уреза отстойного пруда до бровки наружного откоса золошлакоотвала в случае слабофильтрующих грунтов в основании.

3.36. Нормальное положение кривой депрессии в намывном золошлакоотвале определяется местоположением отстойного пруда, т. е. расстоянием от уреза пруда до наружного откоса отвала (рис. 8).

В случае слабофильтрующих грунтов в основании минимально допустимое расстояние от уреза пруда до наружного откоса отвала, при котором не произойдет высачивания фильтрационной воды на откос, рекомендуется вычислять по формуле

$$L_{мин} = h_i(m_з - m_0),$$

где h_i — высота от поверхности отложений золошлакового материала до основания отвала;

$m_з$ — отношение горизонтальной проекции кривой депрессии к превышению уровня воды в пруде над основанием (величина, обратная критическому градиенту фильтрационного потока по Р. Р. Чугаеву [34]).

Для золошлакового материала $m_з = 7 \div 10$, причем меньшая величина принимается для смеси золы и шлака, большая — для золы; m_0 — среднее заложение наружного откоса отвала.

3.37. Фильтрационные расчеты золошлакоотвалов с поярусными дамбами наращивания выполняются с помощью известных расчетных способов для плотин из грунтовых материалов с использованием метода ЭГДА и с учетом коэффициента фильтрации намытого золошлакового материала и грунтов основания. Методика некоторых фильтрационных расчетов золошлакоотвалов приведена в приложении 3.

3.38. Для ориентировочного определения расхода фильтрационной воды из золошлакоотвала через поярусные дамбы на-

ращивания из золошлакового материала или из фильтрующего грунта и в случае отвала с ограждающей дамбой, возведенной на проектную высоту из песчаного или крупнообломочного грунта, разрешается пользоваться графиком зависимости удельного расхода фильтрационной воды от напора (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. 9).

3.39. Рекомендуемые дренажные устройства на золошлакоотвалах типа II и III приведены на рис. 10. Выбор дренажных устройств при проектировании золошлакоотвалов производится на основании технико-экономического сопоставления вариантов с учетом гранулометрического состава отложений золошлакового материала, его структурных особенностей и химического состава.

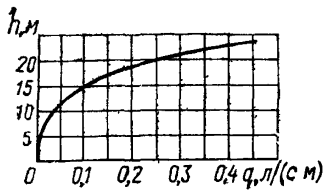


Рис 9 График зависимости удельного расхода фильтрации из эксплуатируемого золошлакоотвала в зависимости от высоты намыва $q = f(h)$

Наиболее простым способом дренирования золошлакоотвалов является возведение первичной дамбы из несвязного грунта с коэффициентом фильтрации, большим, чем коэффициент намытого золошлакового материала, например, из гравийно-галечного грунта, гравелистого песка и т. д. При этом должны быть решены вопросы удержания отстойного пруда на начальной стадии заполнения отвала до завершения примыва к верховому откосу дамбы золошлакового материала, например, отсыпкой перед верховым откосом дамбы призмы из золошлакового материала (рис. 10, *а*).

Дренажным устройством, допускающим контроль во время эксплуатации, являются отдельно стоящие (перед первичной дамбой) дренажные колодцы диаметром более 800 мм из пористого бетона или керамзитобетона (рис. 10, *б*)

Эффективно снижают поверхность фильтрационного потока в золошлакоотвале трубчатые или ленточные дренажи в основании перед первичной дамбой (рис. 10, *в*). Такие устройства не должны применяться для золошлакового материала I группы, который характеризуется способностью самоцементироваться, что может привести к образованию в трубчатых дренажах минеральных отложений и к закупорке дренажной системы. Широко распространен в практике эксплуатации трубчатый дренаж, проложенный на берме перед гребнем первичной дамбы (рис. 10, *д*).

3.40. При неблагоприятных эксплуатационных условиях на золошлакоотвале, например, когда сброс пульпы из распределительного пульпопровода длительное время производится в одном месте, происходит подъем кривой депрессии выше ее нормального положения В таких случаях при высоте отвала более 10 м допускается проектировать дренажные устройства на ярусах намыва. Конструкция дренажных устройств на ярусах намыва выбирается в зависимости от местных условий, при этом должна быть обеспечена надежная система отвода воды.

3.41. Для предохранения нижней части наружного откоса от размыва фильтрационной водой в случае подъема кривой депрессии выше нормального положения при неблагоприятных

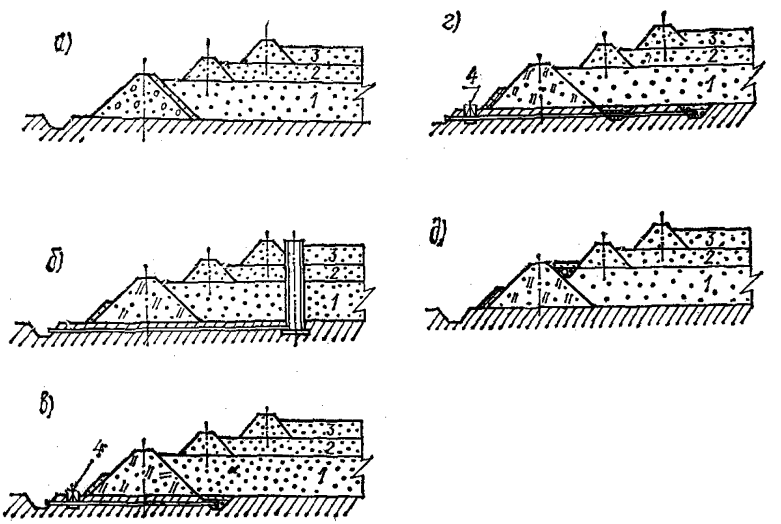


Рис. 10. Дренажные устройства на золошлакоотвалах

а — первичная призма из несвязного грунта; *б* — дренажные колодцы из пористого бетона перед первичной дамбой из глинистого грунта; *в* — трубчатая дрена перед первичной дамбой из глинистого грунта; *г* — трубчатая дренажная сеть перед первичной дамбой из глинистого грунта; *д* — трубчатый дренаж около гребня первичной дамбы из глинистого грунта; *1—3* — ярусы намыва; *4* — запорное устройство на дренаже (открывается после намыва слоя золошлаковых отложений).

эксплуатационных условиях разрешается на золошлакоотвалах высотой более 10 м устраивать наслонный дренаж на откосе

3.42. Дренажные устройства на ограждающих дамбах, возводимых из грунта на проектную высоту золошлакоотвала (типа IV), проектируются в соответствии со СНиП 2.06.05-84 [53].

3.43. Обратные фильтры дренажей на золошлакоотвалах устраиваются в виде дренажной призмы, внутри которой находится труба, отводящая фильтрационную воду. Целесообразно применение трубофильтров из пористого бетона или керамзитобетона [9].

3.44. Проектирование обратных фильтров, защищающих отложения золошлакового материала, производится в соответствии с гранулометрическим составом этих отложений, исходя из условия непросыпаемости мелких фракций золы в слои фильтра.

3.45. При проектировании состава обратных фильтров дренажей различают два случая:

1) при отсутствии на отвале шлаковых фракций для обратного фильтра применяется естественный или искусственный грунтовый материал;

2) при наличии шлаковых фракций в намытых отложениях на отвале для обратных фильтров может быть использован шлак, полученный путем отделения его на классификаторах.

3.46. Для устройства дренажа на золошлакоотвалах высотой более 10—15 м могут быть использованы железобетонные и асбестоцементные перфорированные трубы, а также трубофильтры из пористого бетона (с использованием в качестве заполнителя щебня, керамзита или жидкого шлака), изготовляемые в зависимости от требуемой фильтрационной способности и прочности.

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

3.47. Водоприемная способность трубчатых дрен зависит от напора над дреной, размера приемных отверстий (величины зазора между звеньями) и от гидравлических потерь напора фильтрационного потока, вызванных сужением живого сечения потока на подходе к дрене. Для трубофильтров из пористого бетона приемная способность определяется пористостью материала стенок труб. Гидравлический расчет дренажных труб приведен в приложении 3.

3.48. Глубина заложения дренажных труб и коллекторов по условию их прочности определяется расчетом [14]. Для предварительного подбора глубины заложения труб в зависимости от грунтов основания и материала труб допускается пользоваться табл. 8.

3.49. Проектирование гранулометрического состава обратных фильтров для дренажей золошлакоотвалов выполняется согласно [13, 33]. Вследствие особенностей формы частиц золы и шлака для отложений золошлаковых материалов на отвалах введено понятие «активной пористости», определяющей объем пор (за вычетом объема каверн, замкнутых пор и зон затенения), в пределах которых осуществляется движение фильтрационной воды. Поэтому за расчетную пористость намытого золошлакового материала принята величина $n = 0{,}45$, как для угловатых частиц.

Таблица 8

Грунты основания	Типы труб	Диаметр трубы, мм							
		100	150	200	250	300	400	500	600
Крупнообломочные грунты, глины, суглинки твердые	Бетонные	—	—	3,5	—	3	2,9	2,8	2,6
	Керамические канализационные	—	6,4	5	4,1	4,3	3,3	3,2	2,6
	Керамические дренажные	3,5	3	3,1	2,6	—	—	—	—
	Асбестоцементные водопроводные								
	ВТ-3	6,6	4,3	3,4	3	2,8	2,7	2,6	—
	ВТ-6	10,4	8,1	7,8	5,9	5,7	5,8	5,5	—
	ВТ-9	18,1	14,7	13	10,7	10,9	10,8	11	—
Пески гравелистые, крупные и средней крупности, глины и суглинки полутвердые, туго-, мягко- и текучепластичные, супеси песчаные	Бетонные	—	—	4	—	3,5	3,3	3,2	—
	Керамические канализационные	—	7,3	5,7	4,7	4,9	3,7	3,6	3,0
	Керамические дренажные	4	3,5	3	—	—	—	—	—
	Асбестоцементные водопроводные								
	ВТ-3	9,9	4,9	3,9	3,4	3,2	3,1	3	—
	ВТ-6	11,9	9,3	8,4	6,8	6,5	6,7	6,4	—
	ВТ-9	20,8	16,9	14,9	12,3	12,5	12,4	12,0	—
Пески мелкозернистые и пылеватые	Бетонные	—	—	4,1	—	3,8	3,4	3,4	—
	Керамические канализационные	—	7,6	5,9	4,9	5,11	3,9	3,7	3,2
	Керамические дренажные	4,1	3,6	3,7	3,1	—	—	—	—
	Асбестоцементные водопроводные								
	ВТ-3	10,3	5,1	4	3,6	3,3	3,3	3,1	—
	ВТ-6	12,4	9,7	9,3	7,1	6,8	6,9	6,6	—
	ВТ-9	21,6	17,5	15,5	12,0	13,0	12,9	13,1	—

3.50. В качестве основного метода расчета устойчивости наружного откоса золошлакоотвала может быть использован метод круглоцилиндрических поверхностей обрушения. При наличии в теле откоса или в основании ослабленных зон или прослоек с более низкими прочностными свойствами следует выполнять расчеты для произвольных поверхностей сдвига.

При расчетах следует использовать методы, удовлетворяющие условия равновесия призмы обрушения и ее элементов в предельном состоянии и учитывающие напряженное состояние сооружения и его основания. Применительно к конкретным геологическим условиям золошлакоотвала и его конструкции могут быть использованы, при соответствующем обосновании, проверенные практикой упрощенные методы расчета [7]. Для золошлакоотвалов I и II класса целесообразно использовать метод, изложенный в [23].

3.51. Устойчивость откоса золошлакоотвала должна быть проверена по возможным поверхностям сдвига с нахождением наиболее опасной призмы обрушения, характеризуемой минимальным отношением предельных реактивных сил сопротивления к активным сдвигающим силам.

Критерием устойчивости откосов плотины является соблюдение (для наиболее опасной призмы обрушения) неравенства [45]

$$\gamma_{fc} F(\gamma_f) \leqslant \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R\left(\frac{1}{\gamma_g}\right),$$

где F — расчетное значение обобщенного силового воздействия, определяемое с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f (в зависимости от метода расчета устойчивости откосов F — равнодействующая активных сил или моментов этих сил относительно оси поверхности сдвига);

R — расчетное значение обобщенной несущей способности системы сооружение — основание, определяемое с учетом коэффициента безопасности по грунту γ_g, т. е. обобщенное расчетное значение сил предельного сопротивления сдвигу по рассматриваемой поверхности;

γ_{fc} — коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый по СНиП II-50-74 [45] (для основного сочетания нагрузок $\gamma_{fc} = 1{,}0$, для особого сочетания нагрузок $\gamma_{fc} = 0{,}90$);

γ_f — коэффициент надежности по нагрузке (при выполнении расчетов золошлакоотвалов $\gamma_f = 1{,}0$);

γ_c — коэффициент условий работы (при использовании методов, удовлетворяющих условиям равновесия, $\gamma_c = 1{,}0$, упрощенных методов — $\gamma_c = 0{,}95$);

γ_n — коэффициент надежности по назначению сооружения (для сооружений I класса — 1,25; II класса — 1,20; III класса — 1,15; IV класса — 1,10);

γ_g — коэффициент надежности по грунту, принимаемый по СНиП 2.02.02-85.

При поиске опасной поверхности сдвига может быть использована зависимость для коэффициента устойчивости:

$$k_s = \frac{R}{F} \geqslant \frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c}.$$

Полученные расчетом значения коэффициента устойчивости при соответствующем сочетании нагрузок не должны превышать величину $\frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c}$ более чем на 10%, если это не обусловлено особенностями возведения данного сооружения.

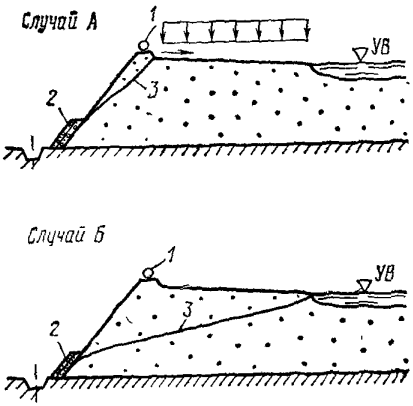


Рис. 11. Расчетные положения кривой депрессии в золошлакоотвалах

Случай *А* — в пределах зоны намыва; случай *Б* — вне зоны намыва; *1* — пульпопровод; *2* — наслонный дренаж; *3* — кривая депрессии.

3.52. Расчет устойчивости откосов золошлакоотвалов I, II, III класса (при наличии слабых грунтов в основании и IV класса), а также первичных дамб высотой более 5,0 м следует выполнять для различных высот с учетом особенностей их возведения и эксплуатации для следующих расчетных случаев (рис. 11):

А. Наружный откос золошлакоотвала полностью водонасыщен, причем кривая депрессии практически совпадает с поверхностью откоса (по схеме В. П. Недриги); такая схема принимается в зоне намыва на участках выпуска пульпы из пульпопровода;

Б. В теле золошлакоотвала устанавливается кривая депрессии в соответствии с фильтрацией только из отстойного пруда и местоположением дренажных устройств.

Примеры расчета золошлакоотвала приведены в приложении 4.

3.53. Проверка величины коэффициента откоса по условию фильтрационной устойчивости намытого золошлакового материала на стадии возведения для случая А (п. 3.52) выполняется по формуле

$$m_\phi = \frac{2}{\operatorname{tg}\varphi} \geqslant m_{ст},$$

где $m_{ст}$ — расчетное значение коэффициента откоса по условию статического расчета; φ — расчетный угол внутреннего трения намытого золошлакового материала в приоткосной части отвала.

3.54. В случае возведения золошлакоотвалов на слабых сильносжимаемых грунтах основания надлежит выполнить расчет осадки первичной дамбы. Также должен быть выполнен расчет осадки дамбы наращивания, когда она возводится на отложениях тонкой золы, например, в зоне отстойного пруда.

Упрощенный способ расчета конечной осадки дамбы приведен в приложении 5.

4. УКЛАДКА ЗОЛОШЛАКОВОГО МАТЕРИАЛА В НАМЫВНЫЕ ОТВАЛЫ

Исходные положения

4.1. Осаждение частиц золы и шлака из пульпы на откос намыва сопровождается в общем случае фракционированием — раскладкой частиц по крупности от места выпуска из пульпо-

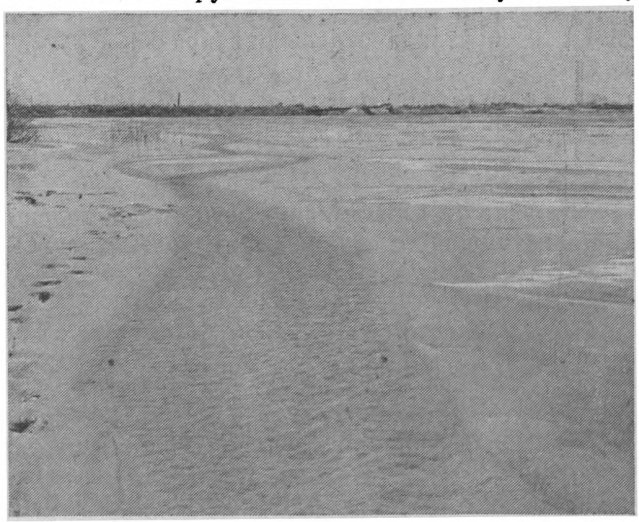


Рис. 12. Поток пульпы на откосе намыва золошлакоотвала Молдавской ГРЭС.

провода у наружного откоса золошлакоотвала до уреза отстойного пруда и далее в пределах отстойного пруда до водосбросного колодца. В соответствии с этим явлением на откосе намыва отвала могут быть выделены следующие зоны: золошлаковая и зольная на надводном откосе намыва, а также зольная зона подводного намыва (в пределах отстойного пруда).

4.2. При достаточно длительном сбросе пульпы из отдельных выпусков и при свободном ее растекании на откосе намыва имеет место образование блуждающих потоков (многорукавных русел). В системе многорукавных русел может быть выделено главное русло, расход в котором больше, чем в остальных руслах. Возможны случаи образования на откосе намыва однорукавного потока после «отмирания» второстепенных русел (рис. 12). В пределах русел в основном осаждаются крупные частицы, пространство между руслами заполняется более мелкими частицами

4.3. Расчеты намыва золошлакового материала и физико-механических свойств отложений могут быть выполнены:

а) *приближенным методом*[1], включающим расчеты расстояния от наружного откоса отвала до границы между золошлаковой и зольными зонами и расстояния до уреза отстойного пруда с последующим определением осредненных значений физико-механических свойств материала по зонам с помощью таблиц (приложение 2);

б) *теоретическим методом*[2], который включает расчеты гранулометрического состава намытого золошлакового материала и его физико-механических свойств в различных расстояниях от наружного откоса отвала отдельно в пределах русел и пространстве между ними.

Приближенный метод определения физико-механических свойств отложений по зонам (при совместном золошлакоудалении)

4.4. Расстояние от бровки наружного откоса золошлакоотвала до границы между золошлаковой и зольной зонами на заданной высоте отвала (рис. 13) рекомендуется определять по следующей формуле:

$$L_{\text{зш}} = \left[0{,}01 \sum_{d=0{,}25\ \text{мм}}^{d_{\text{макс}}} \Phi_{di}\right] L,$$

где $\sum_{d=0{,}25\ \text{мм}}^{d_{\text{макс}}} \Phi_{di}$ — сумма фракций крупнее 0,25 мм в составе исходного золошлакового материала после дробилки (измельчение шлака в насосах и пульпопроводе не учитывается), %; L — расстояние от бровки наружного откоса до водосбросного колодца, м.

Длину надводного откоса намыва, т. е. расстояние от бровки наружного откоса золошлакоотвала до уреза отстойного

[1] В основу приближенного метода расчета расстояния до границы зон намыва положен балансовый способ учета распределения частиц различной крупности в составе золошлакового материала на откосе намыва в условиях линейной задачи [18].

[2] Теоретический метод в настоящих Рекомендациях не опубликован.

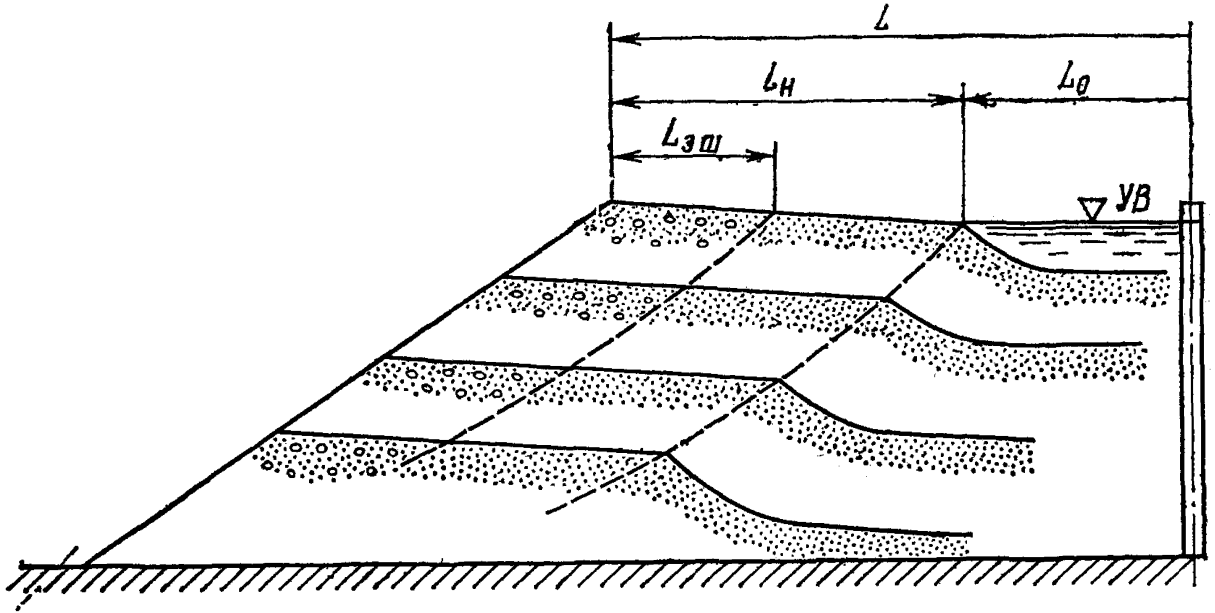


Рис. 13. Схема к расчету границ зон фракционирования на надводном откосе намыва золошлакоотвала.

пруда на заданной высоте отвала рекомендуется определять по следующей формуле:

$$L_{\text{н}} = \left[0{,}01 \sum_{d=d_x}^{d_{\text{макс}}} \Phi_{d_i} \right] L,$$

где $\sum_{d=d_x}^{d_{\text{макс}}} \Phi_{d_i}$ — сумма фракций крупнее d_x в составе исходного золошлакового материала дробилки, %; d_x — предельная крупность фракции, осаждающаяся в пределах надводного откоса намыва, мм. Для предварительных расчетов допускается принимать $d_x = 0{,}05$ мм.

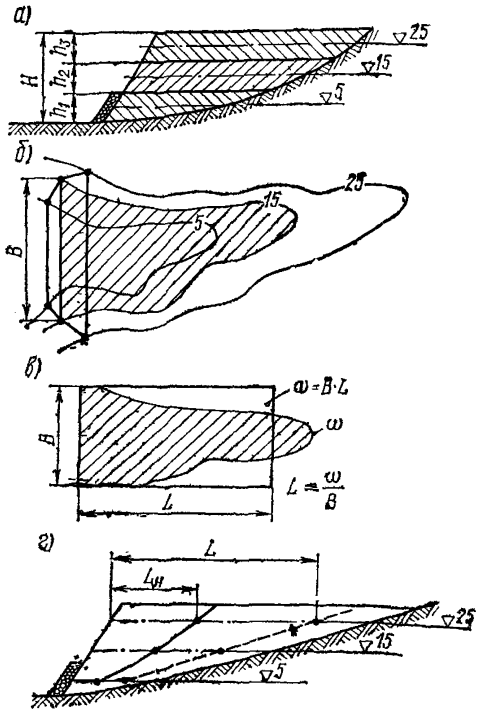


Рис. 14. Схема к расчету границ зон фракционирования овражного золошлакоотвала
а — разбивка сечения отвала на ярусы; *б* — определение площади яруса; *в* — определение расчетной длины яруса; *г* — нанесение границ зон на сечение отвала.

В случае отвала неправильной формы в плане, 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 (рис. 14).

4.5. Расчетные значения физико-механических свойств намытого золошлакового материала по зонам принимаются по данным приложения 2: плотность сухого материала (скелета) — табл. 2-2 и 2-3, коэффициент фильтрации — табл. 2-4, угол внутреннего трения и сцепления — табл. 2-5, модули деформации — табл. 2-6.

Примечание. В зависимости от содержания оксида кальция в составе золошлакового материала имеет место увеличение во времени его прочностных свойств (приложение 9). При приближенных расчетах отвалов упрочнение отложений допускается не учитывать. Для решения вопроса об упрочнении отложений в отвалах I класса рекомендуется привлекать научно-исследовательские организации соответствующего профиля.

4.6. Профиль поверхности намытого золошлакового материала выше уровня отстойного пруда имеет, как правило, вогнутую форму с более крутыми откосами у сброса пульпы и более пологим у уреза отстойного пруда (рис. 15).

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;

$x_0 = \frac{x}{L_н}$ — относительное расстояние от бровки наружного откоса до точки поверхности откоса с ординатой y и абсциссой x;

$i_{ср}$ — средний уклон откоса намыва в долях единицы.

Для предварительных подсчетов среднего уклона поверхности отложений разрешается пользоваться формулой $i_{ср} = 0{,}02 \sqrt[3]{c}$, где c — весовая консистенция пульпы на выпуске в долях единицы.

Средний уклон откоса намыва на разных золошлакоотвалах изменяется в пределах 0,002—0,009 (см. также [11]).

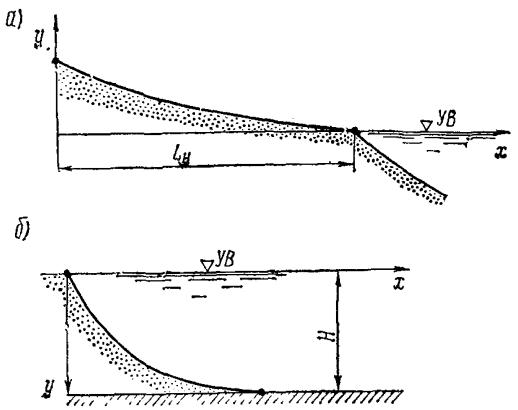


Рис. 15. Схема координат профиля поверхности отложений золошлакового материала

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

4.7. Профиль поверхности отложений золы ниже уровня воды имеет вогнутую форму с постепенным выполаживанием откоса по мере удаления от уреза воды. Для построения профиля поверхности подводных отложений может быть использована следующая приближенная формула:

$$y = H\left[1 - e^{-0{,}3\frac{x}{H}}\right],$$

где H — максимальная глубина отстойного пруда в рассматриваемом створе, м; e — основание натуральных логарифмов; x, y — абсцисса и ордината поверхности подводных отложений.

Средний уклон откоса подводного намыва 0,08—0,10.

Схема координат профиля поверхности отложений золошлакового материала выше и ниже уровня воды приведена на рис. 15.

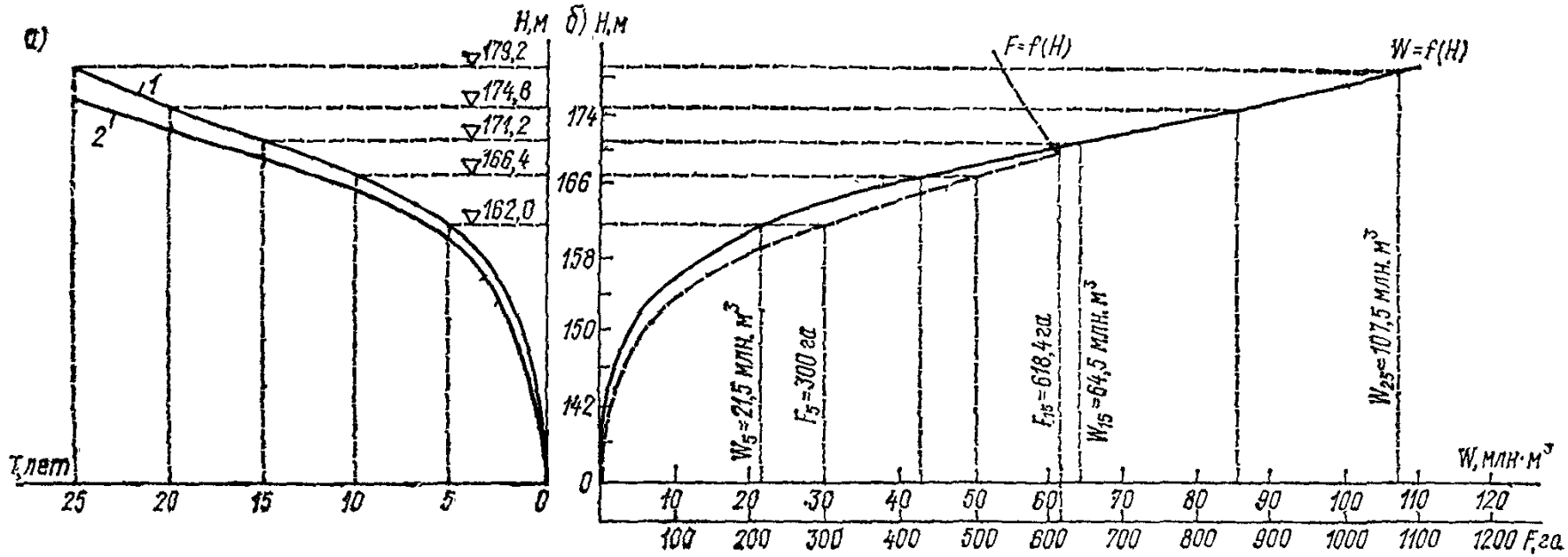


Рис. 16. Номограммы для определения

а — времени заполнения золошлакоотвала; *б* — площади *F* и емкости *W* золошлакоотвала; *1* — при коэффициенте заполнения $\eta = 1$; *2* — то же при $\eta = 0{,}85$.

4.8. Полезная емкость золошлакоотвала определяется (для разных отметок заполнения) геодезическим методом. Зависимость емкости золошлакоотвала от отметки заполнения изображается в виде номограммы с учетом принятых коэффициентов заполнения (рис. 16).

Технология заполнения отвала

4.9. Качество намываемого сооружения в значительной степени определяется технологией намыва, поэтому в состав проектной документации по намывному золошлакоотвалу должны быть включены вопросы разводки распределительных пульпопроводов, расстановка выпусков на пульпопроводе и их сечение, последовательность работы и др.

4.10. Разводка распределительных пульпопроводов должна быть, в первую очередь, подчинена основной схеме заполнения отвала «от дамбы к пруду». Для равнинного золошлакоотвала разводка должна, как правило, осуществляться по периметру его, для овражного отвала — по дамбе, которая перекрывает овраг, долину и другие естественные углубления.

Распределительные пульпопроводы прокладываются на лежневых или низких П-образных опорах или непосредственно на гребне дамбы со сдвижкой трубы от оси дамбы в сторону отвала, либо на эстакаде в пределах откоса намыва вдоль дамбы.

4.11. Сброс золошлаковой пульпы из распределительного пульпопровода должен обеспечивать равномерное по высоте заполнение отвала и свободное растекание пульпы по отложениям золошлакового материала В результате этого достигается наиболее полное фракционирование материала, т. е осаждение наиболее крупных фракций у наружного откоса отвала и отмыв наиболее мелких в отстойный пруд. При таком распределении материала тело золошлакоотвала формируется по принципу обратного фильтра, что обеспечивает наибольшую устойчивость наружного откоса.

4.12. При намыве золошлакоотвалов могут применяться следующие способы сброса пульпы из распределительных пульпопроводов:

из выпусков большого сечения (соизмеримого с сечением пульпопровода);

из выпусков небольшого сечения на распределительном пульпопроводе или на ответвлении от пульпопровода

4.13. При намыве золошлакоотвалов рекомендуется обеспечивать максимально возможное рассредоточение сброса пульпы путем устройства выпусков минимального диаметра на распределительном пульпопроводе. Диаметр выпусков определяется по условию незабиваемости их крупными кусками шлака и другими предметами согласно табл. 9.

Примечание. Для отделения из золошлаковой пульпы частиц шлака крупнее 3—5 мм рекомендуется использовать гидрогрохоты. Уменьшение размеров крупных кусков шлака возможно за счет применения дробилок.

Таблица 9

Система золошлакоудаления	Минимальный внутренний диаметр выпуска, мм	Минимальное расстояние между выпусками, м
Совместное удаление золы и шлака	100—150	40—50
То же, но с применением специальных сепарирующих устройств для отбора фракций крупнее 3—5 мм	20—50	10—20
Раздельное удаление золы	10—20	2—5

4.14. Для намыва дренированного отвала типа I-А распределительный пульпопровод прокладывается на эстакаде. При намыве дренированного отвала типа I-Б распределительный пульпопровод прокладывается на П-образных опорах.

Для намыва дренированного отвала типа I-В прокладываются две нитки распределительного пульпопровода: одна для транспорта крупных фракций золы и шлака, используемых для намыва боковой зоны, и вторая — для транспорта золы, которая подается в центральную часть отвала. За безморозный период намыв боковой зоны должен обеспечить такое опережение намыва центральной части по высоте, чтобы беспрепятственно заполнять отвал в течение зимы при прекращении намыва боковой зоны на дренированное основание. Размеры боковой зоны назначаются в соответствии с количеством выдаваемых ТЭС крупных фракций золошлакового материала, а также определяются устойчивостью откоса отвала.

4.15. На золошлакоотвалах типа II, III и IV наибольшее распространение получил способ сброса пульпы из нескольких выпусков большого сечения с устройством патрубков в сторону отвала такой длины, чтобы пульпа подавалась на отложения золошлакового материала за пределами откоса дамбы.

Внутренний диаметр выпусков и расстояние между ними на золошлакоотвалах типа II, III и IV устанавливаются в зависимости от диаметра распределительного пульпопровода согласно табл. 10.

Примечания: 1. Не рекомендуется сбрасывать весь расход пульпы одновременно из многих выпусков большого сечения, так как при этом происходит неблагоприятная раскладка золошлакового материала по длине фронта намыва (более крупные фракции осаждаются у первого выпуска, более мелкие — у последнего работающего выпуска).

2. Уточненное количество одновременно работающих выпусков, при которых мало заметно продольное фракционирование золошлакового материала, должно определяться опытным путем на начальной стадии заполнения отвала.

Таблица 10

Характеристика выпуска	Диаметр пульпопровода, мм					
	300	400	500	600	700	800
Внутренний диаметр, мм	150	200	250	300	300	300
Расстояние между выпусками, м						
при конструкции золошлакоотвала с поярусным обвалованием (II и III тип)	35	50	50	75	100	100
при ограждающей дамбе из грунта на полную высоту отвала (IV тип)	70	100	100	150	200	200
Количество одновременно работающих выпусков	3—4	3—4	3—4	3—4	4—5	5—6

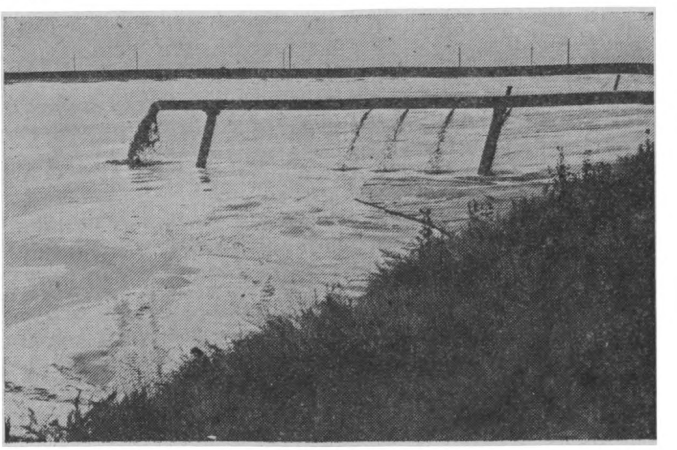


Рис. 17. Сброс пульпы из выпуска с коленом на конце трубы ответвления на золошлакоотвале Ермаковской ГРЭС.

4.16. Выпуски на распределительном пульпопроводе должны быть оборудованы задвижками или съемными заглушками. Для регулирования расхода пульпы на выпуске целесообразна установка шлангового (пережимного) затвора.

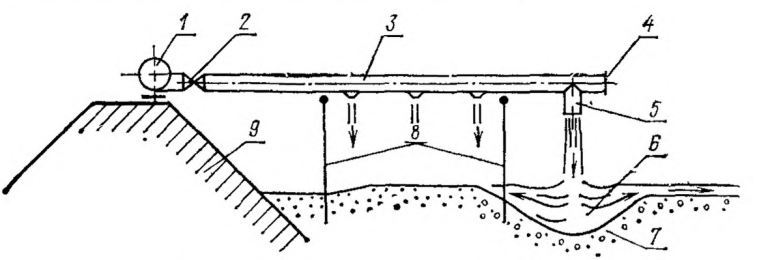


Рис. 18. Конструкция выпуска пульпы

1 — распределительный пульпопровод; *2* — задвижка; *3* — труба ответвления, *4* — заглушка; *5* — патрубок; *6* — воронка размыва; *7* — отложения золы и шлака; *8* — опорные стойки; *9* — дамба наращивания.

4.17. Для предотвращения сосредоточенных потоков пульпы на откосе намыва вдоль дамбы, которые вызывают обычно размыв ее верхового откоса, рекомендуется на конце патрубка от выпуска устанавливать колено под углом 90° такого же диаметра, что и патрубок (рис. 17). При этом обеспечивается верти-

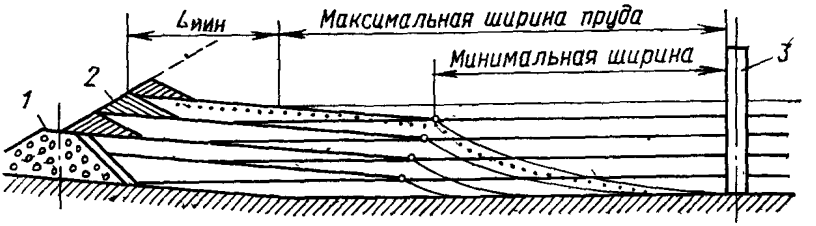


Рис. 19 Схема подъема уровня воды отстойного пруда
1 — первичная дамба; *2* — дамбы наращивания; *3* — водосбросной колодец.

кальное падение струи пульпы и образование осесимметричной воронки размыва. Допускается взамен колена установка тройника на конце патрубка (рис. 18).

4.18. Растекание пульпы и длина надводного откоса намыва регулируется плановым положением уреза отстойного пруда (рис. 19). Не разрешается поднимать уровень отстойного пруда до такой отметки, чтобы урез его приблизился к бровке откоса на расстояние меньшее, чем полученное расчетным путем по условию предотвращения высачивания фильтрационной воды на наружном откосе (п. 3.36).

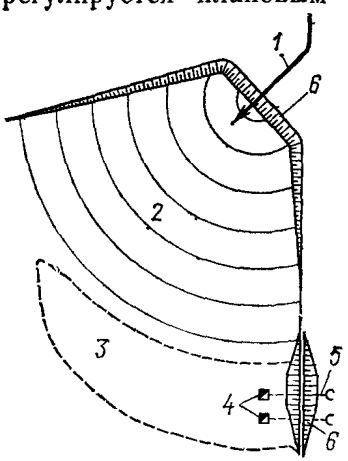


Рис. 20. Заполнение золошлакоотвала способом «полутеррикона»
1 — пульпопровод; *2* — отложение золошлакового материала, *3* — отстойный пруд; *4* — водосбросной колодец; *5* — водоотводящий коллектор; *6* — ограждающая дамба

4.19. На золошлакоотвалах ТЭС, сжигающих топливо, золошлаковый материал которых обладает цементирующим свойством, разрешается осуществлять заполнение сбросом пульпы в одной точке (из торца пульпопровода) на границе отвала так называемым способом «полутеррикона» (рис. 20). В этом случае дамба наращивания возводится бульдозером или экскаватором из свеженамытого золошлакового материала.

4.20. С целью формирования золошлаковой зоны с минимальным содержанием зольных фракций следует применять так называемый раздельный способ намыва, основанный на использовании естественной гидравлической классификации материала

в пульпопроводе (перемещении наиболее крупных и тяжелых фракций в придонных слоях потока при скорости, близкой к критической). При этом способе сброс пульпы для намыва, содержащей наиболее крупные и тяжелые фракции, производится из нескольких выпусков, врезанных в нижнюю часть распределительного пульпопровода, а оставшаяся пульпа с зольными частицами отводится по пульпопроводу к центральной части отвала [18]. Число одновременно работающих выпусков, при которых обеспечивается сброс для намыва шлаковых частиц с минимальным количеством зольных, устанавливается опытным путем на начальной стадии заполнения (рис. 21).

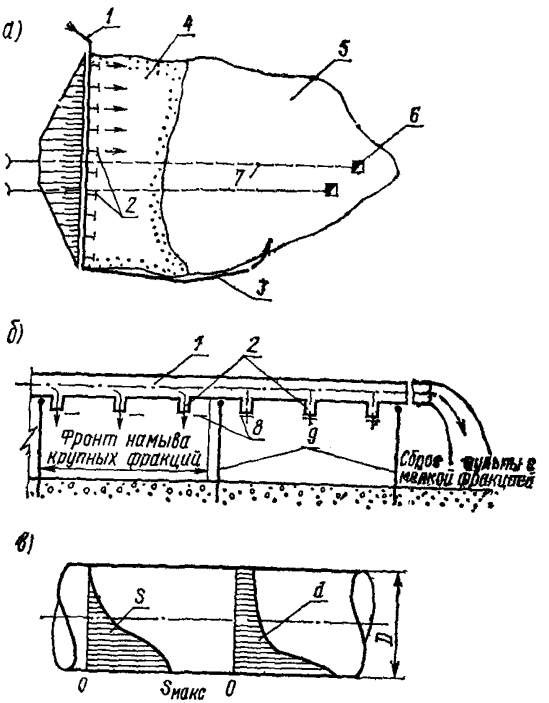


Рис. 21. Схема раздельного способа намыва золошлакоотвалов

а — план отвала с разводкой распределительных пульпопроводов; *б* — разрез по распределительному пульпопроводу; *в* — эпюра консистенции *S* и крупности материала *d* в сечении пульпопровода при скорости, близкой к критической.

4.21. В случае длительного сброса пульпы из выпуска распределительного пульпопровода в одной точке может произойти высачивание фильтрационной воды на наружном откосе отвала в районе сброса пульпы, что обычно приводит к размыву нижней части откоса, не защищенного дренажем. Для предотвращения этого нежелательного явления рекомендуется сокращать во времени сброс пульпы на данном участке отвала и при появлении высачивания воды на откосе переключать сброс пульпы на следующие выпуски или чередовать сброс пульпы из разных выпусков по длине распределительного пульпопровода.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТСТОЙНЫХ ПРУДОВ НАМЫВНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Исходные положения

5.1. Отстойный пруд золошлакоотвала предназначен для осаждения наиболее мелких частиц золы, т. е. осветления сбросной воды до состояния, позволяющего использовать ее для оборотного водоснабжения системы ГЗУ на ТЭС или других нужд станции. 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. Объем отстойного пруда практически не влияет на химический состав оборотной воды.

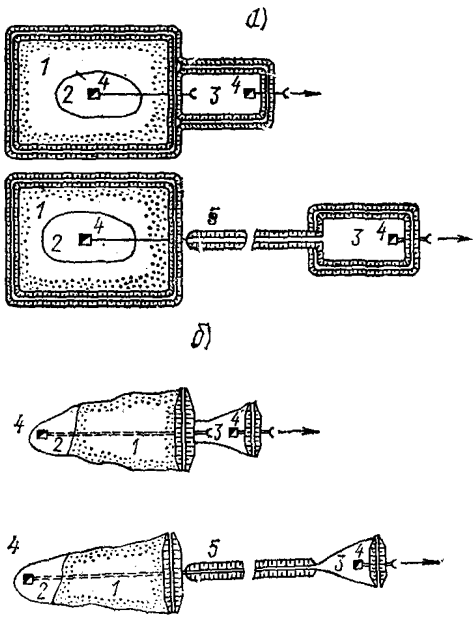


Рис. 22 Схемы вторичных отстойных прудов золошлакоотвалов

а — равнинный золошлакоотвал; *б* — овражный золошлакоотвал; *1* — надводный откос намыва; *2* — первичный отстойный пруд; *3* — вторичный отстойный пруд; *4* — водосбросной колодец; *5* — канал осветленной воды.

5.2. Расчет отстойного пруда золошлакоотвалов заключается в определении:

геометрических размеров (длины, ширины, глубины) и объема пруда, обеспечивающих требуемое осветление воды;

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

5.3. На золошлакоотвалах могут применяться два типа отстойных прудов:

отстойный пруд в пределах собственно золошлакоотвала, свободно сопрягающийся с отложениями надводного откоса намыва;

отстойный пруд вторичного отстоя, отделенный от надводного откоса дамбой, в теле которой уложены перепускные устройства от промежуточных водосбросных сооружений (рис. 22).

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

возможность совмещения пруда вторичного отстоя с бассейном осветленной воды насосной станции оборотного водоснабжения;

более благоприятный режим осветления воды в пруде вторичного отстоя, вследствие оптимального места втекания воды, а также облегчения условий эксплуатации.

Расчет длины пути осветления по эффекту осветления

5.4. Для определения длины пути осветления L_0 по заданному эффекту осветления в отстойном пруде рекомендуется следующая формула:

$$L_0 = \sqrt{\frac{2Hv_0}{ku_0}},$$

где H — глубина воды у водосбросного сооружения, м; v_0 — средняя скорость потока пульпы в месте втекания ее в отстойный пруд, м/с; u_0 — «процентная» скорость осаждения твердой составляющей зольной пульпы, м/с; k — опытный коэффициент, $м^{-1}$.

Входящие в формулу величины задаются с учетом следующих соображений.

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 принимается заглубление под уровень воды оголовка водоприемника насосов. При удалении воды по каналу за расчетную величину H берется глубина воды во входном сечении канала.

Таблица 11

Расход воды в системе ГЗУ, $м^3/ч$	v_0, м/с	k, $м^{-1}$
<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

Примечание. При системе ГЗУ с подачей пульпы на отвал несколькими пульпопроводами и при такой их разводке, когда исключается возможность слияния потоков на откосе намыва до впадения в отстойный пруд, разрешается принимать в качестве расчетного максимальный расход одного пульпопровода.

Значение скорости втекания потока пульпы в пруд v_0 берется из табл. 11, в зависимости от расхода воды в системе ГЗУ.

Коэффициент k характеризует интенсивность затухания средней скорости по длине транзитного потока в отстойном пруде, принимается по табл. 11.

5.5. При расчете пруда вторичного отстоя, в который осветленная вода поступает по каналу или сбросной трубе, скорости

втекания определяются по формуле $v_0 = Q/\omega$, где Q — расход воды в системе ГЗУ, м³/с; ω — живое сечение канала или сбросной трубы, м².

Осветленная вода должна вводиться в пруд вторичного отстоя рассредоточенно для максимально возможного увеличения площади живого сечения.

5.6. «Процентная скорость» осаждения золы u_0 зависит от физических свойств золы, концентрации пульпы в месте втекания в отстойный пруд и от эффекта осветления. Определение величины u_0 производится в следующей последовательности.

Рассчитывается выраженный в процентах эффект осветления пульпы на надводном откосе намыва золошлакоотвала по формуле

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

где $L_н$ — длина надводного откоса (расстояние от места сброса пульпы из пульпопровода до уреза отстойного пруда), определяемая по формуле п. 4.4, км.

По найденному значению $\Theta_н$ определяется концентрация взвешенной золы в потоке осветленной воды в месте втекания в пруд по зависимости[1]:

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

где c_0 — концентрация пульпы в месте сброса из пульпопровода, мг/л.

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

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

где $c_п$ — максимально возможная концентрация взвешенной золы в воде отстойного пруда у места водозабора, принимаемая исходя из рекомендации качества воды для уплотнения сальников подшипников багерных насосов ($c_п \leqslant 2000$ мг/л).

По полученным значениям c_* и Θ из табл. 12 берется скорость u_0 для золы разных твердых топлив. Для промежуточных значений c_* и Θ величина u_0 определяется интерполяцией. При c_* менее 1000 мг/л и более 15000 мг/л значения u_0 берутся из табл. 12 соответственно для 1000 и 15000 мг/л.

В случае применения на проектируемой станции топлива, характеристики осаждения золы которого в табл. 12 отсутствуют, величина u_0 должна определяться в лабораторных условиях ме-

---

[1] С учетом теоретических предпосылок об изменении твердого расхода и концентрации пульпы по откосу намыва по линейному закону концентрация в месте втекания в отстойный пруд выражается формулой $c_* = c_0 (1 - L_н/L)$, где L — расстояние от бровки откоса отвала до водосбросного колодца.

Таблица 12

Вид золы	„Процентная скорость" осаждения $u_0 \cdot 10^{-3}$, м/с								
	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 азейского угля	1,19	0,30	0,10	1,67	0,42	0,15	1,85	0,73	0,35
Зола донецкого угля	6,67	1,59	—	7,83	2,77	0,67	8,90	4,44	1,55
Зола кузнецкого угля	1,55	0,16	—	3,03	0,69	0,12	7,40	3,18	0,79
Золы кизил-кияского угля	6,67	3,33	1,52	6,67	3,33	1,52	6,67	3,33	1,52
Зола львовско-волынского угля	2,02	0,55	0,09	2,56	1,28	1,19	4,76	2,67	1,33
Зола подмосковного угля	3,33	0,67	0,08	4,76	0,93	0,14	5,56	1,31	0,51
Зола печорского угля	1,28	0,41	0,10	2,08	0,88	0,33	2,56	1,04	0,63
Зола ташкумырского угля	5,56	2,78	0,67	5,56	2,78	0,67	5,56	2,78	0,67
Зола туломского угля	1,80	0,60	0,08	2,78	0,78	0,05	—	—	—
Зола челябинского угля	11,10	5,56	1,10	11,10	5,56	1,10	11,10	5,56	1,10
Зола черемховского угля	2,22	0,22	0,07	3,33	0,56	0,14	10,8	2,15	0,48
Зола экибастузского угля	1,80	0,47	0,11	2,22	0,61	0,15	2,38	0,80	0,24
Зола эстонского сланца	1,02	0,24	—	1,21	0,69	0,11	2,67	0,16	0,83
Зола торфа	5,56	1,48	0,11	8,33	1,91	0,56	11,1	3,03	0,78

тодом технологического анализа, приспособленного для получения кривых осаждений золы [11].

5.7. Определение длины пути осветления L_0 производится в два этапа:

1. Вычисление L_0 по полученным значениям H, v_0, k и u_0 при величине $L_{н1}$, определяемой по формуле п. 4.4.

2. Проверка величины $L_{н1}$ с учетом полученного значения L_0 по условию $L_0 \leqslant L - L_{н1}$. Если величина L_0, вычисленная согласно этому условию, окажется больше величины $(L - L_{н1})$, то расчет длины пути осветления должен быть повторен для величины $L_{н2} = L - L_0$.

5.8. Ширина пруда назначается не менее $0{,}5L_0$. Средняя глубина пруда в м в зимнее время должна быть не менее следующей величины:

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

где $h_{л\,п}$ — максимальная толщина ледяного покрова для водоемов в районе расположения ТЭС.

Средняя глубина пруда в летнее время принимается не менее 1,0 м.

5.9. Расчет водного баланса системы ГЗУ выполняется с целью:

определения избытка или дефицита воды в системе;

выбора объема и расхода источников пополнения системы ГЗУ при дефиците воды;

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;

определения необходимой емкости отстойного пруда, способного принимать естественный приток, для назначения отметки гребня дамб;

определения пропускной способности водосбросных сооружений.

5.10. Расчет водного баланса системы ГЗУ выполняется для среднего по гидрологическим и метеорологическим факторам года, а также для летнего и зимнего сезонов. Кроме того, выполняются поверочные расчеты:

для жаркого года 10%-й обеспеченности для определения максимального расхода подпиточной воды;

для многоводного года 10%-й обеспеченности для определения емкости отстойного пруда, необходимого для аккумуляции объема осадков.

В случае поступления поверхностных вод в золошлакоотвал величина их притока определяется в соответствии с обеспеченностью класса отвала (табл. 3, п. 2.15).

5.11. Для годичного периода приходная и расходная части водного баланса определяются следующими уравнениями.

Приходная часть баланса, м³:

$$W_1 = W_с + W_н + W_в + W_{пр},$$

где $W_с$ — объем водной составляющей пульпы, поступающей на отвал с учетом внутристанционных стоков, сбрасываемых в систему ГЗУ; $W_н$ — объем осадков, выпадающих на поверхность золошлакоотвала, бассейна и каналов осветленной воды; $W_в$ — объем поверхностного стока, поступающего в систему ГЗУ; $W_{пр}$ — объем сбросных вод других цехов электростанций и других предприятий, направляемых непосредственно в золошлакоотвал.

Расходная часть баланса, м³:

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

где W_0 — объем воды, забираемой из отстойного пруда для возврата на ТЭС для повторного использования в системе ГЗУ, исходя из потребностей внутристанционной системы золоулавливания и шлакоудаления (с учетом внутристанционных потерь

воды); $W_{ф.п}$ — потери на фильтрацию через ложе отстойного пруда; $W_{ф\,к}$ — потери на фильтрацию через ложе бассейна и каналов осветленной воды; $W_{и.в}$ — потери на испарение с водной поверхности отстойного пруда, бассейна и каналов осветленной воды; $W_г$ — объем воды, оставшейся в порах намытого золошлакового материала; $W_{и.с}$ — потери на испарение с поверхности золошлакоотвала, покрытой снегом; $W_д$ — количество воды, необходимое для подъема уровня отстойного пруда с целью обеспечения необходимого пути осветления (в связи с частичным заполнением емкости пруда зольными отложениями).

Примечание. В случае сплошного экранирования ложа золошлакоотвала и бассейна осветленной воды величины $W_{ф\,к}$ и $W_{ф\,п}$ принимаются равными нулю.

5.12. Расчет водного баланса может привести к следующим случаям:

1) $W_1 = W_2$ — баланс нулевой. Этот случай является оптимальным и может встречаться при расчетах золошлакоотвалов в климатической зоне 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:

отвод естественных водотоков и устройство нагорных канав для предотвращения попадания в систему поверхностного стока,

отказ от принятия в систему ГЗУ технологических сбросов сточной воды станции и других предприятий; для снижения избытка воды в системе ГЗУ на ТЭС с мокрыми золоуловителями может 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 уменьшаться за счет интенсивного испарения. Для восполнения недостатка воды рекомендуется направлять в золошлакоотвал загрязненные стоки ТЭС, поверхностный сток и периодически сбрасывать в отвал воду из системы технического водоснабжения.

5.13. В отдельные внутригодовые периоды, когда потери воды из системы достигают максимальной величины, может образоваться отрицательный баланс, даже если он остается положительным для среднемноголетнего периода. При этом может произойти существенное уменьшение уровня отстойного пруда и снижение качества осветления воды. Такими периодами с большими водными потерями для северных районов является период образования льда, а для южных районов — летний период с интенсивным испарением. Для этих периодов на основа-

нии расчета водного баланса следует определить необходимый минимальный объем воды в пруде.

5.14. Отдельно для зимнего периода величина потерь воды определяется по следующей формуле, в м³:

$$W_{з.п} = W_{л.п} + W_{л.к} + W_{л.н} + W_{ф.л.з} + W_{ф.к.з} + W_{гз},$$

где $W_{з.п}$ — потери воды из системы в зимний период; $W_{л\,п}$ — потери воды на образование льда в пруде; $W_{л.к}$ — потери на образование льда в каналах осветленной воды; $W_{л.н}$ — потери воды на образование наледей на надводном откосе золошлакоотвала; $W_{ф\,лз}$ — потери воды на фильтрацию через ложе золошлакоотвала в зимний период; $W_{ф.кз}$ — потери на фильтрацию через ложе бассейна и каналов осветленной воды в зимний период; $W_{гз}$ — объем воды, оставшийся в порах золошлакового материала, уложенного на зимний период.

Отдельно для летнего периода величина потерь воды вычисляется по формуле, в м³:

$$W_{лет} = W_{и.в}^{P,\%} + W_{ф.пл} + W_{ф.кл} + W_{гл},$$

где $W_{лет}$ — объем воды, теряемый из системы за безледоставный период; $W_{и.в}^{P,\%}$ — потери воды на испарение за безледоставный период; $W_{ф\,пл}$ — потери воды на фильтрацию через ложе пруда; $W_{ф.кл}$ — потери воды на фильтрацию через ложе бассейна и каналов осветленной воды за безледоставный период; $W_{г\,л}$ — объем воды, оставшейся в порах золошлакового материала, уложенного в отвал за безледоставный период.

Примечание. В случае сплошного экранирования ложа золошлакоотвала и каналов осветленной воды величины $W_{ф\,лз}$, $W_{ф.кз}$, $W_{ф.пл}$ и $W_{ф.кл}$ принимаются равными нулю.

5.15. Для определения максимально необходимой емкости отстойного пруда и назначения отметки гребня дамб, ограждающих пруд, следует рассчитать приходную часть водного баланса W_1 для года заданной обеспеченности. Расчетная обеспеченность определяется по классу золошлакоотвала с помощью табл. 3 п. 2.15. Для этой обеспеченности вычисляются составляющие приходной части водного баланса.

Максимально необходимая емкость отстойного пруда определяется по формуле:

для северных районов $W_{макс} = W_1{}^{P\%} - W_0 + (W_{о.с} + W_{з.п})$;

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

Объем воды в отстойном пруде должен быть равен:

для северных районов $W_{о.с} + W_{з.п}$;

для южных районов $W_{о.с} + W_{лет}$.

Минимальный объем воды в отстойном пруде, уровень при котором определяет отметки водозаборных сооружений, должен равняться $W_{о.с}$ (минимальный объем воды отстойного пруда, необходимый для обеспечения заданного эффекта осветления).

5.16. Для периода ввода в эксплуатацию построенной системы ГЗУ (включая отвал), заполнение которой осуществляется из системы технического водоснабжения ТЭС или из естественных водоемов, должна быть предусмотрена в проекте возможность заканки объема воды, равного:

для северных районов $W_{о.с}+W_{з.п}+W_{сист}$;

для южных районов $W_{о.с}+W_{лет}+W_{сист}$,

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

Примечание. Для предотвращения попадания рыб в водозаборные сооружения, служащие для забора воды из водоема в золошлакоотвал, должны предусматриваться соответствующие устройства.

6. СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОСВЕТЛЕННОЙ ВОДЫ И ОТВОДА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

6.1. В качестве сооружений, отводящих осветленную воду из золошлакоотвала, применяются водосбросные колодцы шахтного типа с шандорами по периметру и водоотводящими коллекторами, насосные станции (стационарные и плавучие), а также бортовые водосбросы. Расход воды, на который рассчитываются водосбросы, определяется водным балансом системы ГЗУ.

6.2. Выбор места расположения водосбросных колодцев должен производиться с учетом конфигурации в плане отстойного пруда и принятого способа заполнения золошлакоотвала. Следует также увязывать место установки колодцев со схемой наращивания отвала по высоте для соблюдения требуемого эффекта осветления на всех этапах эксплуатации и для избежания замыва колодцев золошлаковым материалом.

6.3. Водосбросные колодцы рекомендуется проектировать каркасной конструкции на бетонном фундаменте. Для предотвращения разрушения бетона за счет агрессивности воды в отвале рекомендуется применять сульфатостойкий бетон, обмазочную изоляцию и др.

Промежутки между стойками каркаса по мере заполнения отвала перекрываются шандорами, через гребень которых переливается осветленная вода. При непродолжительных сроках эксплуатации отвала (менее 2—3 лет) и при малой его высоте (менее 5 м) разрешается применять деревянные водосбросные колодцы каркасного типа и деревянные шандоры, пропитанные антисептиком.

Примечания: 1. Типовые конструкции колодцев разной высоты (до 15 м) и пропускной способности разработаны в Атомтеплоэлектропроекте и Союзводоканалпроекте.

2. При проектной высоте отвалов более 15 м следует рассмотреть целесообразность поярусного наращивания каркаса водосбросного колодца и разработки индивидуальной конструкции каркаса на конечную высоту заполнения отвала.

6.4. На золошлакоотвале должно быть установлено не менее двух колодцев, а на секционированном отвале — не менее двух колодцев на каждой секции с самостоятельными водоотводящими коллекторами. Каждый колодец и водоотводящий коллектор должны быть рассчитаны на пропуск полного расхода воды системы ГЗУ.

Примечание. При расположении водосбросных колодцев на отводящем коллекторе все колодцы, кроме первого, устанавливаются на отводе трубы, врезанной в коллектор.

6.5. Во избежание попадания в водосбросной колодец плавающих предметов (обломки досок, ветви деревьев, лед и пр.), а также плавающих фракций золы и шлака, вокруг колодца устраивают плавучие боны (запани) с перилами. Для подхода к колодцу рекомендуется предусматривать служебный металлический мостик с перилами. Разрешается вместо мостика возводить грунтовую дамбу, которая должна наращиваться по мере заполнения отвала. В отдельных случаях допускается использовать наплавные средства (понтоны, лодки) для подъезда к водосбросному колодцу.

6.6. Коллектор осветленной воды выполняется из железобетонных или стальных труб. В овражных золошлакоотвалах коллектор следует трассировать не по дну тальвега, а несколько смещать трассу к бортам оврага во избежание разрушения паводковыми водами. Коллектор должен быть пригружен во избежание всплытия. Стенки коллектора покрываются гидроизоляцией [44].

6.7. Диаметр коллектора следует определять гидравлическим расчетом по методике, используемой для расчета канализационных труб. При назначении диаметра трубы коллектора в случае, когда золошлаковый материал обладает цементирующими свойствами (I группа по УралВТИ), следует учитывать образование минеральных отложений на стенках труб и предусматривать увеличение внутреннего диаметра коллектора (до 25%).

6.8. При высоте отложений золошлакового материала над коллектором более 10 м необходимо выполнять статический расчет на прочность стенок коллектора на давление этих отложений [14]. Для случая, когда уровень воды совпадает с поверхностью отложений, в схеме нагрузок на стенки коллектора, уложенного по дну золошлакоотвала, принимается, что к горизонтальному диаметру коллектора приложена вертикальная равномерно-распределенная нагрузка $q_{\downarrow} = (\gamma_{взв} + \gamma_в)h$, а к вертикальному диаметру — равномерно-распределенная горизонтальная нагрузка:

$$q_{\rightarrow} = \left[\operatorname{tg}^2\left(45° - \frac{\varphi°}{2}\right)\gamma_{взв} + \gamma_в\right]h, \text{ кПа},$$

где

$$\gamma_{взв} = \gamma_d' - (1 - n)\gamma_в;$$

γ'_d — удельный вес взвешенных в воде отложений золошлакового материала, кН/м³; $\gamma_в$ — удельный вес воды, кН/м³; $\varphi°$ — угол внутреннего трения золошлаковых отложений, град.; h — высота отложений от центра тяжести сечения коллектора до поверхности, м; n — пористость отложений в долях единицы.

Коэффициент порового давления отложений допускается не учитывать. Изгибающие моменты и поперечные силы в сечении коллектора принимаются в зависимости от вида опирания коллектора на дно траншеи [14].

6.9. Для предотвращения фильтрации воды вдоль коллектора необходимо устройство вокруг трубы диафрагм с глиняным замком в месте прохождения коллектора под дамбой отвала.

6.10. Насосные станции осветленной воды могут быть стационарные или плавучие, размещаемые в пределах отстойного пруда. Стационарные насосные станции осуществляют забор воды или непосредственно из отстойного пруда, или из бассейна осветленной воды. Емкость бассейна осветленной воды должна предусматривать возможность приема воды из золоотвала за время до 24 ч для ремонта водовода осветленной воды или на случай перерыва электроснабжения, а также сработку его при наращивании шандорных колодцев.

Тип насосной станции выбирается по результатам технико-экономического сопоставления и из условия обеспечения надежной работы оборотного водоснабжения системы ГЗУ.

6.11. Выбор отметки установки насосов стационарных станций производится с учетом допустимой высоты всасывания при наинизшем возможном уровне бассейна осветленной воды. Целесообразно запроектировать установку насосов ниже отметки среднего уровня воды бассейна с тем, чтобы обеспечить работу насосов под «заливом».

6.12. Для предотвращения переполнения золошлакоотвалов необходимо предусмотреть отвод водотоков, протекающих по территории отвала. Для овражных, косогорных и пойменных отвалов следует устраивать нагорные канавы или другие устройства, препятствующие поступлению на отвал поверхностного стока с прилегающей водосбросной площади (за исключением случаев восполнения потерь воды, определяемых водным балансом).

6.13. Отвод поверхностного стока осуществляется следующими способами:

самотечным каналом в обход отвала;

перекачной насосной станцией, установленной на водотоке выше отвала;

по трубопроводному коллектору, укладываемому по ложу отвала (при условии согласования в каждом конкретном случае с Госстроем СССР).

Примечание. Допускается по условиям водного баланса аккумуляция всего паводкового стока или его части в пределах отвала.

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСЫПНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Исходные положения

7.1. При «сухом» способе золоудаления на ТЭС и при удалении золошлакового материала с помощью механического транспорта применяется складирование золы и шлака в насыпные отвалы.

7.2. В насыпных отвалах имеют распространение два способа отвалообразования (рис. 23):

послойная отсыпка с разравниванием и уплотнением;

отсыпка материала под откос.

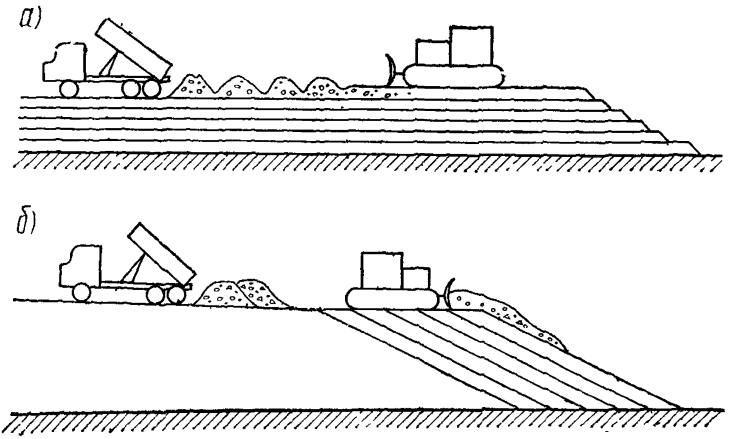


Рис. 23. Схема образования насыпных отвалов
а — послойная отсыпка; *б* — отсыпка под откос.

Отсыпка под откос может применяться на овражных и косогорных отвалах.

7.3. Конструкция насыпного золошлакоотвала должна обеспечить:

устойчивость наружных откосов на всех этапах возведения;

надежность защиты наружного откоса от воздействия атмосферных осадков;

отвод атмосферной воды с поверхности отсыпки в специальные емкости соответствующего объема.

Примечание. Собранные в емкости атмосферные воды рекомендуется использовать для пылеподавления на поверхности отвала, а сброс их в водоемы подлежит согласованию в каждом конкретном случае с органами санитарного надзора, рыбоохраны, Минводхоза и с другими заинтересованными организациями.

7.4. Первичные и ограждающие дамбы на насыпных отвалах, как правило, не возводятся.

7.5. До возведения насыпных отвалов рекомендуется произвести срезку и укладку в бурты растительного слоя, который

после завершения эксплуатации золошлакоотвала должен быть использован для рекультивации.

7.6. Во избежание пыления при транспортировке и для удобства складирования золошлаковый материал должен поступать на отвал в увлажненном состоянии. Пылеподавление на насыпных отвалах является одним из основных требований их нормальной эксплуатации.

7.7. Отсыпаемый на отвале золошлаковый материал должен разравниваться бульдозерами, уплотняться с помощью катков до относительной плотности $D = 0{,}8 \div 0{,}9$ для возможности проезда колесного транспорта и уменьшения пылеобразования, а также более полного использования емкости отвала.

Примечание. Технические условия на укладку золошлакового материала в насыпной отвал составляются по результатам опытной отсыпки с учетом обеспечения максимально возможной плотности (при оптимальной влажности). Во время отсыпки должны определяться толщина отсыпаемых слоев, тип уплотняющих механизмов и количество их проходок.

Расчеты насыпных отвалов

7.8. При составлении проекта насыпного золошлакоотвала используются следующие физико-механические свойства золошлакового материала: плотность сухого материала отсыпки (после уплотнения); влажность; оптимальная влажность; угол

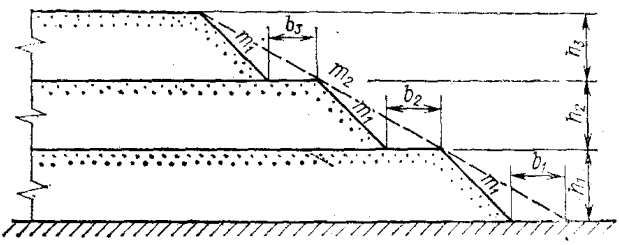


Рис. 24. Схема ярусной отсыпки золошлакоотвала
h_1, h_2, h_3 — высота яруса; b_1, b_2, b_3 — ширина бермы; m_1 — коэффициент откоса отсыпки золошлакового материала; m_2 — расчетный коэффициент откоса

внутреннего трения и сцепление; деформационные свойства. Все перечисленные свойства золошлакового материала определяются для исходного материала на ТЭС.

7.9. Плотность сухого материала (плотность скелета золошлакового материала) в первом приближении принимается, как для намытого материала, по данным табл. 2-2 приложения 2 соответственно для золошлаковой или зольной зоны надводного намыва. Влажность материала при его транспортировании в открытых автомашинах определяется с учетом дальности транспортирования на отвал, климатических условий района расположения ТЭС, химико-минералогического состава золошлакового материала и других факторов. Для предварительных расчетов влажность принимается равной 15—20%. Оп-

тимальная влажность материала, отсыпаемого на отвале, определяется опытным путем по методике Союздорнии (ориентировочно влажность может быть принята по данным табл. 2-7 приложения 2). Угол внутреннего трения, сцепление и деформативные свойства в первом приближении принимаются по данным табл. 2-5, 2-6 приложения 2.

На стадии рабочей документации все перечисленные физико-механические свойства определяются по стандартным методикам при опытной отсыпке исходного золошлакового материала ТЭС.

7.10. Средний уклон наружного откоса золошлакоотвала II, III, а также при слабых грунтах основания и IV класса должен быть обоснован расчетом на устойчивость.

7.11. Отсыпка золошлакового материала под откос разрешается на высоту не более 5 м. При большей высоте отвала отсыпка осуществляется ярусами высотой до 5 м с устройством промежуточных берм с таким условием, чтобы очертание откоса обеспечивало бы средний расчетный уклон откоса (рис. 24).

8. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ С ОПЕРАТИВНЫМ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОМ

8.1. При комбинированной системе золошлакоудаления золошлаковые отходы с помощью гидротранспорта поступают в оперативный отвал, расположенный вблизи ТЭС, который

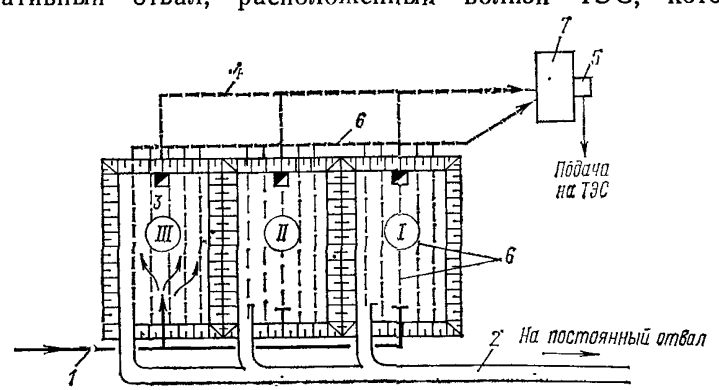


Рис. 25. Схема оперативного золошлакоотвала

I — отгрузка материала; *II* — обезвоживание; *III* — намыв; *1* — пульпопровод; *2* — автодорога; *3* — водосбросной колодец; *4* — отводящий коллектор; *5* — насосная осветленной воды; *6* — дренажная сеть; *7* — бассейн осветленной воды.

включает обычно три секции. На каждой секции производится последовательное во времени складирование материала, его обезвоживание и разработка экскаватором с погрузкой на автотранспорт для вывоза материала в постоянный насыпной золошлакоотвал или потребителям (рис. 25).

8.2. Емкость каждой секции оперативного золошлакоотвала рассчитывается на складирование не более годового выхода золы и шлака ТЭС, а высота назначается в пределах одного уступа работы экскаватора. Оперативные отвалы обваловываются дамбами из грунта на проектную высоту.

8.3. Для обезвоживания отложений золошлакового материала в пределах каждой секции устраивается трубчатая дренажная система, имеющая отводящий коллектор для сброса фильтрационной воды.

8.4. При проектировании оперативного золошлакоотвала должны быть предусмотрены подъездные дороги на каждой секции и въезды для экскаватора, автомобильного транспорта.

8.5. К оперативным золошлакоотвалам предъявляются требования по охране окружающей среды такие же, что и к постоянным отвалам ТЭС (раздел 9).

8.6. Золошлакоотвалы, обеспечивающие выдачу золошлакового материала для использования в народном хозяйстве, проектируются аналогично оперативным отвалам и включают три секции для последовательного складирования, осушения и отгрузки. Каждая секция оборудуется дренажной системой.

9. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Исходные положения

9.1. Проектирование золошлакоотвалов должно производиться с соблюдением требований по охране подземных и поверхностных вод и воздушного бассейна.

9.2. Основным средством защиты от загрязнения открытых естественных водоемов и водотоков является оборотное водоснабжение ГЗУ, при котором осветленная в отстойном пруде вода возвращается на ТЭС для повторного использования в системе удаления золы и шлака, поэтому проекты систем ГЗУ всех вновь строящихся и реконструируемых ТЭС должны основываться на оборотном водоснабжении. Применение прямоточных систем ГЗУ, а также сброса части расхода из системы в естественные водоемы и водотоки допускается в исключительных случаях при соответствующем обосновании и при условии получения согласования с контролирующими организациями (санитарный надзор, рыбоохрана, Минводхоз и др.).

9.3. В случае расположения золошлакоотвала на фильтрующих и неоднородных в фильтрационном отношении грунтах должны быть разработаны мероприятия по предотвращению загрязнения грунтовых вод сверх норм предельно-допустимой концентрации (ПДК) фильтрационной водой золошлакоотвала. В каждом конкретном случае с учетом геологических особенностей площадки золошлакоотвала рекомендуется предусматривать инженерные мероприятия перехвата фильтрационной во-

ды с соблюдением требований по предотвращению загрязнения почвы и грунтовых вод.

9.4. Для контроля за изменением химического состава грунтовых вод за счет фильтрационных вод золошлакоотвала должны быть оборудованы наблюдательные (режимные) скважины согласно «Временным рекомендациям по наблюдениям за уровнем и химическим составом грунтовых вод в районе золоотвалов ТЭС», выпущенным ВНИИГом в 1981 г. Проект сети наблюдательных (режимных) скважин должен входить в состав проекта золошлакоотвала. В случае особых грунтовых условий основания (набухание, засоленность, просадочность) проектом должна быть предусмотрена проходка контрольных скважин для периодических инженерно-геологических наблюдений за состоянием грунтов основания во время эксплуатации золошлакоотвала.

9.5. При разработке на стадии проекта для оценки возможного загрязнения грунтовых вод токсичными элементами, в том числе микроэлементами (мышьяк, фтор, ванадий и др.), содержащимися в осветленной воде золошлакоотвала, допускается пользоваться таблицей химического состава осветленной воды оборотных систем ГЗУ (приложение 8 и [20]). На стадии рабочей документации для уточнения содержания токсичных элементов рекомендуется дополнительно выполнять лабораторные исследования по методу ВНИИГ — ВТИ [11, 55].

Условие сброса осветленной воды из оборотных систем ГЗУ

9.6. При размещении ТЭС в пределах климатической зоны избыточного увлажнения и технологической невозможности организации нулевого водного баланса возникает необходимость сброса из системы ГЗУ части осветленной воды в естественные водоемы.

9.7. Сброс излишней осветленной воды из золошлакоотвала может быть осуществлен только при полном соблюдении требований «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» [26], «Методических указаний для органов санитарного надзора по применению правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», разработанных ВНИИВодхозом в 1982 г, и «Сборника руководящих документов по охране рыбных запасов в водоемах СССР» [25].

9.8. Возможность и условия необходимого сброса осветленной воды в естественные водоемы подлежат согласованию в каждом конкретном случае с органами государственного санитарного надзора, рыбоохраны, Минводхоза и другими организациями. Возможность сброса избыточной воды из золошлакоотвала в рыбохозяйственные водоемы должна быть обоснована рыбохозяйственной характеристикой водоема и подтверждена сантехническими расчетами на смешение стоков с водой водоема.

9.9. В тех случаях, когда сброс излишней осветленной воды из золошлакоотвала невозможен по условию сохранения предельно допустимых концентраций загрязнителей в воде естественных водоемов, требуется соответствующая обработка сбрасываемой воды [27, 29].

Мероприятия по борьбе с фильтрацией в намывных золошлакоотвалах

9.10. Решение о назначении защитных противофильтрационных мероприятий и выбор их типа производится на основании технико-экономического сопоставления вариантов в данных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях площадки отвала с учетом физико-химических свойств складируемого золошлакового материала (в том числе и по содержанию токсичных микроэлементов), химического состава грунтовых вод и других природно-климатических условий.

В ряде случаев для обоснования защитных противофильтрационных мероприятий целесообразно выполнение исследований методом ЭГДА. Для решения вопроса о назначении и выборе противофильтрационных мероприятий на площадке отвала допускается привлекать научно-исследовательские организации соответствующего профиля.

9.11. В качестве противофильтрационных мероприятий на намывных золошлакоотвалах, расположенных на фильтрующих и неоднородных в фильтрационном отношении грунтах рекомендуются следующие:

сплошное экранирование ложа и бортов отвала глинистым грунтом, полиэтиленовой пленкой, асфальтобетоном, золошлаковым материалам, смешанным с известковым раствором, и др ;

устройство по периметру отвала или его части противофильтрационной завесы до коренных пород;

законтуренный дренаж с откачкой воды с помощью водопонижающих скважин в коллекторе и с дальнейшей перекачкой обратно в отвал;

система самоизливающихся дренажных скважин (при наличии напора фильтрационной воды над поверхностью окружающей отвал местности) с перекачкой воды обратно в отвал

Разработка подобных мероприятий выполняется в соответствии с [11, 32, 39].

9.12. В случае фильтрации вода из золошлакоотвалов должна собираться в водоотводные канавы или закрытые коллекторы и отводиться в специальные водоемы, откуда она периодически перекачивается насосными установками обратно в золошлакоотвал. При прокладке водоотводных канав или коллекторов, а также при устройстве водоемов должны соблюдаться требования по предотвращению загрязнения грунтовых вод.

9.13. Фильтрационный расход через экранирующее устройство ложа золошлакоотвала (в случае наличия слоя фильтрую-

щих грунтов в основании и отсутствия подпора грунтовых вод) определяется по формуле

$$Q = k_{фэ} \frac{\delta + H}{\delta} F,$$

где $k_{фэ}$ — коэффициент фильтрации материала экрана; H — напор над поверхностью экрана; δ — толщина экрана; F — смоченная поверхность золошлакоотвала (для предварительных расчетов величина F принимается равной площади отстойного пруда).

Экранирующую способность слоя отложений золошлакового материала над экраном допускается не учитывать.

Оценка значений коэффициентов фильтрации различных экранирующих устройств производится по табл. 13.

Таблица 13

Экранирующее устройство ложа золошлакоотвала	Осредненное значение коэффициента фильтрации, м/сут
Уплотненный суглинок, покрытый разжиженным битумом	$1 \cdot 10^{-7}$
Уплотненный суглинок, покрытый золоизвестковым раствором с добавкой жидкого стекла	$1 \cdot 10^{-6}$
Уплотненный суглинок, покрытый золополимерным раствором	$1 \cdot 10^{-6}$
Золошлаковый материал, смешанный с известью и с добавкой хлористого кальция и латекса	$1 \cdot 10^{-6}$
Пленочный экран с грунтовым подстилающим слоем	$1 \cdot 10^{-5}$
Асфальтобетон	$1 \cdot 10^{-5}$
Зола и золошлаковый материал (самотвердеющие) канско-ачинского угля (смешанные в сухом состоянии с водой)	$1 \cdot 10^{-4}$
Уплотненный суглинок	$1 \cdot 10^{-3}$

Охрана воздушного бассейна

9.14. В районах с засушливым климатом, а также в длительные бездождевые периоды поверхность отвалов, на которых складируются золошлаковые материалы II и III группы (по УралВТИ), может явиться источником пылеобразования.

Рекомендуются следующие мероприятия по борьбе с пылением с целью сохранения чистоты воздушного бассейна и окружающей территории:

закрепление наружных откосов золошлакоотвала;

оперативное пылеподавление поверхности отложений;

технологическое закрепление поверхности отложений.

9.15. Закрепление наружных откосов дамб наращивания из золошлаковых материалов в процессе эксплуатации необходимо осуществлять растительным грунтом с посевом трав. Вместо закрепления растительным грунтом разрешается покрывать на-

ружные откосы шлаком крупностью более 2 мм слоем толщиной свыше 0,20 м.

9.16. Оперативное пылеподавление поверхности намытого золошлакового материала выполняется на участках отвала, где не проводится намыв, и рассчитывается на срок до двух месяцев. Оперативное пылеподавление может осуществляться следующими способами:

Таблица 14

Марка	Техническая характеристика установки: Расход воды, л/с	Давление воды, МПа	Радиус действия, м	Диаметр сопла, мм	Интенсивность полива, мм/мин	Завод-изготовитель	Примечание
Дождевальные дальнеструйные установки на стационарных системах							
ДД-2	11	0,50	35	22	0,2	Телавский рем.-мех. завод г. Телави Груз. ССР	Устанавливается на вертикальном стояке, основание которого крепится на бетонной подушке. Работает с вращением ствола по кругу или в заданном секторе
	15	0,55	40	25	0,2		
	20	0,60	45	28	0,2		
ДД-30	15	0,50	50	26	0,15—0,28	Котельниковский завод с/х машиностроения, г. Котельниково Волгоградской обл	
	20	0,50	55	30			
	25	0,50	60	34			
	17,5	0,60	60	25			
	23	0,60	65	30			
	30	0,60	75	34			
ДД-50	38,2	0,70	44—56	32	0,16—0,26	То же	
	47,3	0,70		36			
	55,3	0,70		40			
Дождевальные дальнеструйные навесные установки							
ДДН-70	65	0,52	69,5	55	0,4	Машиностроительный завод им. Володарского, г Ульяновск	Состоит из навесного дождевателя с насосом и трактора ДТ-75. Водозабор осуществляется из открытой и закрытой оросительной сети
	50	0,55	65,0	45			
	37	0,58	60,0	35			
ДДН-100	115	0,65	85,0	65	0,3—0,60	Котельниковский завод с/х машиностроения, г. Котельниково Волгоградской обл.	Состоит из навесного дождевателя с насосом на тракторе Т-150. Водозабор осуществляется из открытой и закрытой оросительной сети Напор в закрытой сети не более 0,5 МПа

периодическим поливом поверхности золошлакоотвала с помощью дождевальных установок (табл. 14);

временным подъемом уровня воды отстойного пруда для покрытия водой возможно большей поверхности надводных отложений золошлакового материала с учетом требований в отношении предотвращения выхода фильтрационной воды на откос отвала (п. 3.36).

9.17. Дождевание выполняется с целью поддержания поверхности золового массива во влажном состоянии в течение сухого периода. Удельный расход воды определяется максимальной влагоемкостью золы и смачиванием слоя толщиной до 10 мм. В среднем он составляет 5 мм осадков за один цикл полива, т. е. 50 м³/га. Периодичность дождевания определяется интенсивностью испарения в конкретных условиях Минимальный интервал между дождеваниями составляет 2 ч. Максимальное число циклов дождевания 6 раз/сут (в дневное время). При разработке проекта дождевания для конкретного золошлакоотвала с целью оптимизации полива необходимо проведение натурных исследований с привлечением научно-исследовательской организации соответствующего профиля.

9.18. Технологическое закрепление поверхности золошлакоотвала выполняется для борьбы с пылением во время длительных перерывов в намыве. Срок службы закрепления до двух лет.

Такое закрепление рекомендуется выполнять химическим способом с разбрызгиванием разбавленного латекса или водных эмульсий мазута, стабилизированного битума, отходов нефтеперегонных и химических производств, обладающих вя-

Таблица 15

Показатели при различном закреплении	Вертолет Ми-2				Вертолет Ми-8				Наземный способ			
	Латекс		Мазут+битум		Латекс		Мазут+битум		Латекс		Мазут+битум	
	оперативное	технологическое	оперативное	технологическое	оперативное	технологическое	оперативное	технологическое	оперативное	технологическое	оперативное	технологическое
Расход материала (сухого), т/га	0,6	0,9	1,0	1,5	0,6	0,9	1,0	1,5	0,6	0,9	1,0	1,5
Стоимость материала, руб/га	450	675	100	150	450	675	100	150	450	675	100	150
Стоимость наземных работ, руб/га	16	24	20	30	16	24	20	30	16	24	20	30
Стоимость распределения вяжущего, руб/га	134	211	134	211	80	120	80	120	300	450	300	450
Общая стоимость подавления пыления, руб/га	600	910	254	391	546	819	200	300	766	1149	420	630
Производительность работ, га/сут	6,5	4,3	6,5	4,3	24	16	24	16	2,5	1,7	2,5	1,7

жущими свойствами и удовлетворяющих требованиям санитарных органов [30].

Распределение вяжущих выполняется вертолетом или в отдельных случаях наземными средствами — аэрозольными генераторами, сельскохозяйственными опрыскивателями и поливочными машинами.

Ориентировочные технико-экономические показатели подавления пыления приведены в табл. 15, составленной по материалам производственных экспериментов, выполненных ВНИИГом.

Примечание. В отдельных случаях допускается выполнять химическое закрепление поверхности золошлакового материала на отвале и при оперативном пылеподавлении с уменьшенным в полтора раза расходом вяжущего вещества

Консервация золошлакоотвалов

9.19. По окончании эксплуатации золошлакоотвал как источник пылеобразования должен быть надежно законсервирован путем создания на нем сомкнутого покрова многолетних трав.

9.20. Консервация может осуществляться двумя способами:

отсыпкой растительного грунта с последующим посевом на нем многолетних трав;

без отсыпки грунта посевом многолетних трав с одновременным внесением полного комплекса удобрений, мульчи и оперативным закреплением.

9.21. Консервация золошлакоотвала должна осуществляться в два этапа:

технический этап, в процессе которого формируют поверхность для создания оптимальных условий выполнения работ, устраивают подъездные дороги и въезды, выполняют планировочные работы, при необходимости наносят слой плодородной почвы;

биологический этап, в процессе которого достигается интенсификация почвообразовательного процесса путем внесения органических и минеральных удобрений, возделывания мелиоративных культур.

Примечание. При консервации целесообразно использовать растительный слой с территории золошлакоотвала, который перед началом строительных работ должен быть снят и собран в бурты.

9.22. Выбор технологии проведения технического этапа консервации зависит от исходного состояния поверхности отвала (наличия выемок после разработок, неровностей намыва) и должен обеспечить в конечном итоге наиболее удобный рельеф, устойчивость к просадкам и эрозии, возможность применения сельскохозяйственной техники.

9.23. На биологическом этапе консервации золошлакоотвала производится внесение минеральных удобрений и посев многолетних трав с нормой высева, в 2—3 раза превышающей зональную.

Проведение биологического этапа существенно облегчается и ускоряется при использовании гидропосева или при применении вертолетов, оснащенных специальной аппаратурой

9.24. Отработанные золошлакоотвалы должны быть рекультивированы и возвращены землепользователям. Проекты рекультивации золошлакоотвалов выполняются, как правило, специализированными организациями

10. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Общие положения

10.1. Основные решения по организации эксплуатации золошлакоотвалов устанавливаются в соответствии с проектом и [42].

10.2. В общем случае эксплуатация системы золошлакоудаления должна обеспечить:

бесперебойное круглогодичное удаление и складирование золы и шлака ТЭС;

рациональное использование и своевременную подготовку емкости отвала;

содержание сооружений золошлакоотвалов в надежном и безопасном состоянии на протяжении всего срока эксплуатации;

соблюдение требований охраны окружающей среды (предотвращение загрязнения поверхностных и грунтовых вод, охрану воздушного бассейна от пыления и др.).

10.3. В разделе проекта по эксплуатации золошлакоотвала должно быть предусмотрено:

состав эксплуатационного персонала для обслуживания системы ГЗУ и золошлакоотвала (включая наращивание, если оно проводится хозяйственным способом);

перечень строительных механизмов и машин для эксплуатации и наращивания;

состав бытовых и вспомогательных помещений (складские, ремонтные);

потребность материалов и труб для эксплуатации;

аварийный состав материалов для ремонтных работ (камень, щебень, металл, цемент и пр.);

освещение ответственных сооружений отвала (водосбросных колодцев, оголовков водосбросных труб и др.);

телефонизация для связи с диспетчером ТЭС;

состав контрольно-измерительной аппаратуры для наблюдения за состоянием сооружений и наблюдательных скважин для контроля загрязнения грунтовых вод.

Возведение сооружений золошлакоотвала

10.4. Возведение первичной дамбы намывных золошлакоотвалов осуществляется насыпным или намывным способом в соответствии с требованиями СНиП III-8-76 [49]. Разрешается

использовать для возведения первичной дамбы строящегося отвала золошлаковый материал, например, из законсервированных золошлакоотвалов

10.5. Дамба наращивания из золошлакового материала возводится нагребанием бульдозером или отсыпкой экскаватором намытого материала из золошлаковой зоны отвала Распространен способ доставки в тело дамбы золошлакового материала с помощью автосамосвалов, которые загружаются экскаватором Материал берется из золошлаковой зоны отвала.

Отсыпаемый в тело дамбы материал разравнивается бульдозером слоями до 0,50 м и укатывается при соответствующем

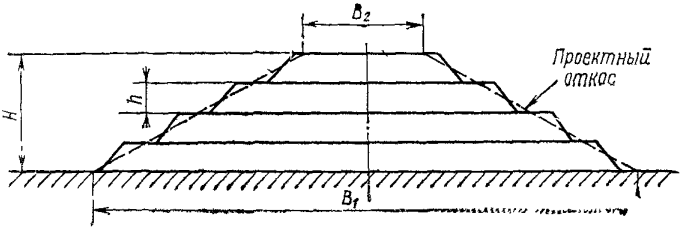


Рис. 26. Схема послойной отсыпки дамбы

увлажнении (до оптимальной влажности) прицепными катками. При использовании виброкатков допускается принимать толщину слоев до 1 м.

Слои отсыпки должны вписываться в проектный профиль дамбы (рис. 26).

10.6. Для возведения дамб наращивания допускается применять гидромеханизацию, например в случае наличия близкорасположенных от отвала подводных карьеров грунта.

Примечание. Производство всех видов гидромеханизированных работ, намыв дамб золошлакоотвалов и переработка грунта вблизи водоемов должны быть согласованы с органами санитарного надзора, рыбоохраны, Минводхоза и другими заинтересованными организациями

10.7. Дамбы наращивания небольшой высоты менее 1,5—2,0 м разрешается отсыпать пионерным способом с гребня под откос на всю высоту, применяя тяжелые автосамосвалы, перемещающиеся по гребню дамбы. В зимнее время при отрицательной температуре воздуха такая отсыпка не разрешается.

10.8. 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.

10.9. Возведение ограждающей дамбы золошлакоотвала типа IV производится с учетом всех требований СНиП III-8-76 [49].

10.10. Возведение ограждающей дамбы до проектной отметки должно производиться с учетом последующей осадки как тела дамбы, так и основания (приложение 5).

10.11. Водосбросной колодец является ответственным сооружением отвала, так как любая авария с ним может привести к выходу из строя золошлакоотвала. Поэтому водосбросной колодец должен периодически осматриваться эксплуатационным персоналом, для чего к нему должен быть предусмотрен постоянно действующий проход в виде служебного металлического мостика с перилами или грунтовая дамба

10.12. При расположении золошлакоотвала в пределах заторфованных болотистых низин необходимо иметь в виду возможность всплытия торфа (при степени его разложения менее 50%) при затоплении отвала водой. Для избежания всплытия торфа рекомендуется осуществлять его пригрузку отсыпкой грунта, горной породы или золошлакового материала отдельными полосами.

Контрольно-измерительная аппаратура

10.13. Состояние сооружений намывного золошлакоотвала должно контролироваться с помощью контрольно-измерительной аппаратуры, а также визуально. Периодичность контрольных наблюдений устанавливается в зависимости от класса сооружений в соответствии с инструкцией [6].

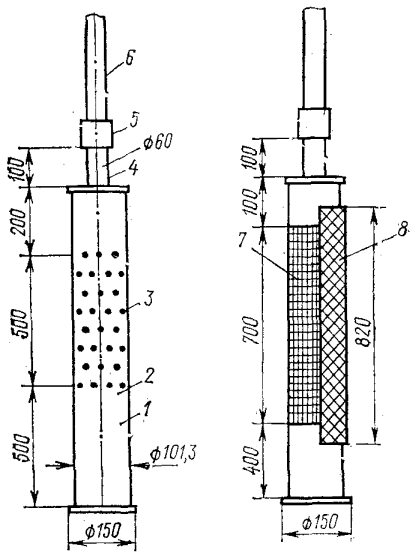


Рис. 27. Однотрубный пьезометр

1 — отстойник; *2* — труба 0-Ц90; *3* — перфорированная часть; *4* — труба 0-Ц50; *5* — муфта; *6* — стояк; *7* — латунная сетка с отверстиями ⊠1 мм; *8* — стеклоткань.

Контрольные наблюдения проводят для оценки состояния сооружений, надежности их работы, своевременного выявления имеющихся дефектов и назначения ремонтных мероприятий, предотвращающих возможности аварий, и улучшения условий эксплуатации.

10.14. На намывных золошлакоотвалах необходимо предусматривать установку следующей аппаратуры:

пьезометров (шахтных и точечных) для наблюдения за фильтрационным потоком в теле отвалов, в дамбах и в грунтах основания;

мерных водосливов для измерения расхода фильтрационного потока;

поверхностных реперов для измерения осадок отложений золошлакового материала;

глубинных реперов для измерения осадок грунтов основания (преимущественно при наличии слабых грунтов в основании);

сети наблюдательных скважин на прилегающей к золошлакоотвалу территории для контрольных наблюдений за загрязнением грунтовых вод фильтрационными водами; диаметр скважин назначается исходя из удобства отбора проб ($\geqslant$ 100 мм).

10.15. Пьезометры устанавливаются по поперечникам нормально к оси дамбы. В зависимости от класса золошлакоотвала расстояния между пьезометрическими поперечниками принимаются от 100 до 500 м. На каждом поперечнике устанавливают 3-4 шахтных пьезометра и в зависимости от особенностей

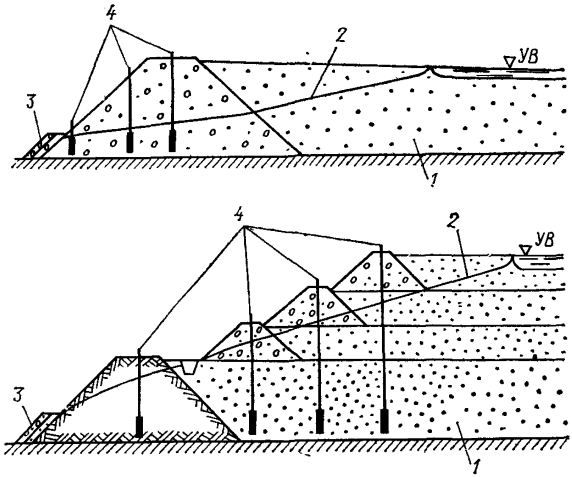


Рис. 28. Схемы установки пьезометров на золошлакоотвале

1 — отложения из золы и шлака; *2* — положение кривой депрессии; *3* — наслонный дренаж; *4* — пьезометры.

грунтов основания 1-2 точечных пьезометра (рядом с шахтными).

10.16. Точечные пьезометры фиксируют уровень воды — пьезометрический напор в слое небольшой высоты (20—50 см); шахтные пьезометры имеют перфорацию на большом отрезке трубы, их устанавливают в тело дамбы с таким расчетом, чтобы наинизший уровень фильтрационного потока был выше верха перфорации. Пример конструкции пьезометров приведен на рис. 27 [6]. Пример расстановки пьезометров на дамбах дан на рис. 28.

10.17. Конструкция реперов принимается типовой согласно [6].

10.18. Измерение расходов фильтрационной воды в отводящей от дренажных выпусков канаве производится с помощью типовых мерных водосливов треугольного или трапецеидального профиля.

Зимние условия эксплуатации

10.19. Преобладающее количество ТЭС Советского Союза расположено в климатической зоне с продолжительными зимними периодами, поэтому, учитывая непрерывность работы системы золошлакоудаления, должны быть даны решения по организации эксплуатации отвала в зимнее время в соответствующем разделе проекта.

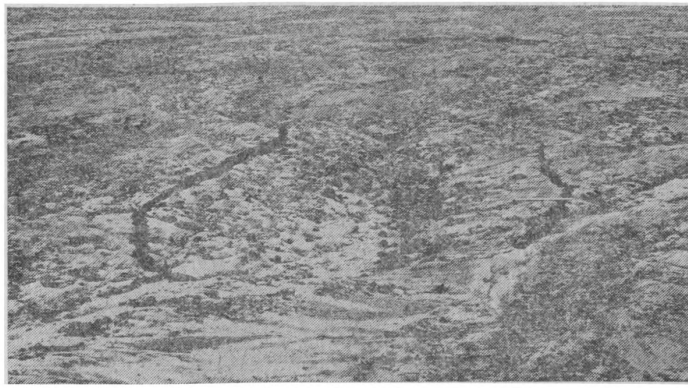


Рис 29. Провальные воронки на откосе намыва золошлакоотвала Интинской ТЭЦ в результате оттаивания мерзлоты и замытого льда (июль, 1980 г).

10.20. Заполнение намывных золошлакоотвалов в зимнее время должно по возможности обеспечить сосредоточение сброса пульпы в одном месте, т. е в работе должно находиться минимальное количество выпусков на распределительном пульпопроводе. Переключать выпуски в зимнее время не рекомендуется. Сброс пульпы в течение зимы и весенного периода должен производиться из одних и тех же выпусков, что обеспечит ликвидацию образовавшихся за зиму наледей и мерзлоты в намытом материале в теплое весеннее время года за счет инфильтрации водной составляющей пульпы в отложения золошлакового материала (рис. 29).

10.21. При возведении дамб в намывных отвалах, а также при эксплуатации насыпных отвалов не разрешается отсыпать золошлаковый материал на снег или лед, так как вследствие теплоизолирующих свойств этого материала оттаивание снега и льда в отсыпанном массиве происходит весьма медленно и сопровождается значительными осадками, что может вызвать возникновение аварии Расчистку снега и льда следует производить бульдозером.

Примечание. Известны случаи аварийных разрушений дамб золошлакоотвалов вследствие возникновения сосредоточенной фильтрации воды по контакту между талым и мерзлым грунтом у гребня дамбы (вдоль трещины отслаивания) при повышении уровня воды отстойного пруда [17]

Приложение 1

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ ТЭС

Зола и шлак ТЭС являются продуктами термохимических и фазовых превращений неорганических компонентов твердого топлива и в значительной части состоят из минералов вмещающих горных пород. В составе золошлаковых материалов могут быть минералы с самостоятельными гидравлическими свойствами, активизирующимися при водотепловой обработке, а также инертные.

Характерным элементом в составе золошлаковых материалов, определяющим проявление вяжущих свойств, является кальций. Содержание кальция выбрано за основной показатель оценки качества золы и шлака ТЭС как материала для возведения дамб золошлакоотвалов и как сырья для производства строительных материалов. Это положение взято за основу классификации золошлаковых материалов энергетических топлив, разработанной УралВТИ (Т. Е. Сергеева) [37].

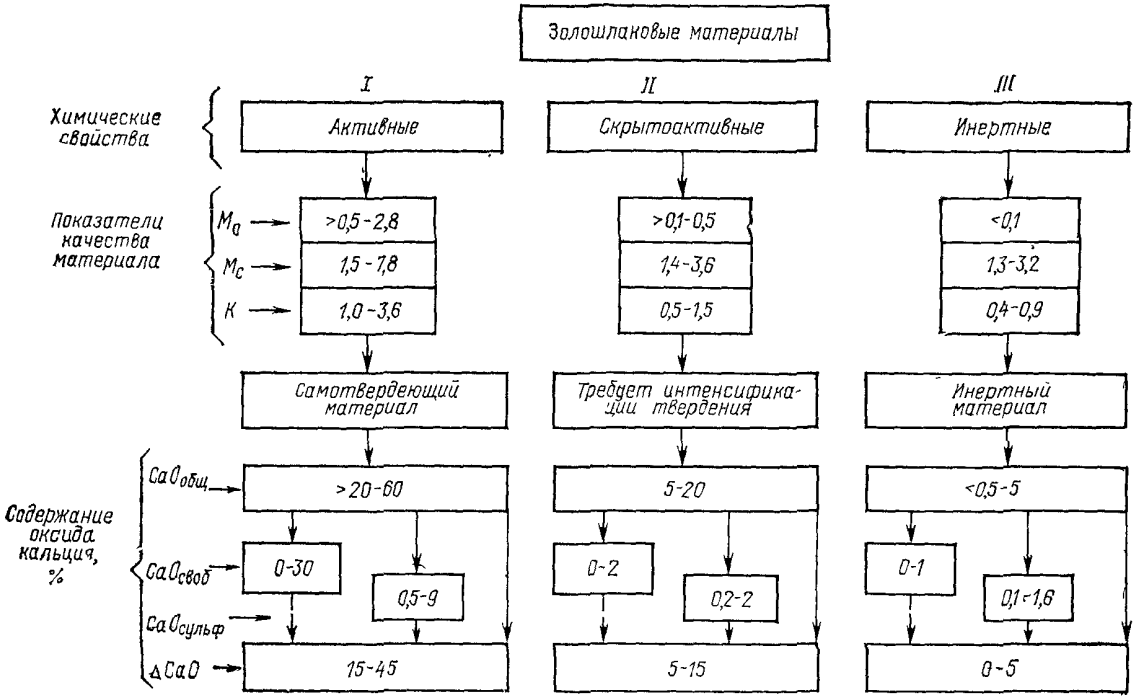
Согласно этой классификации золошлаковые материалы в зависимости от химического состава разделены на три группы, отличающиеся активностью в нормальных воздушно-влажных условиях: активные *I*, скрытоактивные *II* и инертные *III* (рисунок). Это деление выполнено с учетом модулей основного M_o и силикатного M_c, а также коэффициента качества K, принятого в промышленности строительных материалов:

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}; \quad M_c = \frac{SiO_2}{Al_2O_3};$$

$$K = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2}$$

В пределах трех групп золошлаковые материалы распределены по содержанию кальция: общему, свободному и связанному в сульфат.

К группе I отнесены золошлаковые материалы горючих сланцев, углей Канско-Ачинского бассейна и торфа. Они отличаются большим содержанием общего и свободного кальция, максимальное содержание которых может быть 60 и 30% соответст-



Классификация УралВТИ золошлаковых материалов твердых топлив тепловых электрических станций.

венно. Такой состав обеспечивает и высокие значения модуля основности и показателя качества. Золошлаковые материалы указанных топлив обладают свойством самостоятельного твердения и пригодны для гранулирования без добавки вяжущего. Эти материалы могут быть во многих случаях использованы для возведения дамб золошлакоотвалов, а также применяются как местное вяжущее и добавки.

К группе II отнесены золошлаковые материалы с общим содержанием оксида кальция от 5 до 20%. Свободный оксид кальция при этом не превышает 2%. К этой группе относятся золошлаковые материалы углей: Днепровского бассейна, Северо-Восточных районов, Восточной Сибири, Дальнего Востока,

Осредненный химический состав золы твердых топлив месторождений и бассейнов

Наименование месторождения и бассейна	A^s, %	$S^c_{об}$, %	Химический состав золы на бессульфатную массу, %								Группа
			SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	
Эстонские сланцы	50	1,8	36,6	10,5	6,6	38,9	3,2	3,0	0,8	0,4	I
Канско-Ачинский бассейн (уголь)	10	0,4	33,5	12,3	11,1	36,1	5,4	0,9	0,7	—	
Торф Белорусской ССР	15	0,3	38,0	9,2	14,1	31,4	4,7	0,8	1,3	0,5	
Угли											II
Месторождения Средней Азии	20	1,2	42,4	21,3	12,4	17,2	3,4	1,5	1,2	0,6	
Днепровский бассейн	25	3,8	55,2	17,5	7,2	15,3	2,1	0,6	1,0	1,1	
Месторождения Северо-Восточных районов	16	0,5	48,9	22,8	12,1	9,9	2,6	1,4	1,5	0,8	
Месторождения Восточной Сибири	18	0,7	51,2	26,4	9,5	7,8	2,4	1,2	0,7	0,8	
Львовско-Волынский бассейн	24	3,3	44,1	22,6	20,5	7,5	1,7	2,1	0,6	0,9	
Кузнецкий бассейн	20	0,4	55,8	24,9	6,8	7,3	1,6	1,8	0,9	0,9	
Месторождения Урала	30	3,8	52,4	23,7	13,3	5,6	1,8	1,4	0,7	1,1	
Месторождения Казахской ССР	30	1,0	56,7	25,7	6,0	5,5	1,5	1,3	2,1	1,2	
Месторождения Дальнего Востока	27	0,4	56,1	25,2	7,1	5,4	1,6	2,5	1,4	0,7	
Месторождения о-ва Сахалин	20	0,4	58,4	25,4	5,7	4,8	1,9	1,8	1,2	0,8	III
Подмосковный бассейн	40	4,2	48,2	35,6	9,5	4,1	0,7	0,7	0,3	0,9	
Месторождения Кавказа	23	1,6	54,4	32,1	6,8	3,6	0,6	0,5	0,8	1,2	
Печорский бассейн	25	1,4	60,2	20,8	9,6	3,4	2,5	1,5	0,9	1,1	
Донецкий бассейн	27	3,1	49,9	24,0	16,5	3,2	1,5	3,1	1,1	0,7	
Экибастузский бассейн	40	0,8	66,0	27,0	3,5	1,7	0,2	0,8	0,2	0,6	

Львовско-Волынского бассейна, Кузнецкого бассейна, месторождений Урала и Казахстана. Основным направлением использования золошлаковых материалов этой группы может явиться производство изделий, твердеющих при тепловой обработке с активизаторами

К группе III отнесены золошлаковые материалы углей Подмосковного, Печорского, Донецкого и Экибастузского бассейнов. Они характеризуются высоким содержанием кислых оксидов (кремнезема и глинозема), низким содержанием оксидов кальция и магния Свободного оксида кальция, являющегося активизатором процесса твердения, в некоторых золошлаковых материалах этой группы может не быть совсем, а максимальное его содержание не превышает 1%. Основным направлением использования золошлаковых материалов этой группы является дорожное строительство, производство кирпича, зольного гравия и др.

В соответствии с классификацией УралВТИ в таблице приведены данные по химическому составу золы твердых топлив месторождений и бассейнов Советского Союза. Все месторождения и бассейны твердых топлив расположены в порядке убывания содержания общего оксида кальция в золе этих топлив и с выделением трех групп золы. Таблица составлена по материалам [57]. Необходимо отметить, что таблица дает лишь осредненную характеристику «лабораторной» золы твердых топлив бассейнов и месторождений страны, для отдельных разрезов и шахт перечисленных месторождений и бассейнов данные по химическому составу золы могут довольно существенно отличаться от приведенных осредненных характеристик Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании систем золошлакоудаления на конкретной ТЭС.

Химический состав в таблице пересчитан на бессульфатную массу.

Приложение 2

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гранулометрический состав и агрегатная плотность золошлакового материала

Таблица 2-1

Топливо	Вид шлака	ρ_a, т/м³	Процентное содержание фракции, мм					
			>10	10—2	2,0—0,5	0,50—0,25	0,25—0,04	<0,04
Уголь								
ангренский	Твердый	2,5	1	8	6	3	10	72
аркагалинский	»	2,2	5	8	4	3	34	46
воркутинский	»	2,1	4	2	2	7	49	36
гусиноозерский	»	2,3	5	3	2	9	47	34
донецкий	Жидкий	2,5	10	25	5	1	25	34
интинский	Твердый	2,2	4	2	2	7	42	43
ирша-бородинский	Жидкий	2,5	—	11	23	9	43	14
карагандинский	Твердый	2,1	1	5	8	11	42	33
кузнецкий	»	2,1	5	4	2	5	45	39
кизил-кияский	»	2,3	3	4	2	3	46	42
львовско-волынский	»	2,4	—	3	4	2	49	44
лермонтовский	»	2,0	5	5	4	4	40	42
нерюнгринский	»	2,1	5	3	2	5	56	29
подгородненский	»	2,1	5	5	6	6	40	38
подмосковный	»	2,5	4	2	2	7	45	40
реттиховский	»	2,0	5	4	5	5	46	35
райчихинский	»	2,4	1	3	4	7	39	46
ткварчельский	»	2,3	7	2	2	4	48	37
ургальский	»	2,0	2	10	3	1	34	50
харанорский	»	2,2	2	4	2	7	41	44
челябинский	»	2,2	6	7	3	3	40	41
черемховский	»	2,1	6	5	3	1	54	31
экибастузский	»	2,1	2	3	2	6	70	17
Сланцы	»	2,9	—	1	4	6	36	53
Торф	»	2,5	—	1	7	6	56	30

Таблица 2-2

Расчетные значения агрегатной плотности, плотности сухого материала (плотности скелета) и пористости намытого золошлакового материала

Топливо	Тепловая электростанция	Надводный намыв — золошлаковая зона			Надводный намыв — зольная зона			Подводный намыв			Осредненная плотность материала
		ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %	ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %	ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %	$\bar{\rho}_d$, т/м³
Жидкое шлакоудаление											
Уголь донецкий (АШ, АЗ, Т)	Молдавская ГРЭС	—	—	—	2,35	1,20	49	2,25	1,05	53	
	Трипольская ГРЭС	2,60	1,50	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	1,20
донецкий (Г, ГР)	Углегорская ГРЭС	2,55	1,75	32	2,50	1,30	48	—	—	—	
	Запорожская ГРЭС	2,50	1,65	34	2,50	1,35	46	2,48	1,20	52	
	Осредненные данные	2,50	1,70	38	2,50	1,30	47	2,48	1,20	52	1,35
ирша-бородинский	Назаровская ГРЭС	3,10	1,60	48	—	—	—	—	—	—	
	Иркутская ТЭЦ-6	2,50	1,40	44	2,50	—	—	2,51	0,4	84	
	Усть-Илимская ТЭЦ	2,65	1,55	42	2,45	—	—	—	—	—	
	Осредненные данные	2,70	1,50	44	2,40	—	—	2,51	0,4	84	0,85
львовско-волынский	Бурштынская ГРЭС	—	—	—	2,85	1,25	47	2,85	1,0	58	1,25
Твердое шлакоудаление											
азейский	Иркутская ТЭЦ-9	2,60	1,20	55	2,25	0,90	60	—	—	—	0,90
	Томская ГРЭС-2	—	—	—	2,25	0,80	72	—	—	—	0,80
аркагалинский	Аркагалинская ГРЭС	—	1,50	—	2,04	0,70	67	2,00	0,45	77	0,80
»	Магаданская ТЭЦ	—	1,10	—	2,10	0,85	60	2,10	0,8	67	0,90
ангренский	Ангренская ГРЭС	—	—	—	2,45	0,90	63	2,25	0,65	70	0,90
бикинский	Приморская ГРЭС	—	—	—	2,17	0,85	60	1,90	0,55	70	0,80

Продолжение табл. 2-2

Топливо	Тепловая электростанция	Надводный намыв — золошлаковая зона			Надводный намыв — зольная зона			Подводный намыв			Осредненная плотность материала $\overline{\rho_d}$, т/м³
		ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %	ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %	ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %	
воркутинский	Воркутинская ТЭЦ-1	2,16	0,60	72	2,16	0,55	75	2,10	0,55	74	
	Воркутинская ТЭЦ-2	2,86	0,96	60	2,20	0,81	68	2,15	0,81	68	
	Осредненные данные	2,25	0,80	66	2,18	0,68	69	2,12	0,68	68	0,70
гусиноозерский	Гусиноозерская ГРЭС	2,45	1,30	47	—	—	—	—	—	—	
»	Улан-Уденская ТЭЦ	—	—	—	2,20	—	—	—	—	—	
донецкий	Кураховская ГРЭС	2,40	1,26	48	2,20	0,90	59	2,20	0,85	61	0,95
кузнецкий	Барабинская ГРЭС	2,25	1,10	51	2,10	0,80	62	2,10	0,70	67	
	Ленинградская ТЭЦ-2	—	—	—	—	—	—	—	0,90	—	
	ТЭЦ Архангельского ЦБК	—	1,20	—	—	0,90	—	—	—	—	
	Новосибирская ТЭЦ-2-3		—	—	—	0,85	—	—	0,80	—	
	Осредненные данные	2,25	1,10	51	2,10	0,85	62	2,10	0,80	62	0,90
кизил-кияский и др	Кувасайская ГРЭС	—	—	—	2,80	0,80	65	2,30	0,75	67	0,80
карагандинский	Фрунзенская ТЭЦ	2,40	1,30	46	2,10	0,60	62	2,10	0,60	71	—
	Алма-Атинская ГРЭС	2,40	0,90	73	2,15	0,70	70	2,10	0,70	70	—
	Осредненные данные	2,40	1,10	60	2,12	0,65	66	2,10	0,65	70	0,75
липовецкий и др.	Артемовская ГРЭС	2,50	1,05	58	2,15	0,85	60	2,10	0,90	57	0,90
львовско-волынский	Добротворская ГРЭС	—	—	—	2,30	1,00	57	2,30	0,90	61	1,00
лермонтовский	Сахалинская ГРЭС	2,80	1,25	55	2,10	0,75	65	1,97	0,65	67	0,80
нерюнгринский	Чульманская ГРЭС	—	—	—	2,13	0,77	74	—	0,55	—	0,80
печорский	Интинская ТЭЦ	2,35	1,20	50	2,30	1,00	57	2,26	0,85	62	1,00
подмосковный	Щекинская ГРЭС	2,70	1,20	55	2,35	0,90	62	—	—	—	—
	Новомосковская ГРЭС	2,80	1,80	53	2,35	1,10	58	2,20	1,00	55	—
	Осредненные данные	2,75	1,25	54	2,35	1,00	58	2,20	1,00	55	1,05

райчихинский	Хабаровская ТЭЦ-2	2,95	1,85	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	68	—
	Осредненные данные	2,92	1,42	52	2,45	0,95	61	2,34	0,80	65	1,00
реттиховский и др.	Партизанская ГРЭС	2,29	1,20	48	2,17	0,80	62	2,20	0,87	60	0,90
»	Владивостокская ТЭЦ-2	2,40	1,20	50	2,10	0,90	57	—	0,85	—	0,95
ташкумырский и др	Ферганская ТЭЦ	2,95	1,60	46	2,30	0,80	65	2,22	0,50	75	0,85
томь-усинский, шушталинский	Южно-Кузбасская ГРЭС	2,40	1,05	56	2,25	0,95	58	—	—	—	0,95
харанорский	Читинская ГРЭС	—	1,20	—	2,25	0,90	60	2,20	0,75	65	0,90
хакасский и др	Юргенская ТЭЦ	2,53	0,6	70	2,5	0,75	67	—	—	—	0,75
»	Бийская ТЭЦ-1	—	—	—	2,25	0,80	65	—	—	—	0,80
челябинский	Южно-Уральская ГРЭС	3,20	1,45	55	2,18	0,84	62	2,28	0,98	56	1,00
черемховский	Иркутская ТЭЦ-10	2,60	1,20	55	2,25	0,90	60	—	—	—	0,90
экибастузский	Средне-Уральская ГРЭС	2,50	1,00	60	2,25	0,80	65	—	—	—	—
	Троицкая ГРЭС	2,50	1,10	56	2,80	1,00	57	—	—	—	—
	Омская ТЭЦ-4	—	—	—	2,20	0,80	64	—	—	—	—
	Осредненные данные	2,50	1,05	58	2,25	0,90	60	—	—	—	0,90
Сланец	Эстонская ГРЭС	—	—	—	2,92	1,00	66	2,83	—	—	—
эстонский	Прибалтийская ГРЭС	2,88	1,20	58	2,90	1,00	66	2,70	—	—	—
гдовский	ТЭЦ г. Сланцы	—	—	—	2,74	0,93	66	2,72	—	—	—
кашпирский	Сызранская ГРЭС	—	—	—	2,71	—		—	—	—	—
	Осредненные данные	2,88	1,20	58	2,82	1,00	66	2,75	—	—	1,00
Торф	Кировская ГРЭС-8	2,70	1,20	56	2,65	0,70	74	2,36	0,30	87	—
Ленинградской обл	Ярославская ТЭЦ-1	3,10	1,40	55	2,82	0,80	72	2,88	0,30	90	—
Ярославской обл.	Смолевичская ГРЭС	2,75	1,30	53	2,70	1,00	63	2,60	0,55	80	—
Белорусской ССР	Осредненные данные	2,90	1,30	55	2,73	0,83	70	2,60	0,40	85	0,80

Таблица 2-3

Расчетные значения агрегатной плотности, плотности сухих отложений и их пористости на намывных шлакоотвалах

Топливо	Наименование ТЭС	ρ_a, т/м³	ρ_d, т/м³	n, %
	Твердый шлак			
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	2,50	1,15	54
Быковский и синегорский угли	Южно-Сахалинская ТЭЦ-2	1,90	0,80	58
Львовско-волынский уголь	Добротворская ГРЭС	2,25	1,15	50
Подмосковный уголь	Щекинская ГРЭС	2,7	—	—
Челябинский уголь	Южно-Уральская ГРЭС	2,3	0,8	65
	Жидкий шлак			
Ангренский уголь	Ангренская ГРЭС	2,55	1,30	49
Донецкий уголь	Молдавская ГРЭС	2,60	—	—
» »	Мироновская ГРЭС	2,50	1,30	47
Донецкий и кузнецкий угли	Черепетская ГРЭС	2,55	1,55	40
Львовско-волынский уголь	Бурштынская ГРЭС	2,45	1,45	41

Таблица 2-4

Расчетные значения коэффициента фильтрации намытого золошлакового материала

Топливо	Наименование ТЭС	Коэффициент фильтрации отложений, м/сут			
		шлаковых	золошлаковых	зольных	зольных в пределах пруда
Уголь					
азейский	Иркутская ТЭЦ-9	130	1,35	0,46	—
аркагалинский	Аркагалинская ГРЭС	—	3,26	0,74	—
донецкий	Новочеркасская ГРЭС	—	2,40	0,07	—
»	Трипольская ГРЭС	—	3,50	0,23	—
»	Запорожская ГРЭС	—	3,40	0,05	0,02
кузнецкий	Ленинградская ТЭЦ-17	58	—	—	—
»	Новосибирская ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3	—	—	0,39	0,08
назаровский	Назаровская ГРЭС	134	—	0,94	0,02
нерюнгринский	Чульманская ГРЭС	—	2,26	—	—
печорский	Интинская ТЭЦ	—	1,40	—	—
подмосковный	Черепетская ГРЭС	—	4,00	—	—
»	Щекинская ГРЭС	—	1,16	—	—
харанорский	Читинская ГРЭС	—	0,63	0,43	—
черемховский	Иркутская ТЭЦ-10	22,8	1,29	0,26	—
экибастузский	Омская ТЭЦ-4	—	1,85	0,61	—
»	Средне-Уральская ГРЭС	—	2,10	0,55	0,4
Сланец эстонский	Прибалтийская ГРЭС	—	1,00	—	—
»	Установка с твердым теплоносителем сланцеперерабатывающего комбината	—	—	0,32	—
Торф	Ленинградская ТЭЦ-15	—	1,9	—	—

Таблица 2-5

Расчетные значения угла внутреннего трения и сцепления намытого золошлакового материала

Топливо	Тепловая электростанция	φ 95%-й обеспеченности, град	Сцепление c, МПа
Уголь			
азейский и др.	Иркутские ТЭЦ-9 и ТЭЦ-10	24	0,04
аркагалинский	Аркагалинская ГРЭС	14,5	—
бикинский	Приморская ГРЭС	32	—
воркутинский	Воркутинские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2	24	—
гусиноозерский	Улан-Уденская ТЭЦ	28	—
донецкий	Молдавская ГРЭС	25	0,01
»	Запорожская ГРЭС	23	0,03
»	Кураховская ГРЭС	21	0,02
интинский	Интинская ТЭЦ	23	—
ирша-бородинский	Назаровская ГРЭС	23	0,05
карагандинский	Алма-Атинская ГРЭС	23	—
кузнецкий	Новосибирские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2	21	0,01
»	Барабинская ГРЭС	25	0,01
львовско-волынский	Добротворская ГРЭС	27	0,01
»	Бурштынская ГРЭС	25	0,01
нерюнгринский	Чульманская ГРЭС	21	—
подгородненский и др.	Артемовская ГРЭС	23	—
подмосковный	Новомосковская ГРЭС	24,5	0,02
»	Щекинская ГРЭС	25	0,01
райчихинский	Райчихинская ГРЭС	23	—
ташкумырский и др	Ферганская ТЭЦ	33	—
томь-усинскии и др	Южно-Кузбасская ГРЭС	24,5	0,01
хакасский и др	Юргенская ТЭЦ	23	0,01
»	Бийская ТЭЦ-1	19	0,01
харанорский и др	Читинская ГРЭС	29	0,01
экибастузский	Омская ТЭЦ-4	30	0,01
»	Средне-Уральская ГРЭС	27	0,01
Сланец эстонский	УТТ-500 комбината Кивиыли	21	0,10
Торф Белорусской ССР	Смолевичская ГРЭС	20	0,02
Торф Ярославской обл	Ярославские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2	13	0,02

Таблица 2-6

Расчетные значения модуля деформации, полученные на основании штамповых испытаний отложений на золошлакоотвалах ТЭС

Площадь штампа, см²	Интервалы нагрузок, МПа	Отложения надводного намыва			Зольные отложения подводного намыва	
		шлаковые	свеженамытые золошлаковые	консолидированные зольные	консолидированные	неконсолидированные
5000	0—0,01	36—11	35—5	35—3	8—3	—
	0—0,2	32—9	32—5	15—2	4—2	—
	0—0,3	32—9	32—5	—	2	—
	0,1—0,3	32—9	32—4	—	1	—
600	0—0,01	60—20	—	35—6	35—3	0,2
	0—0,2	40—9	—	15—3	12—2	0,2
	0—0,3	40—9	—	3—1	2	—
	0,1—0,3	38—9	—	—	1,5	—

Примечание. Приводимые в таблице значения модулей деформации относятся к отложениям, которые обладают сцеплением не более 0,02 МПа.

Таблица 2-7

Оптимальная влажность — плотность намытого золошлакового материала

Вид намыва	Оптимальная плотность, т/м³		Оптимальная влажность, %	
	влажного материала	сухого материала	по массе	по объему
Ангренская ГРЭС — ангренский уголь (твердое шлакоудаление)				
Надводный	1,33	0,74	70,0	52,0
Барабинская ГРЭС — кузнецкий уголь (твердое шлакоудаление)				
Золоотвал № 1				
Надводный	1,49	1,08	38,5	42,0
Подводный	1,47	1,03	43,2	44,0
Золоотвал № 2				
Надводный	1,36	0,94	42,5	40,0
Подводный	1,30	0,89	46,3	41,0
Запорожская ГРЭС — донецкий уголь (жидкое шлакоудаление)				
Надводный	1,97	1,76	12,0	21,0
Кураховская ГРЭС — донецкий уголь (твердое шлакоудаление)				
Надводный	1,36	1,03	32,2	33,0
Щекинская ГРЭС — подмосковный уголь (твердое шлакоудаление)				
Надводный	1,62	1,21	33,0	40,0
Интинская ТЭЦ — интинский уголь (твердое шлакоудаление)				
Надводный	1,57	1,20	31,0	37,0
Подводный	1,45	1,04	39,0	41,0

МЕТОДИКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ НАМЫВНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Общие соображения

Фильтрационными расчетами намывных золошлакоотвалов должно быть определено:

а) положение поверхности фильтрационного потока (кривой депрессии);

б) средние и выходные градиенты фильтрационного потока;

в) фильтрационный расход на единицу длины отвала.

Для золошлакоотвалов типа II (с поярусными дамбами наращивания из золошлакового материала) и типа IV (с ограждаю-

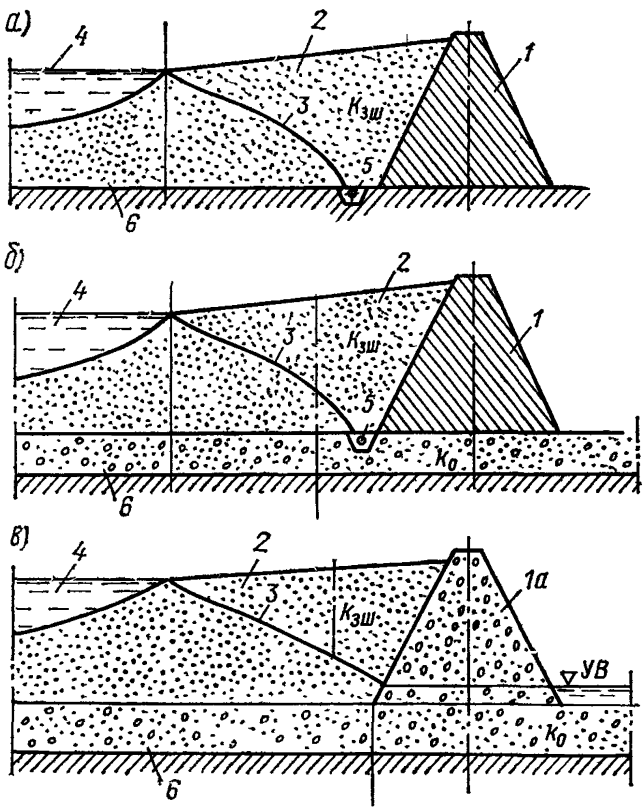


Рис. 3-1. Схемы к фильтрационному расчету золошлакоотвалов

а — водоупорное основание, *б* — проницаемое основание конечной мощности ($K_0 > K_{зш}$), *в* — проницаемое основание конечной мощности при уровне воды за отвалом выше основания; *1* — первичная дамба из глинистого грунта; *1а* — первичная дамба из гравийного грунта, *2* — откос намыва, *3* — кривая депрессии, *4* — отстойный пруд; *5* — трубчатый дренаж, *6* — водоупорный грунт.

щей дамбой из грунта на полную высоту) фильтрационный расчет может выполняться как для водоудерживающих однородных плотин из грунтовых материалов с помощью известных аналитических методов.

Для некоторых случаев размещения дренажей в основании отвала перед первичной дамбой (рис. 3-1) имеется методика расчета депрессионной кривой и фильтрационного расхода, которой надлежит пользоваться в ответственных случаях [11].

Для золошлакоотвалов типа III с дамбами наращивания из глинистого грунта, когда в поперечном сечении низового кли-

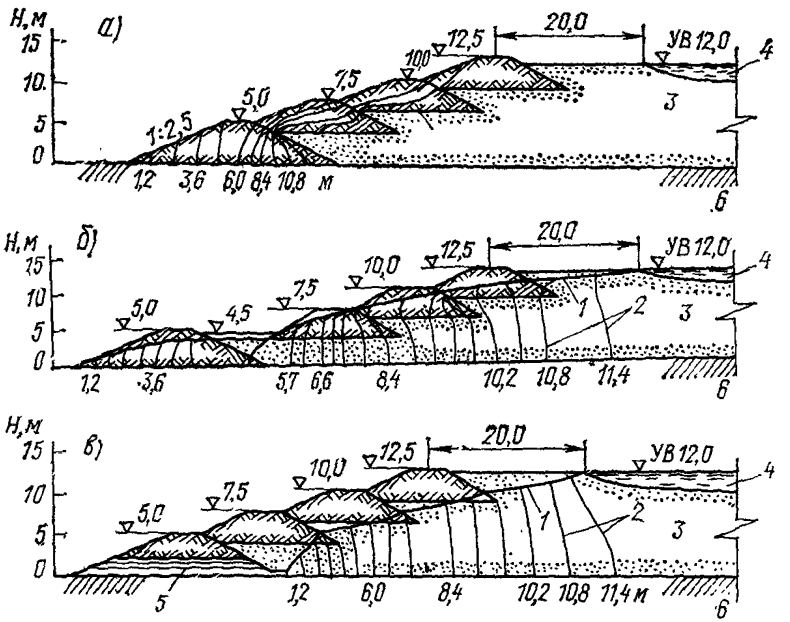


Рис. 3-2. Кривые депрессии (*1*) и линии равного напора (*2*) фильтрационного потока на золошлакоотвале при различном расположении дамб наращивания из глинистого грунта

а — первичные дамбы и дамбы наращивания из глинистого грунта образуют сплошной экран на наружном откосе; *б* — то же, но дамбы наращивания сдвинуты внутрь отвала; *в* — то же, но в основании первичной дамбы уложена сквозная дрена; *3* — отложение золошлакового материала; *4* — отстойный пруд; *5* — трубчатый дренаж; *6* — водоупорное основание.

на имеет место сложная область фильтрации, например, при чередовании дамб наращивания из глинистого грунта со слоями намытого золошлакового материала, возможность использования аналитических методов расчета исключается. В подобных случаях должен применяться метод ЭГДА, который основан на математической и физической аналогии между электрическим током в электропроводной среде и установившейся фильтрацией воды в порах грунта.

В виде примера приводятся результаты фильтрационных исследований методом ЭГДА для случая фильтрации из отстойно-

го пруда нескольких вариантов конструкции золошлакоотвала типа III с дамбами наращивания из суглинка. На рис. 3-2, *а* первичная дамба и дамба наращивания, отсыпанные из суглинка, образуют как бы сплошной экран на наружном откосе отвала. На рис. 3-2, *б* показана первичная дамба, отсыпанная из суглинка, а дамбы наращивания следующих ярусов сдвинуты внутрь отвала, на берме перед гребнем первичной дамбы в намытом золошлаковом материале проложен трубчатый дренаж. На рис. 3-2, *в* конструкция отвала аналогична, но в основании первичной дамбы уложены сквозные дрены на определенном расстоянии друг от друга. В основании отвала залегают глинистые грунты. При проведении исследований были приняты коэффициент фильтрации золошлакового материала 10 м/сут, коэффициент фильтрации глинистого грунта 0,01 м/сут.

Анализ результатов исследований дал возможность сделать следующие выводы.

Наиболее неблагоприятное для устойчивости откоса положение фильтрационного потока получено для конструкции, изображенной на рис. 3-2, *а*. При такой конструкции золошлакоотвала возникают недопустимые выходные градиенты (более 2,5) фильтрационного потока на участках сопряжения дамб наращивания по ярусам намыва. Это обстоятельство вызывает нарушение фильтрационной прочности грунта и возникновение опасных фильтрационных деформаций — механической суффозии и местного фильтрационного выпора с возможностью оползания больших объемов грунта и золошлакового материала на откосе отвала [19] Указанная конструкция золошлакоотвала является дефектной и должна быть исключена из практики проектирования

Наиболее благоприятное для устойчивости откоса золошлакоотвала положение фильтрационного потока получено при наличии сквозных дрен в основании первичной дамбы (рис. 3-2, *б*), так как кривая депрессии занимает здесь по сравнению с другими конструкциями наинизшее положение.

Расчет фильтрационной устойчивости золошлакового материала на откосе отвала

Вследствие инфильтрации с надводного откоса намыва, периодически покрытого потоками пульпы, а также за счет водоотдачи намываемого материала в теле золошлакоотвала в зоне намыва возникает фильтрационный поток, который добавляется к фильтрационному потоку из отстойного пруда. Поэтому в случае продолжительного сброса пульпы из пульпопровода в одном месте может произойти поднятие кривой депрессии и обводнение всего наружного откоса отвала с высачиванием фильтрационного потока. Это явление часто сопровождается деформацией откоса и местным его обрушением.

Теоретические положения оплывания материала на поверхности откоса исходят из анализа устойчивости элементарного объема материала с массой такого объема с учетом его взвешивания водой.

Расчет фильтрационной устойчивости материала на обводненном откосе золошлакоотвала, т. е. при практическом совпадении кривой депрессии с плоскостью откоса, разработан В. М. Шестаковым (ВНИИВОДГЕО) и может рассматриваться как наиболее неблагоприятный случай устойчивости откоса золошлакоотвала в зоне намыва.

Оценка предельной крутизны откоса по фильтрационной устойчивости материала выполняется с помощью следующей формулы.

$$J_{\phi} = 0{,}5 \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ — угол внутреннего трения намытого золошлакового материала в приоткосной части отвала.

Соответственно коэффициент заложения такого откоса рассчитывается по формуле

$$m_{\phi} = \frac{2}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Схема к фильтрационному расчету отвала с учетом инфильтрации водной составляющей пульпы с откоса намыва приведена на рис 11.

Расчет длины зоны инфильтрации на дренированном золошлакоотвале

Основное условие нормальной работы дренированного отвала — обеспечение на поверхности отложений золошлакового материала смоченной площади такого размера, при которой будет иметь место инфильтрация водной составляющей пульпы в дренажную сеть основания. Это достигается за счет общей площади русловых потоков пульпы в пределах надводного откоса намыва и площади зеркала пруда инфильтрации.

Таким образом, основные размеры дренированного золошлакоотвала определяются расчетом инфильтрации расхода водной составляющей пульпы.

Определение смоченной площади поверхности отложений в пределах надводного откоса золошлакоотвала производится с помощью следующей формулы.

$$F_c = \frac{Q_0}{J_{\phi} \bar{k}_{\phi}},$$

где Q_0 — расход водной составляющей пульпы, м³/с;

$J_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{S_{\phi}}$ — градиент фильтрационного потока ($J_{\phi} \approx 1$);

h_{ϕ} — напор, м;

$S_ф$ — длина пути инфильтрации, м;

$\bar{k}_ф$ — осредненный по площади коэффициент фильтрации золошлакового материала, м/с.

Определение длины зоны инфильтрации в пределах надводного откоса намыва рекомендуется выполнять для наиболее неблагоприятного случая растекания пульпы, когда на откосе намыва формируется однорукавное русло. Длина однорукавного русла (при осредненном по длине откоса намыва коэффициенте фильтрации), в пределах которой вся водная составляющая русла профильтруется через намываемые отложения в дренажную сеть основания, определяется по формуле

$$L_н = \frac{Q_0}{k_и J_ф \bar{k}_ф \frac{B}{2} a},$$

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

Расчетная формула для определения длины зоны инфильтрации

$$L_и = \frac{1{,}5\, q_0}{\bar{k}_ф},$$

где $q_0 = Q_0/B_0$ — начальный удельный руслоформирующий расход водной составляющей пульпы, м³/с·м; B_0 — начальная ширина потока пульпы, м.

Величина B_0 подсчитывается по формуле

$$B_0 = 3{,}52\left(1 + 3{,}5\, c_p^{2/3}\right)\left(\frac{d_{50}}{d_*}\right)^{1/6}\left(\frac{Q_0'}{\sqrt{g}}\right)^{2/5},$$

где c_p — придонная консистенция пульпы в долях единицы (приближенно принимается равной исходной консистенции пульпы); d_{50} — медианная (средняя) крупность намытого материала у выпуска пульпы, мм (принимается равной средней крупности исходного материала); d_* — минимальный размер частиц в составе золошлакового материала, принимается равным 0,005 мм; Q_0' — руслоформирующий расход, принимаемый равным расходу пульпы из одного выпуска диаметром более 20 мм. Для выпусков диаметром 20 мм и менее величина Q_0' принимается как сумма расходов из 2—3 выпусков, м³/с; g — ускорение свободного падения, м/с².

Для вычисления длины зоны инфильтрации на рис. 3-3 приведена номограмма $L_и = f(k_ф, q_0)$.

Коэффициент фильтрации отложений может быть принят согласно табл. 2-5 приложения 2. При известных показателях гранулометрического состава отложений для определения коэффициента фильтрации можно пользоваться упрощенной формулой М. П. Павчича:

$$k_ф = .670\, d_{17}^2 \sqrt[3]{\frac{d_{60}}{d_{10}}},\ \text{м/сут},$$

где значения d_{10}, d_{17}, d_{60} принимаются в мм.

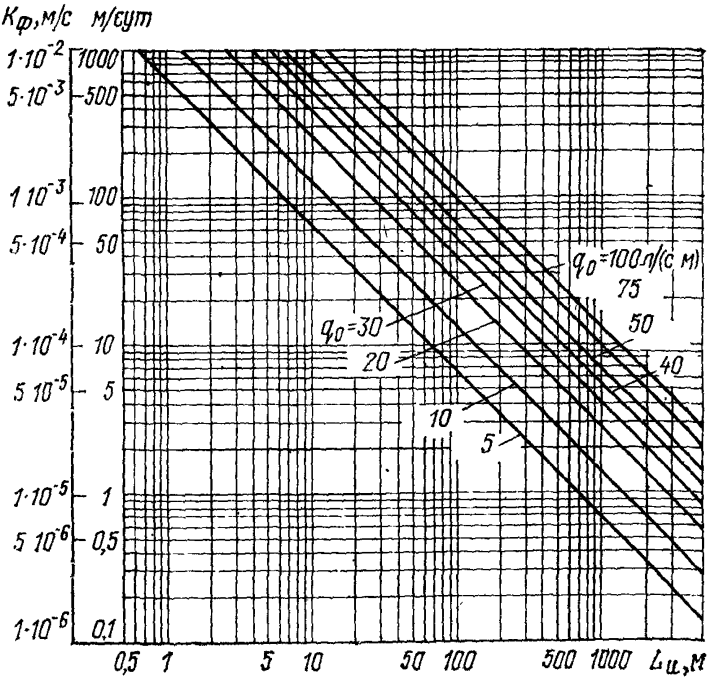


Рис. 3-3. Номограмма для назначения предельной длины зоны инфильтрации в зависимости от коэффициента фильтрации отложений и начального удельного расхода пульпы в однорукавном русле.

Коэффициент фильтрации отдельно взятых фракций золошлакового материала оценивается следующими величинами:

Фракция, мм	$k_ф$, м/сут
<0,04	0,2
0,04—0,06	1,5
0,06—0,125	8,0
0,125—0,50	25
0.50—2,0	100
2—3	300
3—5	500

Анизотропию фильтрационных свойств намытого золошлакового материала допускается не учитывать.

При проектировании дренированного отвала могут иметь место следующие расчетные случаи.

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

Решение этой задачи проводится с помощью номограммы рис. 3-3 по следующей схеме:

$$L_и \rightarrow q_0 \rightarrow \overline{k_ф}.$$

2. Задан осредненный коэффициент фильтрации отложений золошлакового материала. Требуется назначить начальный удельный расход русла и длину зоны инфильтрации. Решение этой задачи проводится с помощью номограммы рис. 3-3 по следующей схеме:

$$\overline{k_ф} \rightarrow q_0 \rightarrow L_и.$$

Порядок решения перечисленных задач рассмотрен на следующих примерах.

1. **Задано.** Шлакоотвал типа I-А. Длина зоны инфильтрации $L_и \leqslant 200$ м. Консистенция пульпы $c_s = 0{,}10$.

Решение. Проектируется сброс пульпы из выпусков диаметром 100 мм, половина расхода пульпы на выпуске $Q_0' = 0{,}040$ м³/с. Средняя крупность отложений у места сброса пульпы $d_{50} = 0{,}25$ мм при $x/L = 0{,}1$. Придонная консистенция пульпы $c_p = 0{,}10$. Начальная ширина однорукавного русла по формуле $B = 2{,}5$ м. Тогда $q_0 = 0{,}04/2{,}5 = 0{,}016$ м/с·м $= 16$ л/с·м. По номограмме рис. 3-3 при $L_и = 200$ м и $q_0 = 16$ л/с·м коэффициент фильтрации отложений шлака должен быть $\overline{k_ф} = 10$ м/сут. Коэффициент фильтрации намытого шлака составляет более 10 м/сут, поэтому заданные условия намыва золошлакоотвала при $L_и = 200$ м будут удовлетворены.

2 **Задано.** Коэффициент фильтрации отложений золы $\overline{k_ф} = 1$ м/сут. Золошлакоудаление раздельное. Консистенция пульпы $c_s = 0{,}15$.

Решение. Проектируется сброс пульпы из выпусков диаметром 20 мм. Расход пульпы на выпуске 0,001 м³/с. Начальный расход принимается из двух выпусков $Q_0' = 0{,}002$ м³/с. Средняя крупность отложений у места сброса пульпы $d_{50} = 0{,}08$ мм. Придонная консистенция пульпы $c_p = 0{,}15$. Начальная ширина русла по формуле $B = 0{,}58$ м. Тогда $q_0 = 0{,}002/0{,}58 = 0{,}0034$ м³/с·м $= 3{,}4$ л/с·м. По номограмме рис. 3-3 при $k_ф = 1$ м/сут и $q_0 = 3{,}4$ л/с·м получаем длину зоны инфильтрации $L_и = 400$ м.

Определение площади пруда инфильтрации дренированных золошлакоотвалов типа I-Б выполняется с помощью формулы

$$F = \frac{Q_0}{\overline{k}_\Phi},$$

где Q_0 — расход водной составляющей пульпы, м³/с; $\overline{k}_\Phi$ — коэффициент фильтрации зольных отложений в пределах пруда, м/с.

В табл. 3-1 приведены вычисленная площадь пруда инфильтрации и его примерные размеры в плане в зависимости от расхода водной составляющей пульпы при коэффициенте фильтрации зольных отложений 0,1 м/сут.

Таблица 3-1

Размеры и площадь пруда инфильтрации

Расходы водной составляющей пульпы, м³/ч	100	500	1000
Примерные размеры пруда, м	150×150	350×350	500×500
Площадь пруда, га	2,4	12,0	25,0

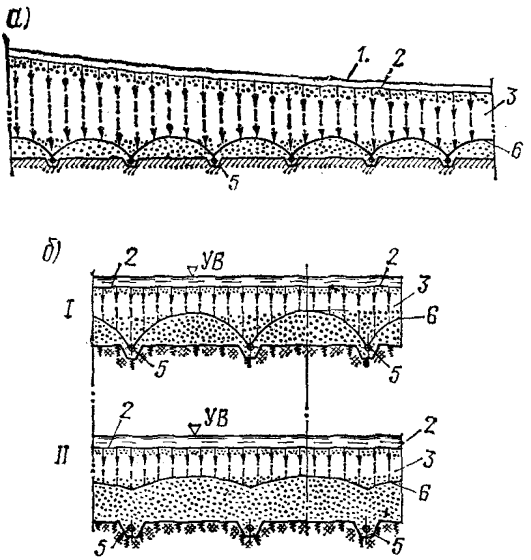


Рис 3-4 Схемы фильтрации на золошлакоотвалах

а — фильтрация на надводном откосе намыва из многорукавных русел, *б* — фильтрация из отстойного пруда, *I* — незатопленный дренаж, *II* — затопленный дренаж, *1* — поток пульпы, *2* — поверхность намытого материала; *3* — зона аэрированной фильтрации, *4* — намытый материал, *5* — трубчатый дренаж, *6* — кривая депрессии (поверхность фильтрационного потока).

Проектирование дренажных устройств

Обязательным элементом дренированных золошлакоотвалов является система трубчатого дренажа и водоотводящий коллектор. При наличии однорукавных или многорукавных русел на откосе намыва зона инфильтрации перемещается одновременно с блужданием этих русел. Сплошной фильтрационный поток с куполообразной поверхностью устанавливается над дренажной сетью лишь под дном русла. Выше поверхности сплошного фильтрационного потока находится зона аэрированного фильтрацион-

ного потока (рис. 3-4). Расчет дренажной сети под дном пруда инфильтрации выполняется для случаев незатопленного или затопленного дренажа.

Водопропускная способность трубчатых дрен определяется из условия их наивыгоднейшего заполнения по формуле:

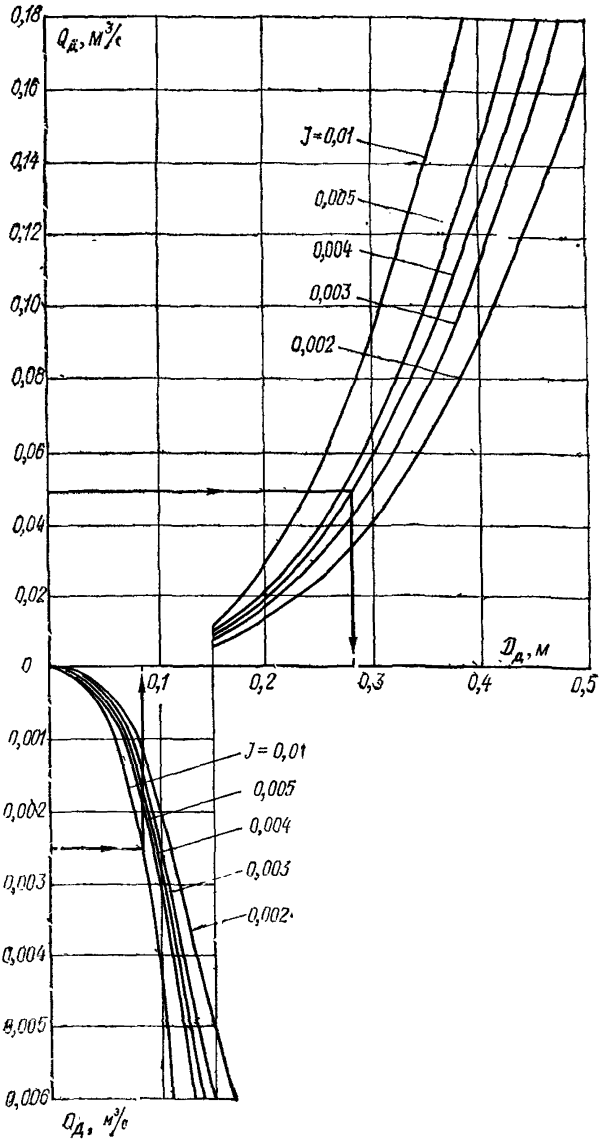


Рис. 3-5. Номограмма для определения диаметра дрены по расходу фильтрационного потока $Q_д = f(D_д)$..

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

где $D_д$ — внутренний диаметр дрены, м; $J = 0{,}002 \div 0{,}003$ — уклон дрены (исходя из условия обеспечения незаиляющей скорости).

Определение диаметра дренажной трубы выполняется подбором с помощью приведенной формулы по заданному расходу воды. Для подбора диаметра труб на рис. 3-5 приведена номограмма $Q_д = f(D_д)$.

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

1. Дренажные трубы в основании надводного откоса намыва располагаются, как правило, перпендикулярно потокам пульпы при намыве.

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

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

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

задается диаметр трубчатых дрен (по конструктивным соображениям);

определяется $Q_д$ для принятого диаметра дрен с помощью номограммы рис. 3-5; число дренажных линий по длине надводного откоса намыва задается исходя из соотношения $n = \frac{Q_0}{Q_д} - 1$;

расстояние от распределительного пульпопровода до границы участков равной площади (для случая однорукавного русла), в пределах которых расход инфильтрации поглощается одной дреной принятого диаметра, рассчитывается по формуле

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

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

Расстояние от распределительного пульпопровода до оси дренажной трубы подсчитывается по формуле

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

Пример расчета величин b_i и $b_{дi}$ приведен в табл. 3-2.

Таблица 3-2

Расчет расстояния между дренами

Q_0, м³/с	$D_д$, мм	$Q_д$, м³/с	$c_р$	d_{50}, мм	$\overline{k}_ф$, $\frac{м/с}{м/сут}$	B_0, м	$\frac{Q_0}{Q_д} - 1$	$L_н$, м	n	b_i, м	$b_{дi}$, м
0,05	150	0,01	0,1	0,5	$\frac{0,00012}{10}$	3,0	4	220	1	25	13
									2	61	43
									3	107	84
									4	220	164

Проектирование дренажной сети в основании пруда инфильтрации для заданных его площади и коэффициента фильтрации отложений включает выбор планового размещения дренажной сети, расчеты диаметра дрен и расстояний между осями дрен.

При высоте отложений золошлакового материала над дренажными трубами более 10 м надлежит выполнять проверку прочности стенок труб на давление этих отложений [14].

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

Приложение 4

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Расчет устойчивости откосов золошлакоотвалов имеет свои особенности в связи с тем, что стадии возведения и эксплуатации этих сооружений совмещены во времени. В общем случае устойчивость наружного откоса отвала зависит от физико-механических свойств грунтов основания, тела дамб и намываемого золошлакового материала, высоты отвала, местоположения отстойного пруда и дренажных устройств. Исходя из указанного, с учетом инженерно-геологических условий основания, назначают наиболее характерные поперечные сечения отвала (их может быть и несколько), для которых проводят проверку устойчивости откоса.

Согласно указаниям Пособия к СНиП II-16-76 на проектирование основания гидротехнических сооружений [28], учет избыточного порового давления в процессе консолидации грунта про-

изводится при коэффициенте консолидации менее 1×10^7 см^2/год. Подсчет этого коэффициента для наиболее мелкой золы в пределах отстойного пруда дает величину на один порядок выше (10^8 см^2/год), а для зоны отложений шлаковых фракций 10^{10} см^2/год, т. е. значительно больше указанной величины. Таким образом, возможность возникновения избыточного порового давления в намытом золошлаковом материале практически исключается, и учитывать его при расчете устойчивости откосов отвала в общем случае не следует.

Для выбранных сечений выполняется проверка устойчивости откоса первичной дамбы (при высоте ее более 5,0 м) и устойчивости откоса золошлакоотвала конечной (проектной) высоты, в пределах которого должны располагаться дамбы наращивания каждого яруса. В отдельных случаях выполняется и проверка устойчивости на каждом ярусе наращивания. При наличии в основании грунтов, имеющих прочностные характеристики более низкие по сравнению с отложениями золы и шлака, и большой высоте (более 20,0 м) отвала его рекомендуется проектировать переменной крутизны, уменьшая коэффициент откоса от основания к поверхности отвала.

Устойчивость откоса золошлакоотвала тем выше, чем ниже располагается поверхность фильтрационного потока и чем дальше от бровки откоса находится отстойный пруд.

Особенное внимание следует уделять исследованиям устойчивости золошлакоотвалов (или его участков), расположенных на слабых основаниях, имеющих низкие прочностные характеристики, или основаниях, включающих слабые прослойки.

Наибольшее распространение в практике расчета устойчивости имеет способ круглоцилиндрических поверхностей обрушения (метод Терцаги — ВНИИГ) [7]. Этот метод реализован в программе расчета на ЭВМ ЕС 1030 (шифр GALOSH).

Для заданного отсека обрушения коэффициент устойчивости определяется по формуле

$$k_s = \frac{R}{F} = \frac{r\left[\sum\limits_{i=1}^{n}\left(G_{i\,\text{ест}} + G_{i\,\text{взв}}\right)\operatorname{tg}\varphi_{i,\,g}\cos\alpha_i + \sum\limits_{i=1}^{n}\delta S_i c_{i,\,g}\right]}{\sum\limits_{i=1}^{n}\left(G_{i\,\text{ест}} + G'_{i\,\text{нас}} + G'_{i,\,\text{взв}}\right)x_i + G_{\text{в}}x_{\text{в}}},$$

где r — радиус дуги сдвига; n — количество элементарных фрагментов, на которые при расчетах разбивается отсек обрушения; i — номер элементарного фрагмента; $\varphi_{i,\,g}$ и $c_{i,\,g}$ — расчетные величины угла внутреннего трения и сцепления грунта, расположенного в основании i-го элементарного фрагмента (столбика); α_i — угол наклона к горизонту элементарной площадки в основании фрагмента; δS_i — длина элементарной дуги в основании фрагмента; x_i — расстояние от центра дуги сдвига до оси i-го элементарного фрагмента; момент $G_{\text{в}} \cdot x_{\text{в}}$ учитывается, если точ-

ка начала окружности сдвига находится под водой; $G_в$ — вес воды, заключенной между поверхностью откоса, горизонтом воды за пределами отвала и дугой сдвига; $G_{i\,ест}$ — вес золошлаковых отложений (грунта) части i-го элементарного фрагмента, расположенной выше кривой депрессии; удельный вес золошлаковых отложений (грунта) в этой части фрагмента принимается равным удельному весу золы и шлака (грунта) заданной влажности; $G_{i\,взв}$ — вес золошлаковых отложений (грунта) части i-го элементарного фрагмента, расположенной ниже кривой депрессии, удельный вес золы и шлака (грунта) в этой части фрагмента принимается равным удельному весу во взвешенном состоянии; $G'_{i\,нас}$ — вес золошлаковых отложений (грунта) части i-го элементарного фрагмента, расположенной между кривой депрессии и линией, являющейся продолжением уровня воды в основании; в этой части фрагмента удельный вес золы и шлака (грунта) принимается равным удельному весу в насыщенном состоянии; $G'_{i\,взв}$ — вес части i-го элементарного столбика, расположенной ниже уровня воды в основании; удельный вес золы и шлака (грунта) в этой части фрагмента принимается равным удельному весу во взвешенном состоянии.

Найденное расчетом значение коэффициента устойчивости для наиболее опасной поверхности обрушения (при минимальном значении k_s) должно быть больше величины $\frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c}$, отвечающей соответствующему расчетному случаю и классу сооружения.

Примеры расчета устойчивости откосов золошлакоотвалов

Пример 1. Расчет устойчивости первичной дамбы золошлакоотвала.

На рис. 4-1 представлена расчетная схема первичной дамбы золошлакоотвала II класса. Дамба расположена на основании,

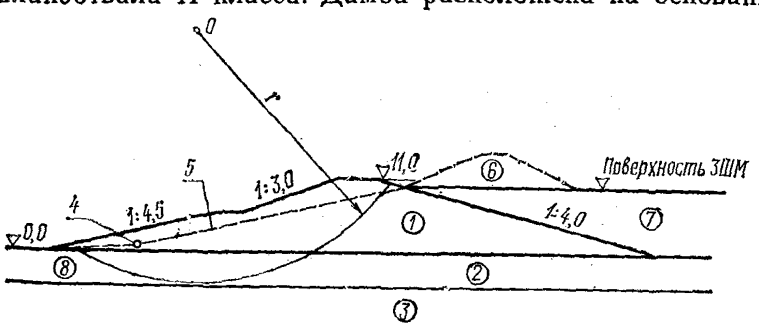


Рис. 4-1. Схема расчета устойчивости первичной дамбы

1 — первичная дамба из суглинка ($\rho_d = 1{,}7$ т/м³; $\varphi = 23°$, $c = 0{,}1$ МПа); *2* — илистые суглинки в основании ($\rho_d = 1{,}6$ т/м³, $\varphi = 10°$, $c = 0{,}12$ МПа; *3* — суглинки в основании ($\rho_d = 1{,}76$ т/м³, $\varphi = 23°$, $c = 0{,}08$ МПа); *4* — дренаж; *5* — условная кривая депрессии; *6* — дамбы наращивания из золошлакового материала; *7* — намытый ЗШМ; *8* — наиболее опасная (вероятная) поверхность обрушения.

имеющем слабый слой (илистый суглинок мощностью до 4,0—5,0 м). В основании дамбы имеется дренаж, в теле дамбы устанавливается кривая депрессии, соответствующая заполнению первой очереди отвала (рис. 4-1); коэффициент устойчивости, отвечающий этой схеме, полученный в результате расчета по программе GALOSH, отвечает положению круглоцилиндрической поверхности, указанной на рис. 4-1, и равен $k_s = 1{,}32$. При соответствующих значениях коэффициентов $\gamma_n = 1{,}20$, $\gamma_{fc} = 1{,}0$; $\gamma_c = 0{,}95$:

$$k_s = 1{,}32 > \frac{1{,}20 \cdot 1{,}0}{0{,}95} = 1{,}26.$$

Пример 2. Расчет устойчивости золошлакоотвала наибольшей высоты.

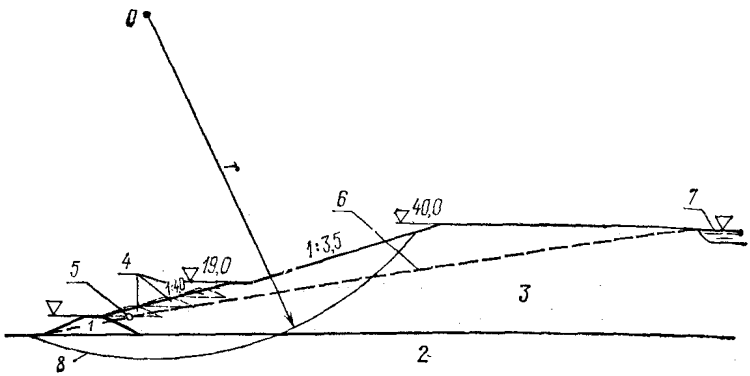


Рис. 4-2. Схема расчета отвала максимальной высоты

1 — первичная дамба из суглинка; *2* — суглинок основания ($\rho_d = 1{,}60$ т/м³, $\varphi = 19°$, $c = 0{,}11$ МПа); *3* — золошлаковый материал ($\rho_d = 0{,}78$ т/м³, $\varphi = 21°$, $c = 0{,}24$ МПа); *4* — дамбы наращивания из золошлакового материала; *5* — дренаж; *6* — условная кривая депрессии; *7* — отстойный пруд, *8* — наиболее опасная (вероятная) поверхность обрушения.

На рис. 4-2 представлена схема отвала I класса высотой 40,0 м, имеющего дренаж на уровне гребня первичной дамбы. В основании отвала залегают суглинки. Отстойный пруд удален от бровки откоса. Отвал запроектирован переменной крутизны ($m_1 = 4{,}0$; $m_2 = 3{,}5$). Коэффициент устойчивости наружного откоса отвала для заданных условий эксплуатации, определенный расчетом по программе GALOSH, отвечает наиболее опасной поверхности, показанной на рис. 4-2:

$$k_s = 1{,}40 > \frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c} = \frac{1{,}25 \cdot 1{,}0}{0{,}95} = 1{,}32.$$

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

Рассматривается случай, когда дамба наращивания 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 прямоугольная, причем каждая из этих частей представляет собой нагрузку, действующую на основание (рис. 5-1). Механика грунтов имеет решение по распространению напряжений в линейно-деформируемом массиве от действия полосовой нагрузки, распределенной в виде прямоугольника и треугольника. Определение напряжений σ_z в долях от P равномерно распределенной нагрузки выполняется по табл. 5-1, а напряжение σ_z в долях от максимального значения P при треугольной нагрузке с помощью табл. 5-2.

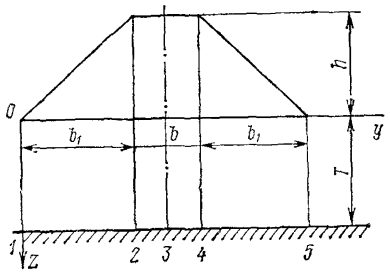


Схема расположения расчетных вертикалей в поперечном сечении дамбы наращивания.

Таблица 5-1

Значения напряжений σ_z в долях от интенсивности равномерно распределенной нагрузки P

z/b	Значения σ_z при y/b					
	0,0	0,05	0,50	1,0	1,5	2,0
0,00	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	0,43	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 5-2

Значения напряжений σ_z при действии нагрузки, распределенной по треугольнику, в долях от максимальной интенсивности нагрузки P

z/b	Значения σ_z при 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	0,000
0,25	0,00	0,00	0,001	0,075	0,256	0,480	0,643	0,424	0,015	0,003	0,000
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	0,355	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	0,134	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	0,045
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	0,059	0,049

Приняты следующие обозначения (рисунок): z — глубина от поверхности золошлаковых отложений; y — положение вертикали относительно центра координат; b_1 и b_2 — горизонтальное положение верхового и низового откосов дамбы (принято $b_1 = b_2$); b — ширина гребня дамбы.

Поскольку треугольные и прямоугольные нагрузки являются сопряженными, то необходимо знать их совместное влияние на напряжения в основании с учетом расположения расчетных вертикалей, для чего расчет ведется при значениях y, приведенных в табл. 5-3. Для расчета должно быть задано:

удельный вес материала тела дамбы в состоянии естественной влажности $\gamma_{wд}$;

удельный вес отложений золошлакового материала в водонасыщенном состоянии $\gamma_н$;

Таблица 5-3

Расчет величины y для вертикалей при различных нагрузках

Нагрузка	Номер вертикали				
	1	2	3	4	5
Треугольная слева	0	b_1	$b_1 + \frac{b}{2}$	$b_1 + b$	$b_1 + b + b_1$
Прямоугольная	$b_1 + \frac{b}{2}$	$\frac{b}{2}$	0	$\frac{b}{2}$	$b_1 + \frac{b}{2}$
Треугольная справа	$b_1 + b + b_1$	$b_1 + b$	$b_1 + \frac{b}{2}$	b_1	0

коэффициент пористости отложений золошлакового материала на поверхности ε_1;

компрессионная кривая $\varepsilon = f(P)$ для намытого золошлакового материала.

Расчет выполняется в следующей последовательности.

1) Определяется максимальное давление от веса дамбы на поверхности отложений по формуле

$$P_д = \gamma_{wд} h,$$

где

$$\gamma_{wд} = \rho_{wд} g;$$

$\rho_{wд}$ — плотность материала тела дамбы во влажном состоянии; g — ускорение свободного падения; h — высота дамбы.

2) Вычисляется суммарное давление σ_{z0} от веса дамбы в основании отвала (на поверхности грунта) на глубине $z = T$ раздельно от треугольной нагрузки слева, от прямоугольной нагрузки справа по формуле

$$\sigma_{z\,0} = (\sigma_{z_{тр.л}} + \sigma_{z_{пр}} + \sigma_{z_{тр.п}}) P_д$$

для всех выбранных вертикалей.

3) Определяется давление $P_{ест}$ от веса отложений золошлакового материала в основании отвала (на поверхности грунта основания) на глубине $z = T$:

$$P_{ест} = \gamma_{зн} T,$$

где

$$\gamma_{зн} = \rho_{зн} g;$$

$\rho_{зн}$ — плотность отложений золы в водонасыщенном состоянии.

4) Вычисляется суммарное давление в основании отвала на глубине T для всех выбранных вертикалей.

5) С помощью компрессионной кривой $\varepsilon \Rightarrow f(P)$ определяются коэффициенты пористости отложений ε_2 при давлении P_2 для всех выбранных вертикалей.

6) Вычисляется коэффициент сжимаемости a для всех выбранных вертикалей

$$a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P_2 - P_1};$$

$P_1 = 0$ на 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

$$a = \frac{\beta (1 + \varepsilon)}{E},$$

где β — безразмерный коэффициент, принимаемый для зольных отложений равным 0,80.

Осадка сооружений для всех выбранных вертикалей вычисляется по 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 глинистого грунта на отложениях золы отстойного пруда

Исходные данные: ширина по гребню дамбы $b = 3{,}0$ м, высота дамбы $h = 7{,}5$ м, коэффициент откосов $m_в = m_н = 2{,}5$. Заложение откосов $b_1 = b_2 = 18{,}75$ м, плотность грунта тела дамбы в состоянии естественной влажности $\rho_{wд} = 1{,}90$ т/м^3, плотность отложений золы в водонасыщенном состоянии $\rho_{зн} = 1{,}50$ т/м^3.

Удельный вес грунта тела дамбы:

$$\gamma_д = 1{,}90 \cdot 9{,}81 \approx 19{,}0 \text{ кН/м}^3,$$

то же золошлаковых отложений:

$$\gamma_з = 1{,}50 \cdot 9{,}81 \approx 15{,}0 \text{ кН/м}^3.$$

Максимальное давление от веса дамбы на поверхности отложений золы:

$$P_д = 19{,}0 \cdot 7{,}5 = 142 \text{ кПа} = 0{,}142 \text{ МПа}.$$

Глубина зольных отложений от основания дамбы $T = 15$ м. Давление в основании дамбы от зольных отложений

$$P_{ест} = 15{,}0 \cdot 15{,}0 = 225 \text{ кПа} = 0{,}225 \text{ МПа}.$$

Относительная глубина для верхового и низового клинов дамбы $T/b_1 = 15{,}0/18{,}75 = 0{,}80$; для центральной части дамбы $T/b = 15{,}0/3{,}0 = 5{,}0$.

Коэффициент пористости поверхностного слоя отложений золы $\varepsilon_1 = 1{,}40$ при $P_1 = 0$. Расчет осадки дамбы сведен в табл. 5-4.

Таблица 5-4

Расчет осадков отложений золы

Вертикаль	Треугольная нагрузка справа		Прямоугольная нагрузка		Треугольная нагрузка слева		$P_{ест}$, МПа	P_2, МПа	Коэффициент пористости		S, см
	y/b_1	$\sigma_{z0} = f(P_д)$	y/b	$\sigma_{z0} = f(P_д)$	y/b_1	$\sigma_{z0} = f(P_д)$			ε_1	ε_2	
1	0	0,154	6,75	0,020	2,16	0,020	0,225	0,2525	1,40	1,35	31
2	1,0	0,290	0,5	0,12	1,16	0,230	0,225	0,316	1,40	1,32	50
3	1,08	0,260	0	0,13	1,08	0,260	0,225	0,317	1,40	1,32	50
4	1,16	0,230	0,5	0,12	1,0	0,290	0,225	0,316	1,40	1,32	50
5	2,16	0,020	6,75	0,020	0	0,154	0,225	0,2525	1,40	1,35	31

Примечание. Значение ε_2 снимается с компрессионной кривой по величине P_2.

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 в следующей последовательности:

1. Величина $W_с$ (объем водной составляющей пульпы) принимается по данным проекта ГЗУ.

2. Величина объема осадков, выпадающих на поверхность надводного откоса намыва, зеркала отстойного пруда и каналов осветленной воды, определяется по зависимости

$$W_н = x_0 F_1,$$

где x_0 — среднемноголетняя сумма осадков, выпадающих на единицу площади в районе расположения ТЭС, м; F_1 — площадь надводного откоса золошлакоотвала, зеркала отстойного пруда и каналов сточной воды, 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 методом математической статистики, используемых, в частности, для вычисления обеспеченности стока. Величина F_1 определяется по плану золошлакоотвала, на котором должна быть нанесена граница надводного откоса намыва и отстойного пруда.

3. Величина $W_в$ притока в пруд с площади водосбора, прилегающей к золошлакоотвалу, для равнинных и пойменных золошлакоотвалов, отгороженных от окружающей местности дамбами, обычно равна нулю.

Для овражных и косогорных золошлакоотвалов поступающие в отстойный пруд с площади водосбора воды формируются склоновым стоком и стоком временно действующих и маловодных водотоков. Приток воды в золошлакоотвал с площади водосбора за среднемноголетний период определяется по зависимости

$$W_в = h_0 \cdot F_2,$$

где h_0 — среднемноголетний слой стока (годовая норма стока) с площади водосбора, прилегающей к золошлакоотвалу, м; F_2 — площадь водосбора м^2.

В зависимости от физико-географических условий водосборной площади рекомендуется определять h_0 по картам изолиний

стока. Если площадь водосбора — заболоченная территория, h_0 определяется по картам стока с болот. При равнинной местности, а также в случае пологого склона сток можно принять равным объему весеннего стока, и величина h_0 может быть определена по картам изолиний весеннего стока.

При залесенности водосбора, близкой к 100% его площади, величина h_0, определяемая по этим картам, должна быть уменьшена на 50%. Для лесостепной зоны величина h_0, определяемая по картам, должна быть уменьшена на 20—30% и для степной зоны — на 50%. Сток временно действующих и маловодных водотоков может быть отождествлен с весенним поверхностным стоком и определен по соответствующим картам изолиний.

Площадь водосбора определяется по крупномасштабным топографическим планам участка местности. Расчет объема стока заданной обеспеченности с водосборной площади рекомендуется выполнять по зависимости

$$W_{в}^{P\%} = h_0^{P\%} F_2,$$

где $h_0^{P\%}$ — слой стока заданной обеспеченности с площади водосбора, 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

$$h_0^{P\%} = (\Phi C_V + 1)\, h_0,$$

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 [1].

Коэффициент асимметрии принимается $C_S = 2C_V$. Коэффициент вариации C_V определяется по картам изолиний. При невозможности использовать карты изолиний C_V весеннего стока может быть определен по зависимости

$$C_V = 0{,}78 - 0{,}29 \lg M_0,$$

где $M_0 = 31{,}54 h_0$ — среднемноголетний модуль весеннего стока.

4. Величина $W_{пр}$ (объем сбросных вод других цехов ТЭС или других предприятий, направляемых в золошлакоотвал), а также величина внутристанционных потерь воды за счет испарения в скрубберах и при грануляции шлака определяются по данным проекта ГЗУ.

Потери воды за счет испарения в скрубберах и при грануляции шлака допускается исключать из расчета в связи с тем,

что они, как правило, не превосходят 5% общего расхода системы ГЗУ.

5. В случае отсутствия экранирующего устройства при определении величины потерь на фильтрацию через ложе золошлакоотвала $W_{ф.п}$ должна быть выбрана расчетная схема применительно к отстойному пруду заданной конфигурации в плане, находящемуся в конкретных гидрогеологических условиях. Целесообразно определять величину $W_{ф.п}$ с использованием метода ЭГДА.

Величина $W_{ф.п}$ при отсутствии данных о коэффициенте фильтрации грунтов основания определяется по зависимости

$$W_{фп} = Z_{фп} \cdot F_3 \cdot T,$$

где

$$F_3 = F_1' + F_2;$$

F_1' — площадь смоченной поверхности надводного откоса намыва, принимается условно равной 10% от площади надводного откоса, м^2; F_2 — площадь зеркала отстойного пруда, м^2; $Z_{ф.п}$ — слой воды, теряемый на фильтрацию, м/год; T — расчетный период времени, равный одному году.

Величина $Z_{фп}$ определяется по нормам в зависимости от следующих градаций гидрогеологических условий местности, где размещается золошлакоотвал:

а) хорошие гидрогеологические условия — основание сложено водонепроницаемыми грунтами, близко залегают грунтовые воды в бортах;

б) средние;

в) плохие — основание сложено водопроницаемыми грунтами, водоносные горизонты отсутствуют.

В зависимости от этих условий ориентировочные 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 сведениями о коэффициенте фильтрации и дает более точные и надежные результаты. Величина $W_{ф.п}$ в этом случае определяется по зависимости

$$W_{ф.п} = W_{ф.л} + W_{ф.н},$$

где $W_{ф.л}$ — объем фильтрационных потерь через ложе пруда, м^3; $W_{ф.н}$ — то же со смоченной поверхности надводного откоса намыва

$$W_{ф.л} = Q_{ф.л} \cdot T; \quad W_{ф.н} = Q_{ф.н} \cdot T,$$

где $Q_{ф.л}$ — расход фильтрационной воды через ложе отстойного пруда, м³/сут; $Q_{ф.н}$ — расход фильтрационной воды через смоченную поверхность надводного откоса намыва, м³/сут; T = = 365 сут.

Величина $Q_{ф.л}$ определяется в зависимости от гидрогеологических условий размещения золошлакоотвала, которые приводят к следующим видам фильтрации.

1) Свободная фильтрация, при которой уровень грунтовых вод не влияет на фильтрацию из пруда. Чаще всего это относится к основаниям отвала из фильтрующих, например, песчаных грунтов, подстилаемых на большой глубине водонепроницаемыми грунтами Ложе пруда покрыто слоем зольных отложений, коэффициент фильтрации которых меньше, чем коэффициент фильтрации грунтов основания.

Суммарный расход фильтрационной воды из золошлакоотвала определяется по зависимости:

$$Q_{ф.л} = k_{ф.з} \frac{H}{h} (F_2 + 0{,}1F_1),$$

где H — напор над основанием золошлакоотвала; h — средняя мощность зольных отложений.

2) Подпертая фильтрация, при которой положение уровня грунтовых вод влияет на фильтрацию из золошлакоотвала. Это наблюдается, когда в основании золошлакоотвала, покрытого зольными отложениями, залегают фильтрующие грунты, а уровень грунтовых вод располагается в непосредственной близости от поверхности основания или выше этой поверхности.

Суммарный фильтрационный расход из отстойного пруда и со смоченной поверхности надводного откоса намыва определяется по следующей формуле

$$Q_{ф.л} = 1{,}10 \frac{L_{ср} (\nabla H_в - \nabla H_г)}{\sqrt{\frac{h_з}{k_{ф.гр} F_{ф.з} h_{гр}}} \operatorname{cth} B_{ср} \sqrt{\frac{k_{ф.з}}{k_{ф.гр} h_{гр} h_з}}},$$

где $L_{ср}$ — средняя длина отстойного пруда, м; $B_{ср}$ — средняя ширина отстойного пруда, м; $\nabla H_в$ — отметка поверхности воды в пруде; $\nabla H_г$ — отметка поверхности грунтовых вод до начала заполнения золошлакоотвала; $h_{гр}$ — мощность грунтового слоя до водоупора, м; $h_з$ — высота зольных отложений, м; $k_{ф.гр}$ — коэффициент фильтрации грунта, м/сут; $k_{ф.з}$ — коэффициент фильтрации зольных отложений, м/сут.

Коэффициентом 1,10 учитывается фильтрационный расход с надводного откоса намыва. Величины $\nabla H_г$ и $h_{гр}$ определяются по гидрогеологическим данным.

6. В случае отсутствия экранирующего устройства величина потерь на фильтрацию через ложе бассейна и каналов осветленной воды и дренажных канав определяется по зависимости

$$W_{ф.к} = Q_{ф.к} \cdot T,$$

где $Q_{ф.к}$ — расход фильтрационных вод через ложе бассейна и каналов осветленной воды и дренажных канав берется по следующей упрощенной зависимости $Q_{ф.к} = k_ф \cdot L \cdot B$; $k_ф$ — коэффициент фильтрации грунтов основания каналов; L — длина бассейна и каналов или канав; B — ширина зеркала воды.

7. Величина испарения с поверхности золошлакоотвала, занятой водой, рассчитывается как испарение с водоемов, содержащих неминерализованные воды, так как минерализация осветленной воды не превышает 10 г/л (величина минерализации, при которой она начинает оказывать влияние на испарение, составляет 25—30 г/л).

Величина $W_{и.в}$ определяется по зависимости

$$W_{и.в} = Z_в \cdot F_в,$$

где $Z_в$ — норма (среднемноголетний слой) испарения с поверхности воды, м; $F_в$ — площадь золошлакоотвала, покрытая водой (отстойный пруд, каналы осветленной воды, дренажные канавы, смоченная поверхность надводного откоса намыва), м^2.

Величина $Z_в$ определяется по карте изолиний испарений с поверхности малых водоемов по соответствующим рекомендациям.

8. Объем воды, оставшейся в порах намытого золошлакового материала, определяется по зависимости

$$W_г = n \cdot W_{з.ш},$$

где n — средняя пористость отложений золошлакового материала (в долях единицы); $W_{з.ш}$ — объем золошлакового материала, уложенного на золошлакоотвале за расчетный период, м^3.

Величина n принимается согласно табл. 2-2 и 2-3 приложения 2.

9. Величина потерь на испарение с поверхности, покрытой снегом, определяется по зависимости

$$W_{и.с} = Z_с(F_1 + F_2),$$

где $Z_с$ — норма испарения с поверхности, покрытой снегом.

Величина испарения с поверхности снега может быть принята $Z_с = 0{,}10Z_в$.

10. Составляющая $W_д$ (объем воды, необходимый для поддержания уровня отстойного пруда) учитывается только при расчете водного баланса отстойных прудов, свободно сопрягающихся с надводным откосом намыва. При этом складируемый золошлаковый материал замывает часть площади отстойного пруда, превращая ее в надводный откос и сокращая тем самым

длину пути осветления L_0 (расстояние между урезом воды пруда и водосбросным сооружением). Когда расстояние между урезом воды и водосбросным сооружением сокращается до величины $(0{,}8—0{,}9)\cdot L_0$, необходимо путем добавления воды в отстойный пруд (за счет регулирования уровня воды на водосбросном сооружении) увеличить площадь его зеркала, доведя тем самым длину пути осветления до расчетной величины.

Величина $W_д$ определяется по зависимости

$$W_д = F_2 \cdot \Delta H,$$

где ΔH — разность отметок поверхности воды при подъеме уровня воды, например, за счет постановки венца шандор на водосбросном колодце.

Б. Расчет составляющих водного баланса отдельно для летнего и зимнего периода

Составляющие водного баланса отдельно для зимнего периода продолжительностью $T_з$ рекомендуется определять следующим путем.

1. Величина потерь воды на ледообразование определяется по зависимости:

$$W_{л.п} = 0{,}90 \cdot h_{л.п} \cdot F_2,$$

где $h_{л.п}$ — толщина ледового покрова пруда, м. За толщину ледового покрова отстойного пруда может быть принята среднемноголетняя толщина льда на ближайшем к золошлакоотвалу водоеме, полученная по результатам ежегодных наблюдений. Для ориентировочного расчета величина $h_{л.п}$ может быть получена по формуле Г. Р. Бергмана

$$h_{л.п} = (\Sigma\tau^0)^{0{,}67},$$

где $\Sigma\tau^0$ — сумма отрицательных температур воздуха за период нарастания льда $T_з$ (период, начинающийся с момента устойчивого перехода температуры воздуха через 0° в область отрицательных значений и заканчивающийся переходом температуры воздуха в область положительных значений).

2. Величина потерь на ледообразование в каналах осветленной воды определяется по зависимости

$$W_{л.к} = 0{,}90 \cdot h_{л.к} \cdot F_к,$$

где $h_{л.к}$ — толщина ледового покрова каналов осветленной воды, м; $F_к$ — площадь водного зеркала каналов осветленной воды, м^2.

За величину $h_{л.к}$ может быть принята среднемноголетняя толщина льда, полученная по наблюдениям на ближайшем к золошлакоотвалу малом водотоке. Для ориентировочного расчета величина $h_{л\,к}$ может быть определена по зависимости

$$h_{л.к} = 0{,}75 \cdot (\Sigma\tau^0)^{0{,}67}.$$

3. Величина потерь воды на образование наледей на надводном откосе намыва в настоящее время не может быть получена достаточно надежно расчетным путем. На основании имеющегося опыта эксплуатации золошлакоотвалов ТЭС в различных климатических зонах величина этих потерь принимается равной

$$W_{л\,н} = (0{,}10 \div 0{,}20) \cdot W_{л.п}.$$

Наиболее благоприятные условия для образования наледей имеют место при «сухих» золоуловителях на ТЭС, а также при длинных магистральных пульпопроводах, в которых возможно существенное охлаждение пульпы.

4. Величины потерь на фильтрацию из золошлакоотвала $W_{ф.лз}$ и каналов осветленной воды $W_{ф.кз}$ (при отсутствии экранирующего устройства) за зимний период определяются по соответствующим зависимостям раздела А настоящего приложения. Аналогично определяется объем воды, оставшейся в порах золошлакового материала, уложенного за зимний период $W_{г\,з}$).

Составляющие водного баланса летнего периода продолжительностью $T_л$ определяются с помощью соответствующих зависимостей раздела А настоящего приложения.

Пример расчета отстойного пруда золошлакоотвала

Тепловая станция сжигает сланцевое топливо. Расход воды в системе ГЗУ станции 10000 м³/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 $c_п = 150$ мг/л. Глубина воды у водосбросного колодца $H = 1{,}5$ м.

Расчет длины пруда (пути осветления) L_0:

эффект осветления пульпы на надводном пляже

$$Э_н = 100\left(1 - \frac{1}{3{,}2^{1{,}25}}\right) = 100\left(1 - \frac{1}{4{,}28}\right) = 76{,}6\ \%;$$

концентрация пульпы у места втекания в отстойный пруд

$$c_* = 50000\left(1 - \frac{76{,}6}{100}\right) = 11700\ \text{мг/л};$$

потребный эффект осветления оборотного расхода в отстойном пруде

$$Э = \frac{11700 - 150}{11700} = 98{,}7 = 99\ \%;$$

процентная скорость осаждения $u_0 = 0{,}00083$ м/с при $c_* = 11700$ мг/л и $Э = 99\%$ (табл. 12, раздел 5);

$V_0 = 0{,}77$ м/с, $K = 0{,}066$ (табл. 11, раздел 5). Длина пути осветления

$$L_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}77}{0{,}066 \cdot 0{,}00083}} = \sqrt{4{,}22 \cdot 10^4} = 205 \text{ м}.$$

Ширина пруда $B = 0{,}5 \cdot L_0 = 102{,}5$ м.

Пример расчета водного баланса системы ГЗУ

Станция сжигает смесь донецкого, кузнецкого и интинского углей и имеет мокрое золоулавливание. Выход золошлакового материала составляет 411420 т/год. Плотность сухого материала отложений золы $\rho_{W=0} = 0{,}70$ т/м^3, агрегатная плотность золы $\rho_a = 2{,}10$ т/м^3. Расход воды в системе ГЗУ — 1380 м^3/ч, $W_c = 13140$ тыс. м^3. В систему ГЗУ поступают воды от гидроуборки в количестве 16 м^3/ч.

Золошлакоотвал косогорного типа. Площадь надводного откоса 28,6 га, отстойного пруда 10,1 га. По границе отвала и примыкающего склона имеется нагорная канава, отводящая сток с площади водосбора. В основании отвала залегают флювиогляциальные отложения, представленные мелкими песками с включением большого количества гравийно-галечникового материала. Коэффициент фильтрации этого грунта достигает 20 м/сут. Коренные водонепроницаемые 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 составляет 1,2 м. Коэффициент фильтрации зольных отложений с наносами 0,02 м/сут. Осветленная вода из отстойного пруда возвращается к станции по трубопроводам.

Величина осадков в районе отвала составляет $x_0 = 0{,}33$ м.

Составляющие приходной и расходной частей водного баланса могут быть определены следующим путем:

$$W_н = x_0 F_1 = 0{,}33 \times 387000 = 127710 \text{ м}^3,$$

$$W_{пр} = 16 \times 8760 = 140160 \text{ м}^3,$$

$$W_{ф\,п} = Q_{ф.л} \cdot T + Q_{ф\,н} \cdot T,$$

где $Q_{ф.л}$ — расход фильтрационной воды через ложе отстойного пруда; $Q_{ф.н}$ — расход фильтрационной воды через смоченную поверхность надводного откоса намыва.

Смоченная поверхность надводного откоса намыва условно принимается равной 10% всей поверхности этого откоса.

Следовательно, можно записать:

$$W_{ф.п} = Q_{ф.л} \cdot T + 0{,}1 \cdot Q_{ф.л} \cdot T.$$

В рассматриваемом случае имеет место подпертая фильтрация, когда уровень подземных вод находится в непосредственной близости от ложа отстойного пруда и, следовательно, влияет на фильтрацию в него. Для расчета расхода фильтрационных вод приняты наихудшие условия: наибольшее (из зафикси-

рованных) удаление от поверхности водоупора и уровня подземных вод. Расчетные величины приведены ниже:

$$L_{ср} = 440 \text{ м} \qquad h_з = 1{,}2 \text{ м}$$

$$B_{ср} = 230 \text{ м} \qquad h_{гр} = 16{,}0 \text{ м}$$

$$H_в = 171{,}4 \text{ м} \qquad k_{ф.п} = 20{,}0 \text{ м/сут}$$

$$H_г = 168{,}0 \text{ м} \qquad k_{ф\,з} = 0{,}02 \text{ м/сут}$$

$$Q_{ф.п} = \frac{440\,(171{,}4 - 168)}{\sqrt{\frac{1{,}2}{20 \cdot 16 \cdot 0{,}02}}\ \text{cth}\ 230\sqrt{\frac{0{,}02}{20 \cdot 16 \cdot 1{,}2}}} = \frac{1496}{0{,}460} = 3252 \text{ м}^3\text{/сут}.$$

$$W_{ф.п} = 3252 \cdot 365 + 0{,}1 \cdot 3252 \cdot 365 = 1342178 \text{ м}^3,$$

$$W_{и.в} = Z_в F_2 = 0{,}40 \cdot 101000 = 40400 \text{ м}^3,$$

$$W_г = n W_{з.ш} = \left(1 - \frac{0{,}70}{2{,}10}\right)\frac{411420}{0{,}80 \cdot 0{,}70} = 492450 \text{ м}^3,$$

$$W_{и.с} = Z_с F_1 = 0{,}04 \cdot 387000 = 15480 \text{ м}^3.$$

Результаты расчета приходной и расходной частей баланса сведены в табл. 6-1. Как видно из приведенной таблицы, водный баланс системы ГЗУ отрицательный. В среднем за год потери из системы будут составлять 1,6 млн. м³, или 12% от расхода воды в системе ГЗУ. Следовательно, в систему ГЗУ должна периодически добавляться свежая вода для восполнения потерь расходом 200 м³/ч. Потери в системе можно также восполнить, направляя часть стока с площади водосбора в отстойный пруд.

Таблица 6-1

Результаты расчета приходной и расходной частей водного баланса в тыс. м³

Приходная часть водного баланса				Расходная часть водного баланса					
$W_с$	$W_и$	$W_{пр}$	W_1	W_0	$W_{ф\text{-}п}$	$W_{и.в}$	$W_г$	$W_{и.с}$	W_2
13140	128	140	13407	13140	1342	40	492	15	15029

Дефицит баланса 15029—13407 = 1622 тыс. м³

Рассмотрим случай, когда в основании отстойного пруда и области надводного намыва уложено экранирующее устройство. Рассчитаем водный баланс системы ГЗУ при наличии экрана на золошлакоотвале. Приходная часть баланса $W_1 = W_н + W_п + W_{пр} + W_с$ остается без изменений. Расходная часть водного баланса:

$$W_2 = W_{и\,в} + W_г + W_{и.с} + W_0;$$

$W_{ф.п} = 0$, так как фильтрации не происходит.

Результаты расчета приходной и расходной частей баланса сведены в табл. 6-2.

Таблица 6-2

Результаты расчета приходной и расходной частей водного баланса в тыс. м³ при экранировании отвала

Приходная часть водного баланса				Расходная часть водного баланса					
$W_с$	$W_н$	$W_{пр}$	W_1	W_0	$W_{фп}$	$W_{ив}$	$W_г$	$W_{ис}$	W_2
13140	128	140	13407	13140	0	40	492	15	13687

Дефицит баланса 13687—13407 = 280 тыс. м³

Водный баланс при устройстве экрана будет также отрицательным, но при значительно меньших потерях. В среднем за год потери составят 0,3 млн. м³ или 2% от расхода воды в системе ГЗУ.

Приложение 7

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Золошлакоотвал Ермаковской ГРЭС

Ермаковская ГРЭС Павлодарэнерго работает на экибастузском угле и выдает ежегодно до 4,0 млн. т золы и шлака. Удаление ЗШМ производится напорной системой ГЗУ с оборотным водоснабжением в отвал равнинного типа прямоугольного

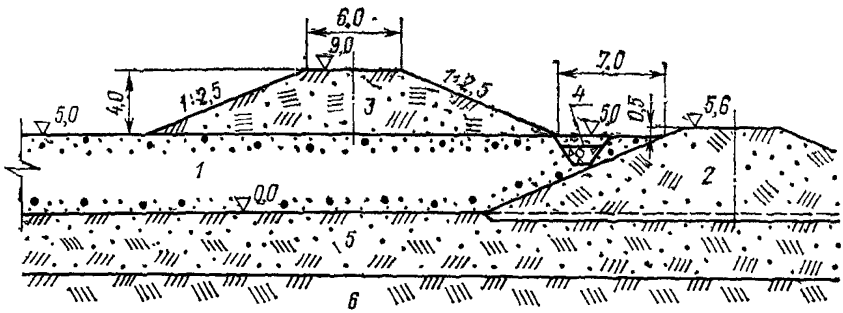


Рис 7-1. Ермаковская ГРЭС. Золошлакоотвал III типа с дамбами наращивания из местного грунта на золошлаковых отложениях (экибастузский уголь)

1 — намытый золошлаковый материал; *2* — существующая дамба первой очереди; *3* — дамба наращивания из местного грунта; *4* — трубчатый дренаж; *5* — супесчаный грунт с прослойками песка; *6* — глина

в плане очертания. Отвал включает две секции: № 1 площадью 450 га и № 2 площадью 340 га. Общая площадь отвала 790 га. В основании золошлакоотвала залегает супесчаный грунт с прослоями песка, коренные породы представлены третичными глинами.

Первичная дамба отсыпана из местного супесчаного грунта и имеет следующие размеры поперечного сечения: ширина по

гребню 6 м, коэффициент заложения откосов 2,5, максимальная высота 5,5 м.

Дамба наращивания отсыпана из местного грунта на отложениях намытого золошлакового материала и имеет следующие размеры поперечного сечения: ширина по гребню 6 м, коэффициент заложения откосов 2,5, высота 4 м. Ось дамбы наращивания сдвинута внутрь отвала от оси первичной дамбы на 23 м. Перед гребнем первичной дамбы имеется берма шириной 7 м, в пределах которой уложен трубчатый дренаж из дырчатых керамзитобетонных труб диаметром 100 мм (рис. 7-1).

Распределительный пульпопровод диаметром 700 мм прокладывается на гребне дамбы по периметру отвала. На пульпопроводе через 50 м устроены выпуски диаметром 300 мм, снабженные задвижкой и врезанные в нижнюю часть трубы. От каждого выпуска смонтирована труба ответвления длиной 20 м, уложенная на железобетонных П-образных опорах. В целях создания равновероятного во все стороны растекания потоков пульпы из воронки размыва и исключения сосредоточенного движения пульпы к откосу дамбы на конце ответвления смонтировано колено, что обеспечивает вертикальное падение струи пульпы и образование воронки размыва круглой формы в плане.

Служба эксплуатации ГРЭС определила целесообразность сброса всего расхода пульпы одновременно из четырех-пяти выпусков, для чего после последнего выпуска каждой группы на пульпопроводе устанавливается (вваривается) съемная заглушка. Таким образом, на отвале Ермаковской ГРЭС длина фронта намыва составляет 200—250 м. Производится периодическое перемещение фронта намыва по мере заполнения отвала.

Отстойный пруд на отвале имеет размеры 400×400 м. Сброс осветленной воды осуществляется через водосбросной колодец в канал по периметру отвала. Перекачка осветленной воды на ГРЭС производится с помощью насосной станции оборотного водоснабжения, установленной в торце канала около золошлакоотвала.

Исследования гранулометрического состава намытого ЗШМ по фронту основания дамбы наращивания показали, что принятый способ намыва обеспечивает достаточную одинаковость и однородность отложений. Так, среднеквадратичное отклонение для преобладающих фракций 0,25—0,125 мм и 0,125—0,063 мм по длине составляет не более 10%.

Золошлакоотвал Кураховской ГРЭС

Кураховская ГРЭС Донбассэнерго работает в основном на донецком угле, однако в последние годы на ГРЭС добавляются в небольшом количестве карагандинский, печорский и ткибульский угли. Котлоагрегаты ГРЭС оборудованы топками с твердым шлакоудалением. Выход золы и шлака в год 1,80 млн. т. Удаление ЗШМ производится напорной системой ГЗУ (с обо-

ротным водоснабжением) в отвал пойменного типа. Отвал возводится на территории старого давно законсервированного отвала небольшой высоты около 6—8 м.

Новый отвал включает две секции площадью по 70 га, с общей площадью около 140 га. В основании отвала залегает суглинок толщиной 3—12 м, на мощном слое песков 5—16 м. Коренные породы представлены глинами и глинистыми сланцами. Первичная дамба старого отвала отсыпана из суглинка и имеет следующие размеры поперечного сечения: ширина по гребню 10 м, коэффициент заложения откосов 2,0, максимальная высота 10 м. Наружный откос первичной дамбы зарос кустарником и травой.

Дамбы наращивания возводятся из намытого золошлакового материала, который доставляется в тело дамб автотранспортом

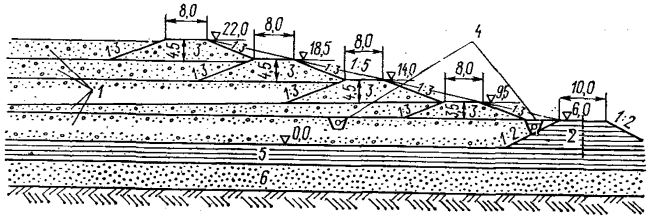


Рис. 7-2. Кураховская ГРЭС. Золошлакоотвал II типа с дамбами наращивания из ЗШМ (донецкий уголь)

1 — слои намытого золошлакового материала; *2* — дамба первой очереди из суглинка; *3* — дамба наращивания из золошлакового материала; *4* — трубчатый дренаж; *5* — суглинок; *6* — пески; *7* — глины и глинистые сланцы.

с погрузкой экскаватором драглайн. Материал предварительно увлажняется до оптимальной влажности, которая составляет около 30%. Отсыпаемый материал разравнивается бульдозером слоями по 0,3—0,5 м и уплотняется колесами автотранспорта.

Размеры поперечного сечения дамб наращивания первого яруса: ширина по гребню 8 м, коэффициент заложения откосов 3,0, высота 3,6 м. Высота дамб наращивания следующих ярусов 4,6 м (рис. 7-2).

Для обезвоживания отложений с верховой стороны основания дамбы наращивания первого яруса уложен трубчатый дренаж. Кроме того, трубчатый дренаж возведен на берме перед гребнем первичной дамбы. Средний коэффициент заложения наружного откоса отвала 5.

По гребню дамбы наращивания проложен распределительный пульпопровод $D = 400$ мм, выпуски на пульпопроводе с ответвлениями установлены через 70 м. Трубы-ответвления уложены на П-образных опорах.

По состоянию на 1985 г. завершено возведение дамбы наращивания первого яруса отвала Кураховской ГРЭС.

Расчет на устойчивость откосов отвала выполнен по методу круглоцилиндрических поверхностей сдвига для различных этапов возведения, а также для проектной высоты отвала.

Золошлакоотвал Прибалтийской ГРЭС

Прибалтийская ГРЭС Эстонглавэнерго работает на горючих сланцах и выдает ежегодно более 3,0 млн. т. золы и шлака. Удаление ЗШМ производится напорной системой ГЗУ с оборотным водоснабжением в отвал, расположенный в плоской заболоченной долине небольшого ручья. Отвал занимает площадь около 450 га.

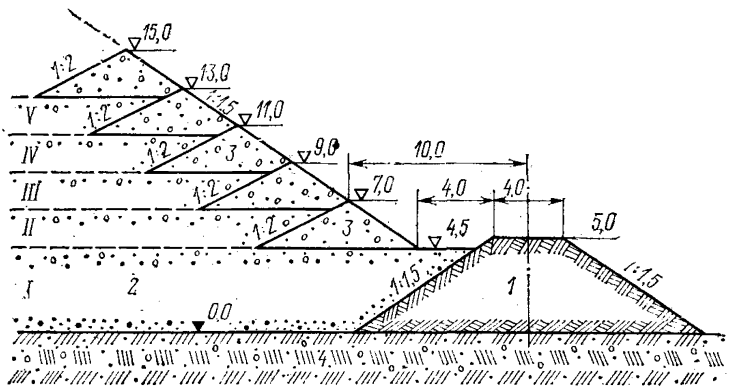


Рис. 7-3. Прибалтийская ГРЭС. Золошлакоотвал II типа с дамбами наращивания из ЗШМ (сланцевое топливо)

1 — первичная призма из суглинка; *2* — намытый золошлаковый материал; *3* — обвалование из золошлакового материала (возводится бульдозером или экскаватором), *4* — моренные глины; *I—IV* — ярусы намыва.

За последние годы введена вторая очередь отвала площадью более 500 га. В основании золошлакоотвала залегает практически водоупорный моренный суглинок.

Первичная дамба по периметру отвала отсыпана из местного суглинка и имеет следующие размеры поперечного сечения: ширина по гребню 4 м, коэффициент заложения откосов 2,0, максимальная высота 5,0 м.

В связи с наличием в ЗШМ сланцевого топлива большого количества оксида кальция намытые на отвале отложения быстро твердеют и приобретают структурную прочность. В лабораторных условиях воздушного хранения прочность 1 МПа достигается на 10 сутки, а на тридцатые сутки прочность доходит до 5,0 МПа. По натурным определениям прочность отложений ЗШМ на отвале колеблется от 1 до 10 МПа, причем большие значения прочности, как правило, относятся к более мелкому составу зольной зоны вблизи отстойного пруда. Таким образом, по инженерно-геологическим признакам намытый ЗШМ сланцев

может быть отнесен к полускальным и малопрочным скальным породам.

Практика эксплуатации выработала технологию возведения на отвале дамб наращивания высотой 1,5—2,0 м нагребанием свеженамытых, но уже обсохших отложений ЗШМ с помощью бульдозера. Возможно использование для этой цели небольших экскаваторов с обратной лопатой. Дамбы наращивания возводятся преимущественно в теплое время года, так как процесс твердения материала более интенсивно происходит при положительной температуре воздуха. Поперечное сечение дамбы наращивания из ЗШМ имеет форму треугольника с коэффициентом заложения верхового откоса 2,0—2,5 и низового — 1,5. Подача пульпы на золоотвал осуществляется выпуском пульпы из торца пульпроводов на стороне, ближайшей к ГРЭС. По состоянию на 25 год эксплуатации высота отвала в месте сброса пульпы достигла 25—30 м, средняя крутизна откоса составила 1 : 1,5 (рис. 7-3). Отстойный пруд занимает площадь около 50 га.

В связи с относительно мягким климатом района Прибалтийской ГРЭС дренажная система на берме перед гребнем первичной дамбы выполнена в виде открытой канавы. Случаев замерзания фильтрационной воды в канаве за время эксплуатации отвала не было зафиксировано.

Приложение 8

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОСВЕТЛЕННОЙ ВОДЫ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ГЗУ

Химический состав воды оборотных систем гидрозолоудаления тепловых электрических станций, сжигающих различные характерные твердые топлива, приведен в таблице по компонентам, содержание которых лимитируется [27]. Состав воды определен с помощью лабораторного моделирования применительно к условиям сухого золоулавливания при смешивании с водой в соотношении (по массе) зола—вода 1 : 10 и времени одного контакта 30 мин [11, 55]. При отсутствии экспериментальных данных по калию и натрию их суммарное содержание определяется по разнице между всеми катионными и анионными составляющими, взятыми из полного анализа воды.

Химический состав воды (мг/л) оборотных систем гидрозолоудаления тепловых электростанций (данные получены с помощью лабораторного моделирования)

Число контактов	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	F^-	V^{5+}	As^{3+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Mn^{7+}	Минерализация	Реакция среды (pH)
АНГРЕНСКИЙ УГОЛЬ													
Ангренская ГРЭС													
1	600	21	984		76	0,9	Отс.	0,06	Отс.	Отс.	Отс.	2200	12,20
20	1360	45	4142		592	2,6	„	0,10	„	„	„	6700	12,75
ВОРКУТИНСКИЙ УГОЛЬ													
Воркутинская ТЭЦ													
1	68	17	106	5	6	0,7	Отс.	0,08	Отс.	Отс.	Отс.	228	10,46
10	232	28	590	25	28	2,6	„	0,06	„	„	„	1544	9,37
ДОНЕЦКИЙ УГОЛЬ													
Ворошиловградская ГРЭС													
1	160	Следы	514	60	42	1,8	0,13	0,08	Отс.	Отс.	Отс.	872	10,10
20	754	„	4085	550	530	1,3	0,12	0,12	„	„	„	6330	9,0
Кураховская ГРЭС													
1	152	14	149		60	0,5	Отс.	0,05	Отс.	Отс.	Отс.	518	11,00
20	514	31	2021		211	1,4	„	0,10	„	„	„	3416	10,30
Углегорская ГРЭС													
1	178	17	158		69	0,3	Отс.	0,09	Отс.	Отс.	Отс.	570	11,45
15	710	38	1579		312	0,3	„	0,12	„	„	„	3020	10,35
Змиевская ГРЭС													
1	204	Следы	331		10	Не опр.	0,20	0,06	Отс.	Отс.	Отс.	2050	11,10
15	672	„	1997		345	„	0,05	0,10	„	„	0,06	3250	9,30

Продолжение таблицы

Число контактов	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	F^-	V^{5+}	As^{3+}	Fe^{3+}	Cu^{2+}	Mn^{7+}	Минерализация	Реакция среды (pH)
КАНСКО-АЧИНСКИЙ УГОЛЬ													
Красноярская ТЭЦ-1 (ирша-бородинский уголь)													
1	1192	Следы	216		98	Отс.	Следы	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	2900	12,70
18	1268	„	672		201	Следы	0,1	„	„	„	„	3100	12,80
Назаровская ГРЭС (назаровский уголь)													
1	1336	84	850		2111	1,2	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	3750	12,70
9	1960	213	2026		586	Не опр.	„	„	„	„	„	9070	12,60
Зола опытного сжигания (березовский уголь)													
12	1196	31	595		629	1,3	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	3730	12,25
КУЗНЕЦКИЙ УГОЛЬ													
ТЭЦ-22 Мосэнерго													
1	122	24	96		66	0,4	Отс.	Следы	Отс.	Отс.	Отс.	276	11,40
20	312	38	677		164	0,8	„	„	„	„	„	1330	10,45
ТЭЦ-17 Ленэнерго													
1	120	Следы	86		22	0,8	<0,1	Не опр.	Отс.	Отс.	Отс.	420	10,35
20	520	„	1027		158	2,0	<0,1	„	„	„	„	1700	8,85
Барабинская ГРЭС													
1	296	21	36		22	0,1	Не опр.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	850	12,70
10	864	14	142		158	Отс.	„	„	„	„	„	2200	12,40
Томь-Усинская ГРЭС													
1	158	7	62		34	2,8	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	466	11,70
15	240	101	400		175	9,1		„	„	„	„	1040	11,15
Кемеровская ТЭЦ													
1	212	31	77	4	6	2,7	0,05	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	592	12,72
15	510	21	893	28	46	6,3	0,05	„	„	„	„	1748	11,96

Западно-Сибирская ГРЭС													
1	150	Следы	154	1	4	3,6	Следы	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	480	11,75
15	860	52	739	8	22	5,6	„	„	„	„	„	2400	12,60
ПОДМОСКОВНЫЙ УГОЛЬ													
Ново-Московская ГРЭС													
1	120	Следы	197	5	3	0,5	Отс.	Не опр.	0,9	Отс.	Отс.	348	3,84
20	820	„	2491	41	26	5,5	„	<0,05	38,4	0,85	1,62	4520	4,46
Щекинская ГРЭС													
1	130	42	322	50	4	3,8	Отс.	0,04	2,9	0,24	0,82	1020	4,15
15	1690	Следы	6768	120	20	50,0	„	1,25	36,5	2,20	7,40	12100	3,76
ТЭЦ-17 Мосэнерго													
1	150	28	379	60		0,5	Следы	Отс.	6,6	0,10	Следы	800	4,75
20	840	35	5184	734		0,1	„	0,05	280,0	1,60	8,40	8100	4,15
Рязанская ГРЭС													
1	132	14	298	400		0,1	Следы	0,04	5,4	0,30	Следы	1010	4,30
20	710	35	7296			Следы	„	0,20	86,0	2,90	3,76	12200	3,90
РАЙЧИХИНСКИЙ УГОЛЬ													
Райчихинская ГРЭС													
1	168	Следы	106	107		2,0	<0,1	Следы	Отс.	Отс.	Не опр.	Не опр.	11,65
16	270	„	533	66		5,1	0,1	0,1	„	„	„	1000	11,30
ЭКИБАСТУЗСКИЙ УГОЛЬ													
Экибастузская ГРЭС													
1	74	Следы	163	3		1,6	0,40	0,40	Следы	Отс.	0,35	580	7,70
20	798	63	1829	3		6,0	0,80	1,50	0,7	„	2,60	3300	7,75
ЭСТОНСКИЙ СЛАНЕЦ													
Эстонская ГРЭС													
1	1426	220	931	468	Следы	1,3	0,10	<0,05	Отс.	Отс.	Отс.	4300	12,90
20	2040	2625	4320	5292	„	3,0	0,08	<0,05	„	„	„	16500	12,85
ТОРФ ЛАТВИЙСКОЙ ССР													
Рижская ТЭЦ-1													
1	806	24	67	22		0,8	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Отс.	Не опр.	12,45
20	1440	70	893	Следы		1,9	„	„	„	„	„	„	11,89

УПРОЧНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ОТВАЛАХ

В процессе подготовки и сжигания топлива на ТЭС минеральная часть топлива попадает в условия, аналогичные условиям образования цементного клинкера. При определенном химическом и минералогическом составе вмещающих пород, в частности, при значительном содержании в их составе оксида кальция, образующаяся зола может оказаться гидравлически активной [16].

Прочность отложений, намытых из такой золы, со временем значительно возрастает. Для изучения кинетики упрочнения были выполнены исследования на сдвиговом приборе золошлаковых материалов, характеризующихся различным содержанием оксида кальция (от 1 до 55%).

В таблице приведены значения угла внутреннего трения φ_0, удельной силы сцепления c_0, определенных в интервале нагрузок 0—1 МПа, и начального коэффициента пористости e_0 образцов золошлакового материала характерных твердых топлив, хранившихся в лаборатории длительное время (до двух лет) в условиях водонасыщения. (Условия хранения аналогичны хранению на намывных отвалах). Как следует из приведенных данных, упрочнение наблюдается у золошлаковых материалов, содержащих оксид кальция свыше 10%.

Отметим, что изложенные соображения по упрочнению золошлаковых отложений на отвалах имеют целью дать предварительную оценку рассматриваемого процесса.

Изменение во времени прочностных свойств золошлаковых материалов, хранившихся в водонасыщенном состоянии

Топливо	Срок хранения, сут	e_0	φ_0, град	c_0, МПа
Эстонский сланец	7	1,37	27	0,026
	28	1,84	29	0,062
	60	2,39	34	0,107
	90	1,98	33	0,185
	180	—	—	—
	360	2,17	43	0,579
	720	2,17	39	0,493
Назаровский уголь (Канско-Ачинский бассейн)	7	1,35	25	0,097
	28	1,89	35	0,062
	180	—	43	0,390
	360	—	66	0,408

Продолжение таблицы

Топливо	Срок хранения, сут	e_0	φ_0, град	c_0, МПа
Березовский уголь (Канско-Ачинский бассейн)	7	1,48	29	0,015
	28	1,47	29	0,055
	90	1,64	27	0,150
	180	—	—	—
	360	1,61	35	0,358
	720	1,57	41	0,595
Ангренский уголь	7	1,25	24	0,031
	28	1,13	27	0,068
	60	0,89	32	0,068
	90	0,89	29	0,062
	180	1,33	29	0,070
	360	0,98	—	—
Райчихинский уголь	7	1,54	18	0,005
	28	1,66	23	0,016
	60	1,65	21	0,011
	90	1,67	22	0,012
	180	1,77	26	0,014
	360	—	27	0,005
	720	—	27	0,024
Кузнецкий уголь	7	1,54	20	0,002
	28	1,61	28	0,005
	60	1,52	27	0,001
	90	1,94	23	0,015
	180	1,74	22	0,016
	360	1,62	26	0,020
	720	1,81	24	0,015
Интинский уголь (Печорский бассейн)	7	1,56	27	0,004
	28	1,69	23	0,023
	60	1,63	21	0,026
	90	1,82	25	0,053
	180	1,82	22	0,031
	360	1,90	27	0,018
	720	1,96	25	0,006
Донецкий уголь	7	0,83	25	0,024
	60	0,90	21	0,025
	90	—	24	0,049
	180	—	24	0,007

Продолжение таблицы

Топливо	Срок хранения, сут	e_0	φ_0, град	c_0, МПа
Воркутинский уголь (Печорский бассейн)	7	1,19	21	0,005
	28	1,05	19	0,006
	60	—	—	—
	90	1,04	—	—
	180	1,31	23	0,017
	360	1,12	16	0,014
Экибастузский уголь	7	1,80	27	0,006
	28	1,64	28	0,001
	90	1,70	26	0,005
	180	1,62	—	—
	360	1,65	26	0,002
	720	1,74	25	0,011

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воскресенский К. П.** Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках. — Л.: Гидрометеоиздат, 1956. — 468 с.

2. **Временные** нормы оснащения основными механизмами и машинами участков для эксплуатации и наращивания дамб золошлакоотвалов. — М.: Союзтехэнерго, 1981. — 6 с.

3. **Временные** руководящие указания по проектированию и возведению шлакозоловых дамб золоотстойников (РУ 8-52). — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1954. — 84 с.

4. **Временные** руководящие указания по предотвращению образования отложений в трубопроводах систем гидрозолоудаления. — М., Специализированный центр научно-технической информации, 1969. — 31 с.

5. **Волженский А. В., Гладких К. В., Виноградов Б. Н.** Твердение вяжущих на основе топливных гранулированных шлаков. — Труды ВНИИ новых строительных материалов, 1960, вып. 2, с. 52—74.

6. **ВСН 35-70:** Временные указания по проведению контрольных наблюдений и исследований на плотинах из местных материалов во время их возведения и эксплуатации. — Л.: Энергия, 1971. — 44 с.

7. **ВСН 04-71:** Указание по расчету устойчивости земляных откосов. — Л.. Энергия, 1971. — 104 с.

8. **ВСН 385-77:** Инструкция по намыву территории на торфах. — М., Центральное бюро научно-технической информации, 1978. — 60 с.

9. **Дренажи** и фильтры из пористого бетона/А. Д. Осипов, П. С. Ронжин, В. С. Панфилов, А. В. Вощинин. — Библиотека гидротехника и гидроэнергетика. М., 1972, вып. 27, 112 с.

10. **Жученко В. А.** Новая технология гидромеханизированной добычи и переработки грунтов. — М.: Стройиздат, 1973. — 134 с.

11. **Золошлаковые** материалы и золоотвалы / Под редакцией В. А. Мелентьева. — М.: Энергия, 1978. — 296 с.

12. **Иванов П. Л.** Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. — М.: Недра, 1983. — 232 с.

13. **Инструкция** по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений. П 92—80 / ВНИИГ. Л., 1981. — 105 с.

14. **Клейн Г. К.** Расчет труб, уложенных в земле. — М.: Госстройиздат, 1957. — 195 с.

15. **Корытова И. В., Машин Б. А., Пантелеев В. Г.** Расчет золоотвалов на ЭВМ. — Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева: Сборник научных трудов, 1980, т. 144, с. 66—69.

16. **Ларина Э. А.** Исследование упрочнения золошлакового материала. — Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Сборник научных трудов, 1985, т. 185, с. 41—46.

17. **Мелентьев В. А., Зведер А. Л.** Предотвращение разрушения ограждающих дамб золоотвалов в зимнее время. — Электрические станции, 1982, № 12, с. 57.

18. **Мелентьев В. А., Колпашников Н. П., Волнин В. А.** Намывные гидротехнические сооружения — М.: Энергия, 1973. — 248 с.

19. **Мелентьев В. А., Нагли Е. З.** Гидрозолоудаление и золоотвалы. — Л.: Энергия, 1968. — 238 с.

20. **Методика** расчета показателей качества осветленной воды систем гидрозолоудаления тепловых электростанций: МТ-34-70-018-74 / Минэнерго СССР, М., 1984. — 44 с.

21. **Мелентьев В. А., Богдан В. С., Барбалт А. М.** Многоярусный высотный золоотвал на слабом зольном основании. — Электрические станции, 1981, № 6, с. 27—29.

22. **Мелентьев В. А., Митюшина И. М.** Конструкции намывных золошлакоотвалов тепловых электростанций. — Электрические станции, 1986, № 2.

23. **Можевитинов А. П., Степанов С. И.** Метод $\beta = \text{const}$ в применении к круглоцилиндрическим поверхностям сдвига при расчете устойчивости грунтовых откосов. — Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева: Сборник научных трудов, 1984, т. 178, с. 67—70.

24. **Нормы** технологического проектирования тепловых электрических станций: ВНТП-81 / Минэнерго СССР, М., 1981. — 120 с.

25. **Охрана** рыбных запасов и регулирование рыболовства. Сборник руководящих документов органов Рыбоохраны / Главрыбвод, М., 1974. — 435 с.

26. **Правила** охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами/ Минмелиоводхоз, Минздрав, Минрыбхоз СССР, М., 1975. — 41 с.

27. **Предельно** допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Справочное пособие. — Л.: Химия, 1975. — 456 с.

28. **Проектирование** оснований гидротехнических сооружений: П13-83 / ВНИИГ (Пособие к СНиП II-16-76), — Л., 1984. — 402 с.

29. **Покровский В. Н., Аракчеев Е. П.** Очистка сточных вод тепловых электростанций. — М.: Энергия, 1980. — 256 с.

30. **Рекомендации** по временному закреплению золоотвалов ТЭС от пыления: П 68-77 / ВНИИГ, Л., 1979. — 25 с.

31. **Рекомендации** по проектированию и строительству противофильтрационных экранов золоотвалов и накопителей производственных сточных вод теплостанций: П 82-79 / ВНИИГ, Л., 1980. — 78 с.

32. **Руководство** по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций. П 20-74 / ВНИИГ. — Л.: Энергия, 1974. — 134 с.

33. **Руководство** по проектированию дренированных золоотвалов ТЭС: П 64-77 / ВНИИГ, Л., 1978. — 68 с.

34. **Руководство** по проектированию и расчету подземного контура плотин на нескальном основании и их сопрягающих устоев: П 69-77 / ВНИИГ, Л., 1978. — 102 с.

35. **Руководство** по проектированию плотин из грунтовых материалов, возводимых в северной строительно-климатической зоне: П 48-76 / ВНИИГ, Л., 1976. — 65 с.

36. **Руководство** по учету фильтрационных сил при расчете устойчивости откосов земляных сооружений: П 34-75 / ВНИИГ, Л., 1975. — 23 с.

37. **Состав** и свойства золы и шлака ТЭС: Справочное пособие / Под редакцией В. А. Мелентьева. — М.: Энергоатомиздат. 1985. — 286 с.

38. **СН 245-71:** Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. — М.: Стройиздат, 1972. — 97 с.

39. **СН 477-75:** Временная инструкция по проектированию противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте» — М.: Энергия, 1976. — 32 с.

40. **СН 522-79:** Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации гидротехнических сооружений на подрабатываемых горными работами территориях. — М : Энергия, 1981. — 31 с.

41. **СН 518-79:** Инструкция по строительству селезащитных сооружений.— М.: Стройиздат, 1980. — 58 с.

42. **СН 202-81*:** Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектов и смет на строительство предприятий, зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1982. — 72 с.

43. **СНиП II-Б.2-62:** Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. Нормы проектирования. — М.: Госстройиздат, 1962. — 8 с.

44. **СНиП II-28-73:** Защита строительных конструкций от коррозии (дополнение). — М Стройиздат, 1976. — 20 с.

45. **СНиП II-50-74:** Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования. — М.: Стройиздат, 1975. — 24 с.

46. **СНиП II-15-74:** Основание зданий и сооружений. Нормы проектирования. — М. Стройиздат, 1975. — 65 с.

47. **СНиП 2.06.04-82:** Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). — М., Госстрой СССР, 1983. — 38 с

48. **СНиП II-58-75:** Электростанции тепловые. Нормы проектирования. — М., Госстрой СССР, 1976. — 25 с.

49. **СНиП III-8-76:** Земляные сооружения. Правила производства и приемки работ. — М. Стройиздат, 1977. — 104 с.

50. **СНиП II-89-80:** Генеральные планы промышленных предприятий. Нормы проектирования. — М. Стройиздат, 1981. — 28 с.

51. **СНиП II-7-81:** Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат, 1981. — 49 с.

52. **СНиП 2.01.14-83:** Определение расчетных гидрологических характеристик. — М.: Стройиздат, 1985. — 136 с.

53. **СНиП 2.06.05-84:** Плотины из грунтовых материалов. — М., Госстрой СССР, 1985. — 32 с.

54. **Типовая** инструкция по эксплуатации систем гидрозолоудаления и золоотвалов ТЭС: ТИ 34-70-000-82 / Союзтехэнерго. — М., 1982. — 36 с.

55. **Федяев Н. И., Алексеева Т. Е.** Формирование химического состава воды при лабораторном моделировании оборотных систем ГЗУ. — Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденсева: Сборник научных трудов, 1984, т. 174, с. 42—47.

56. **Энергетика** и охрана окружающей среды: Сборник научных трудов / Под редакцией И. Г. Залогина. — М.: Энергия, 1979. — 352 с.

57. **Энергетическое** топливо СССР· Справочник. — М.: Энергия, 1979. — 128 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 6
Область применения 6
Терминология 6
Классификация систем золошлакоудаления и золошлакоотвалов 8
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ 11
Исходные положения 11
Расчет емкости золошлакоотвалов 13
Выбор вида золошлакоотвала в зависимости от рельефа местности 15
Изыскания под сооружения системы золошлакоудаления . . 17
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАМЫВНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ 19
Исходные положения 19
Выбор типа конструкции 21
Конструкция дамб 27
Дренажные устройства 30
Расчет устойчивости откосов 35
4. УКЛАДКА ЗОЛОШЛАКОВОГО МАТЕРИАЛА В НАМЫВНЫЕ ОТВАЛЫ 37
Исходные положения 37
Приближенный метод определения физико-механических свойств отложений по зонам 38
Технология заполнения отвала 43
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТСТОЙНЫХ ПРУДОВ НАМЫВНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ 48
Исходные положения 48
Расчет длины пути осветления по эффекту осветления . . . 49
Расчет водного баланса 52
6 СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОСВЕТЛЕННОЙ ВОДЫ И ОТВОДА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА 55
7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСЫПНЫХ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ 58
Исходные положения 58
Расчеты насыпных отвалов 59
8 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ С ОПЕРАТИВНЫМ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОМ 60
9 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 61
Исходные положения 61
Условие сброса осветленной воды из оборотных систем ГЗУ 62
Мероприятия по борьбе с фильтрацией в намывных золошлакоотвалах 63
Охрана воздушного бассейна 64
Консервация золошлакоотвалов 67
10. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ 68
Общие положения 68
Возведение сооружений золошлакоотвала 68
Контрольно-измерительная аппаратура 70
Зимние условия эксплуатации 72

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Химический состав золошлаковых материалов твердых топлив ТЭС 74
2. Гранулометрический состав и физико-механические свойства золошлаковых материалов 79
3. Методика фильтрационных расчетов намывных золошлакоотвалов 85
4. Методика расчета устойчивости откосов золошлакоотвалов . . . 95
5. Упрощенный способ расчета конечной осадки дамбы наращивания, возведенной на намытом золошлаковом материале . . 99
6. Расчеты составляющих водного баланса оборотных систем ГЗУ 103
7. Примеры конструкций золошлакоотвалов 112
8. Химический состав осветленной воды оборотных систем ГЗУ 116
9. Упрочнение во времени золошлаковых отложений на отвалах 120

Список литературы 123

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

П 26-85
ВНИИГ

Научный редактор *В. А. Мелентьев*
Редактор *Р. Н. Тиназова*
Технический редактор *Т. М. Бовичева*

Сдано в набор 03.01.86. Подписано в печать 21.03.86.
М-32814. Формат бумаги 60×90 1/16. Бумага типографская № 3.

Литературная гарнитура. Высокая печать. Печ. л. 8,0.
Уч.-изд. л. 8,17. Кр.-отт. 8,125. Тираж 800. Заказ 8. Цена 1 р. 20 к.

Типография ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева.
195220, Ленинград. Гжатская ул., 21.

gost.e-ecolog.ru