ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СООРУЖЕНИЙ ШЛАМОХРАНИЛИЩ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОСКВА — 1971

gost.e-ecolog.ru

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
И ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ (ВОДГЕО)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СООРУЖЕНИЙ ШЛАМОХРАНИЛИЩ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Издание 2-е, переработанное и дополненное

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва—1971

УДК 624.136 : 669.1/2

В книге, написанной на основе обобщения отечественного опыта проектирования, строительства и эксплуатации сооружений шламохранилищ, а также опыта намыва шламов в хранилища, даются терминология и классификация шламохранилищ, освещаются вопросы топографических и геологических изысканий, проектирования и возведения гидротехнических сооружений шламохранилищ, а также вопросы эксплуатации шламохранилищ. Даны основные сведения по выбору расчетных физико-механических характеристик шламов и по новым методам расчета устойчивости откосов дамб и фильтрации шламохранилищ.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией шламохранилищ.

Таблиц 26, иллюстраций 69, библиография — 11 наименований.

3—2—11
237—71

ВНИИ ВОДГЕО

Рекомендации по проектированию сооружений шламохранилищ металлургической промышленности

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Редактор издательства *Шершукова М. А.*
Технический редактор *Бочкова Н. Г.*
Корректор *Морозовская Г. Г.*

Сдано в набор 2/IV 1971 г. Подписано к печати 23/IX 1971 г.
Т-13942. Бумага 60×90¹/₁₆—3,5 бум. л. 7 печ. л. (уч.-изд. 8,1 л.)
Тираж 1.500 экз. Изд. № IVIII—2313. Зак. № 431. Цена 73 коп.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рост производства черных и цветных металлов в нашей стране, а также ежегодное введение в промышленную разработку новых рудных месторождений требуют расширения существующих и создания новых крупных горнообогатительных комбинатов. Это, естественно, приводит к необходимости увеличения объема шламохранилищ и улучшения ведения шламового хозяйства.

Учитывая важность строительства шламохранилищ для развития металлургической промышленности, на основе исследований, проведенных на шламохранилищах ВНИИ ВОДГЕО, а также исходя из практики проектирования шламовых хозяйств различных обогатительных фабрик составлены настоящие рекомендации по намыву шламов.

В рекомендации включены основные вопросы проектирования шламового хозяйства (выбор физико-механических характеристик шламов, гидравлическая укладка их в хранилища, проектирование и возведение ограждающих дамб, расчеты их осадки, фильтрации, расчет устойчивости откосов), а также вопросы эксплуатации и контрольных наблюдений за шламохранилищем и узлом сооружений.

В разработке рекомендаций принимали участие И. С. Федоров, И. В. Федоров, О. Е. Добровинская, Э. В. Забавина.

Глава I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Область применения

1. Настоящие рекомендации предназначены для проектирования, строительства и эксплуатации шламохранилищ обогатительных фабрик металлургической промышленности.

Ими можно пользоваться при любом методе намыва шламов в ограждающие дамбы, плотины и хранилища любой высоты и любого типа.

2. При возведении ограждающих дамб из местного материала насыпным способом с уплотнением и без уплотнения, а также намывным способом рекомендуется пользоваться следующими главами СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования», II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования», II-И.6-62 «Плотины каменно-набросные. Нормы проектирования».

2. Основная терминология

3. *Шламохранилищем* называется комплекс сооружений, предназначенных для складирования шламов (отходов) обогатительных фабрик цветной и черной металлургии. Шламохранилище состоит из ложа — основания, ограждающих дамб первичного и вторичного обвалования, гидроотвала и других конструктивных элементов.

4. *Дамба первичного обвалования* — насыпь из грунта или шламов, служащая для удержания намываемых шламов; *дамба вторичного обвалования* — дамба, предотвращающая вытекание пульпы за пределы участка намыва (*пульпа* — смесь шламов с водой, сбрасываемая обогатительной фабрикой).

Для обозначения отдельных частей и элементов ограждающих дамб рекомендуется придерживаться терминологии, приведенной в главе СНиП II-И.1-62 «Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования».

5. Участок шламохранилища, на котором производится намыв, называется *картой намыва*. Последовательность заполнения карт указывается проектом.

6. Зона между ограждающей дамбой и прудком-отстойником

называется *пляжем* (*прудок-отстойник* — водоем, в котором происходит осветление воды в процессе намыва шламов).

7. *Пульповод* — устройство, служащее для транспортирования пульпы самотеком или под напором. *Магистральный пульповод* — часть пульповода от обогатительной фабрики до шламохранилища.

8. *Интенсивность намыва* — высота слоя шламов, намываемых за единицу времени (месяц или год).

9. *Весовая консистенция пульпы* — отношение веса шламов в пульпе к весу воды (в процентах):

$$K_{в} = \frac{T}{Ж} 100, \tag{1}$$

где T — вес шламов («твердого») в пульпе;

$Ж$ — вес воды («жидкого») в пульпе.

10. *Объемное содержание шламов в пульпе по отношению к объему воды* (в процентах):

$$P_{о.в} = \frac{\frac{T}{\gamma_0} 100}{\frac{Ж}{\gamma_в}} = \frac{T\gamma_в}{Ж\gamma_0} 100, \tag{2}$$

где γ_0 — удельный вес шламов;

$\gamma_в$ — удельный вес воды, равный 1 $т/м^3$.

11. *Объемное содержание шламов в пульпе по отношению к объему пульпы* (в процентах):

$$P_{о.п} = \frac{\frac{T}{\gamma_0} 100}{\frac{T}{\gamma_0} + \frac{Ж}{\gamma_в}}. \tag{3}$$

12. *Расход пульпы* при заданном среднесуточном выходе шламов:

$$Q_{п} = \frac{\frac{q}{\gamma_0} + \frac{Ж}{\gamma_в}}{3600n} \; м^3/сек, \tag{4}$$

где q — среднесуточный выход шламов в $т$;

$\frac{Ж}{\gamma_в}$ — объем воды в пульпе в $м^3$ за сутки;

n — число часов работы фабрики в сутки.

13. *Объемный вес пульпы:*

$$\gamma_п = \frac{T + Ж}{\frac{T}{\gamma_0} + \frac{Ж}{\gamma_в}}. \tag{5}$$

14. *Средневзвешенный диаметр частиц шламов:*

$$d_{ср} = \frac{d_1 q_1 + d_2 q_2 + \cdots + d_n q_n}{100} \text{ мм}, \quad (6)$$

где $d_1, d_2, \ldots, d_n$ — размер частиц в *мм*;

$q_1, q_2, \ldots, q_n$ — весовое содержание соответствующих частиц шламов в процентах.

3. Классификация шламохранилищ

15. В зависимости от способа устройства каждое шламохранилище может быть отнесено к одному из трех типов:

а) *плотинное (наливное) шламохранилище,* в котором ограждающее устройство (плотину) возводят сразу на полную высоту;

б) *шламохранилище постепенного возведения,* в котором сначала возводят дамбу первичного обвалования небольшой высоты, необходимую для организации намыва, а затем наращивают шламохранилище по высоте путем постепенного возведения дамб вторичного обвалования;

в) *бесплотинное шламохранилище,* в котором исключается возведение как плотины, так и дамбы первичного обвалования.

16. В зависимости от рельефа местности в районе расположения шламохранилища различают следующие его типы (рис. 1):

а) *овражное шламохранилище,* располагаемое в овраге или балке, перегораживаемых дамбой первичного обвалования;

б) *пойменное шламохранилище,* устраиваемое на пойме реки путем ограждения участка дамбами;

в) *косогорное шламохранилище,* устраиваемое на косогоре путем ограждения участка с трех сторон дамбами (с четвертой стороны участок огражден самим косогором);

г) *равнинное шламохранилище,* устраиваемое на ровной местности путем ограждения участка по всему периметру дамбами. Эксплуатационное достоинство равнинного шламохранилища — отсутствие необходимости создания дорогих и ответственных сооружений для сброса естественного стока;

д) *котлованное шламохранилище,* устраиваемое в котловане старого карьера или резерва; при этом возможно складирование шламов без возведения дамбы;

е) *котловинное шламохранилище,* устраиваемое в котловине; при этом также возможно складирование шламов без возведения дамбы или же требуется дамба малой высоты.

4. Требования к ограждающим дамбам

17. Тип ограждающих дамб выбирается в зависимости от наличия в районе строительства тех или иных грунтов, от принятого способа возведения шламохранилища и на основе данных ин-

женерно-геологических и гидрологических изысканий в районе строительства.

18. Основное требование к ограждающим дамбам при намыве, а также после намыва сводится к обеспечению устойчивости

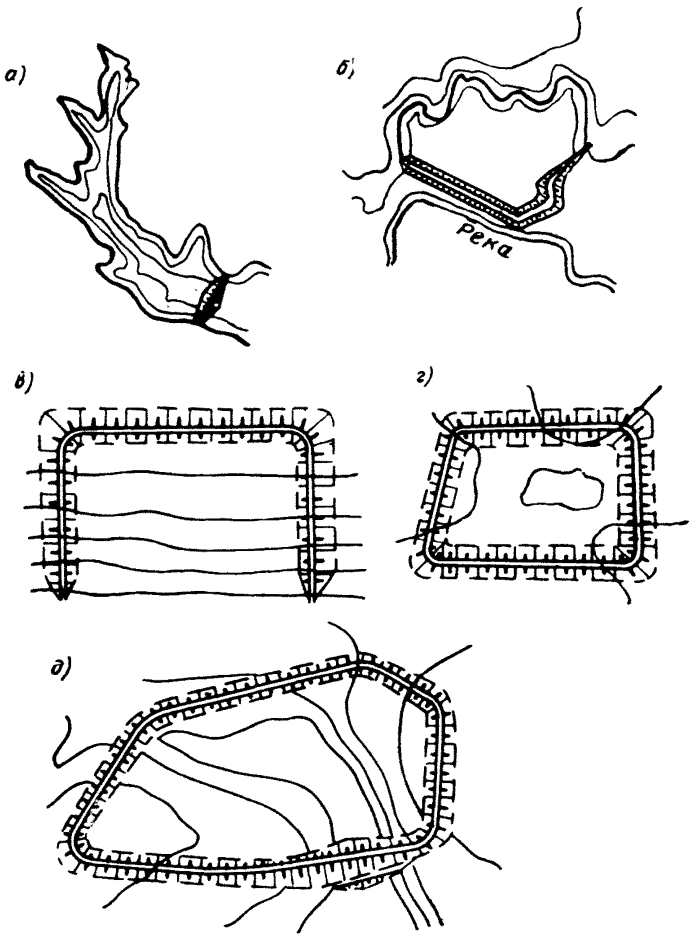


Рис. 1. Типы шламохранилищ

а — овражное; *б* — пойменное; *в* — косогорное; *г* — равнинное; *д* — овражно-равнинное

их откосов и предотвращению распыления намытых шламов. Устойчивость откосов дамб должна быть обеспечена как в отношении оползания, так и в отношении оплывания под действием выклинивающихся на откосе фильтрационных вод. Особое внимание обеспечению устойчивости откосов ограждающих дамб сле-

дует уделять при большой интенсивности намыва и слабых маловодопроницаемых грунтах основания (илы, грунты стариц и т. д.), а также при устройстве шламохранилищ в сейсмических районах.

19. Для возведения ограждающих дамб шламохранилищ могут применяться такие же грунты, как и для возведения водоудерживающих плотин и дамб, а также шламы, сбрасываемые обогатительными фабриками.

20. Рекомендуются три способа намыва шламов в плотины и дамбы: эстакадный, зенитный и безэстакадный.

Глава II

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ, ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Топографические и гидрологические изыскания

21. Топографические изыскания проводят для получения плана участка расположения шламохранилища, гидрологические изыскания — для установления водного режима на участке расположения шламохранилища.

22. В результате топографических изысканий должны быть получены следующие материалы:

1) для технического проекта:

а) план местности в районе шламохранилища и прилегающей к нему территории в масштабе от 1 : 5000 до 1 : 25 000; масштаб определяется сложностью геологического строения и размером хранилища (при средней сложности 1 : 10 000, при простом геологическом строении 1 : 25 000).

В месте расположения створа дамбы или плотины съемка местности производится в масштабе 1 : 500;

б) план участка расположения шламохранилища с нанесением трасс пульповодов и водоводов, насосных станций и других сооружений, находящихся в районе шламохранилища, в масштабе 1 : 500 с горизонталями через 0,5—1 *м*;

2) для рабочих чертежей:

а) план шламохранилища в масштабе 1 : 2000—1 : 5000 с горизонталями через 1—2 *м*;

б) план расположения гидротехнических сооружений, насосных станций и переходов пульповодов и водоводов через реки, овраги и другие препятствия в масштабе 1 : 500—1 : 1000 с горизонталями через 0,5—1 *м*;

в) продольные профили поверхности земли по трассам пульповодов и водоводов, по осям гидротехнических сооружений с горизонтальным масштабом 1 : 2000—1 : 5000 и вертикальным масштабом 1 : 200—1 : 500.

23. Гидрологические характеристики на стадии составления технического проекта устанавливают на основании имеющихся материалов наблюдений опорной гидрометрической сети ГУГМС по существующим эмпирическим зависимостям.

24. На стадии составления рабочих чертежей в результате гидрологических изысканий должны быть установлены следующие данные: общая гидрографическая и гидрологическая характеристика района шламохранилища, химический состав вод водотоков, границы и площади бассейнов каждого водотока, качество воды, нормы стока, расходы, режим уровней, скорость течения, твердый сток, ледовый и волновой режим, сведения о растительности, паводковом и бытовом режиме водотоков в месте расположения узла сооружений шламохранилища.

К гидрологическим изысканиям относится также установление следующих климатических характеристик района шламохранилища:

а) среднемесячных и среднегодовых температур воздуха, а также их максимумов и минимумов;

б) среднемесячных и среднегодовых количеств осадков, а также их суточных максимумов;

в) средней, наибольшей и наименьшей месячной высоты снегового покрова;

г) абсолютной влажности воздуха и дефицита влажности;

д) среднемесячных и среднегодовых скоростей ветра и наибольшей его скорости в летний и зимний периоды (роза ветров);

е) наименьшего, среднего и наибольшего испарения с водной поверхности по месяцам.

2. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания

25. Инженерно-геологические изыскания проводят для установления строения бортов и оснований шламохранилищ, а также для разведки карьеров грунтов, пригодных для возведения сооружений шламохранилищ.

26. Инженерно-геологические изыскания и геотехнические исследования, выполняемые для обоснования проектов ограждающих дамб шламохранилищ, проводят в обычном порядке по программе изысканий, составленной на основе технического задания, выдаваемого проектировщиками.

Для составления технического проекта и рабочих чертежей в результате инженерно-геологических изысканий должны быть получены геологические разрезы по трассам пульповодов и водоводов, по осям гидротехнических сооружений и насосных станций.

27. Гидрогеологические изыскания проводят в комплексе с геологическими для получения следующих данных: сведений о режиме грунтовых вод и их агрессивности — на стадии технического проекта; сведений об уровнях грунтовых вод, нанесенных на геологические разрезы, с указанием их колебаний, о водопроницаемости пород, залегающих в основании сооружений и чаши шламохранилища, — на стадии рабочих чертежей. Для

бесплотинных шламохранилищ указанные изыскания проводить не обязательно.

28. Геотехнические исследования на стадии технического проекта должны быть представлены общей характеристикой физических и механических свойств грунтов района шламохранилища и трассы пульповода, а на стадии рабочих чертежей — следующими материалами:

а) по грунтам трасс пульповодов и водоводов — краткой инженерно-геологической характеристикой;

б) по грунтам оснований гидротехнических сооружений — удельным весом, пористостью, влажностью, пределами пластичности, объемными весами во влажном и сухом состоянии (скелета), углом внутреннего трения, сцеплением, компрессионными характеристиками и коэффициентом фильтрации;

в) по грунтам ложа шламохранилища — коэффициентом фильтрации и данными о способности к выщелачиванию.

29. Исследованиям фильтрационных свойств грунтов основания и грунтов карьеров, намеченных для возведения дамб, должно быть уделено особое внимание в случае, когда в шламохранилище сбрасывают вредные стоки.

30. Для выявления последствий загрязнения воздушного пространства, а также поверхностных и грунтовых вод промышленными стоками, сбрасываемыми в шламохранилище и фильтрующимися из него в основание и ограждающие дамбы, необходимо проводить санитарные обследования.

31. Для возможности использования местных строительных материалов при возведении плотинных шламохранилищ должны быть получены следующие данные:

а) при поисковой разведке — план района шламохранилища с указанием карьеров глинистых грунтов, песка, гравия в масштабе 1 : 10 000 и план карьеров камня в масштабе 1 : 5000 с горизонталями через 1—2 *м*;

б) при детальной разведке для проектирования разработки карьеров песка и глинистых грунтов — план в масштабе 1 : 2000; карьеров строительного камня — план в масштабе 1 : 1000 или 1 : 5000 с горизонталями через 1 *м*;

в) разрезы карьеров и разведочных выработок;

г) физико-механические характеристики и свойства глинистых грунтов, песка, гравия, камня, шламов, которые могли бы быть использованы для строительных целей;

д) сведения о грунтах полезных выемок (вскрыш карьеров месторождений и т. п.) промышленной площадки с календарным планом производства работ.

3. Требования к изысканиям для проектирования менее ответственных шламохранилищ

32. Требования к изысканиям для проектирования шламохранилищ IV и V классов капитальности несколько снижаются:

а) для топографической основы технического проекта следует использовать материалы ведомств по ранее выполненным съемкам и нивелировкам, устанавливая по ним площадь и объем шламохранилища, уровни воды в нем и отметку ограждающей дамбы, оси сооружения, профили и объемы их; имеющиеся топографические материалы уточняют и пополняют по результатам рекогносцировки, упрощенной съемки и упрощенной нивелировки;

б) инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания должны обеспечивать общее представление о геологии и гидрогеологии участка расположения шламохранилища с узлом его сооружений и карьеров грунта, пригодного для возведения ограждающих дамб.

Для этой цели следует использовать имеющиеся материалы по геологии и гидрогеологии района, обследовав естественные обнажения пород по берегам рек и оврагам и отметив выходы грунтовых вод;

в) гидрологические изыскания проводят для установления максимального расхода водотока и составления гидрографа за средний гидрологический год на основе данных литературных источников и материалов метеорологических станций.

В случаях, когда такие материалы отсутствуют, для получения сведений допускается использовать данные опроса старожилов. Полученные сведения об уровнях воды, поперечном сечении водотока и следах деятельности водотока должны быть зафиксированы.

4. Оценка грунтов оснований чаши шламохранилища и его сооружений

33. При оценке грунтов оснований шламохранилищ и ограждающих дамб можно руководствоваться принципом, что практически в качестве оснований могут быть использованы все природные грунты.

34. При наличии в основании ограждающих дамб макропористых грунтов должно быть обращено внимание на возможность неравномерных осадок их как в продольном, так и в поперечном направлении, особенно в процессе намыва шламов в хранилища, поскольку эти осадки могут вызвать нежелательные деформации в виде сквозных трещин в дамбах.

Примечание. Для уменьшения неравномерности осадок применяют различные приемы, например постепенный подъем воды в прудке с целью промачивания тела, бортов и основания плотины (дамбы).

35. При наличии в основании ограждающих дамб торфянистых переувлажненных грунтов необходимо предусматривать такую конструкцию дамб и водонепроницаемых устройств, чтобы при значительных деформациях основания (до 1,5 *м*) в них не появлялись катастрофические трещины.

Для основания пригодны все виды торфа при мощности слоя

не более 5 *м*. При наличии торфа со степенью разложения менее 50% следует производить посадку ограждающей дамбы на минеральное дно путем выдавливания торфа в стороны различными способами, в том числе и взрывным способом. Для этого в торфянистый грунт помещают заряды, располагая их в шахматном порядке. Затем возводят ограждающую дамбу на заданную первоначальную высоту (8—10 *м*). После этого заряды взрывают. Под действием взрыва насыпь опускается на минеральное дно.

Примечание. Посадку насыпей на минеральное дно болот производят согласно техническим правилам ведения взрывных работ на дневной поверхности.

36. При наличии в основании ограждающих дамб слабых иловатых суглинков следует уделять особое внимание его дренированию. При этом расчет устойчивости откосов должен учитывать возможность появления в грунтах основания порового давления, значительно уменьшающего сопротивление грунтов сдвигу.

37. При наличии в основании ограждающих дамб шламохранилищ I—III классов капитальности грунтов с большим содержанием растворимых солей должна быть оценена возможность их выщелачивания с течением времени и должны быть намечены мероприятия по предотвращению опасных для сооружения деформаций или усиления фильтрации во времени.

38. Мероприятия по улучшению оснований шламохранилищ должны намечаться в каждом конкретном случае в зависимости от класса капитальности сооружения.

Вопрос об использовании в качестве оснований сильно водопроницаемых грунтов решают в зависимости от класса капитальности сооружения и вредности сбрасываемых вод. При возможности загрязнения сточными водами грунтового потока должны предусматриваться изыскания не только для основания шламохранилища, но и для прилегающей к нему территории с целью разработки мероприятий, предупреждающих загрязнение подземных вод.

Глава III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩ

1. Общие вопросы

39. Проект шламового хозяйства является частью проекта обогатительной фабрики и должен быть увязан с комплексом сооружений горнорудного предприятия (рудником, фабрикой, сооружениями по очистке промышленных стоков и др.), включая рабочий поселок.

40. Шламохранилище рекомендуется использовать для приема шламовой пульпы и складирования шламов. Если шламы содержат ценные компоненты и подлежат дальнейшему использованию в промышленности, то в шламохранилище не следует сбрасывать другие материалы и промышленные стоки.

41. Проектирование шламохранилища ведется на основе технологического задания, выдаваемого организацией, выполняющей проектирование технологической части обогатительной фабрики.

Содержание технологического задания на проектирование шламохранилища

Технологическое задание на проектирование шламохранилища должно содержать следующие сведения:

1) выход шламов с фабрики в *т* или *м*^{3} за 1 *ч* в процессе развития фабрики;
2) число часов работы фабрики в год;
3) расчетное число лет эксплуатации фабрики;
4) удельный вес шламов в *т*/*м*^{3};
5) среднее значение объемного веса скелета шламов в шламохранилище в *т*/*м*^{3};
6) зерновой состав шламов;
7) консистенцию шламовой пульпы на выходе с обогатительной фабрики, определяемую по формуле (1);
8) температуру пульпы на выходе с обогатительной фабрики;
9) химический состав пульпы, характеристику и содержание вредных примесей, в частности флотационных реагентов [2, 3];
10) необходимость использования оборотного водоснабжения и максимальное количество воды, допустимое для повторного использования на обогатительной фабрике;
11) требования к воде, используемой при оборотном водоснабжении, в отношении ее осветления и очистки;
12) результаты исследовательских работ по очистке воды, сброшенной со шламами, от вредных примесей.

Примечание. Исходные характеристики шламов для реконструируемого шламохранилища должны быть определены по данным натурных исследований. Вместе с технологи-

ческим заданием на проектирование шламового хозяйства выдается генеральный план обогатительной фабрики с указанием координат и отметок точек выдачи шламовой пульпы с фабрики, а также отметок для подачи воды из шламохранилища при использовании оборотного водоснабжения.

Зерновой состав

Зерновой состав шламов, являющийся показателем крупности помола руды, необходим для установления целого ряда расчетных характеристик, используемых при проектировании и расчете пульповодов и шламохранилищ.

Зерновой состав шламов определяют различными способами. Ситовым анализом без промывки водой выделяют частицы диаметром более 0,5 *мм*. Ситовым анализом с промывкой водой выделяют частицы диаметром менее 0,1 *мм*. Методом отмучивания (Сабанина) выделяют частицы диаметром от 0,1 до 0,01 *мм*. Частицы диаметром менее 0,01 *мм* при использовании этого метода вычисляют по разности между исходной навеской и суммарным весом фракций частиц крупнее 0,01 *мм*. Если необходимо выделить частицы диаметром от 0,01 до 0,005 *мм* и менее, используют пипеточный анализ.

Для ситового анализа применяют следующие сита:

а) штампованные с круглыми отверстиями диаметром 1; 2; 5 и 10 *мм*;

б) проволочные с квадратными отверстиями размером 0,5; 0,25 и 0,1 *мм* (последние два сита применяют при анализе с промывкой водой).

Сопоставление размера отверстий в *мм* с числом отверстий на один погонный дюйм сита (*меш*) приведено в табл. 1.

Таблица 1

Соотношение числа отверстий (*меш*) с размером отверстий в *мм*

меш	Размер отверстий в *мм*	*меш*	Размер отверстий в *мм*	*меш*	Размер отверстий в *мм*
10	1,651	32	0,495	100	0,147
12	1,397	35	0,417	150	0,104
14	1,168	42	0,351	200	0,074
16	0,991	48	0,295	230	0,062
20	0,833	60	0,246	250	0,061
24	0,701	65	0,208	270	0,053
28	0,589	80	0,175	325	0,043

Результаты определения зернового состава шламов оформляют в виде таблиц с выделением по весу фракций частиц со следующими диаметрами: менее 0,005; 0,005—0,01; 0,01—0,05; 0,05—0,1; 0,1—0,25; 0,25—0,5; 0,5—1; 1—2; 2—5 и 5—10 *мм*.

Шламы обогатительных фабрик металлургической промышленности подразделяют в зависимости от крупности частиц на следующие виды:

крупнозернистые — вес всех частиц крупнее 0,5 *мм* составляет более 50%;

среднезернистые — вес всех частиц крупнее 0,25 *мм* составляет более 50%;

мелкозернистые — вес всех частиц крупнее 0,1 *мм* составляет более 75%;

пылеватые — вес всех частиц крупнее 0,1 *мм* составляет менее 75%.

Примечание. При определении вида шламов последовательно суммируют процентное содержание (по весу) частиц: сначала крупнее 0,5 *мм*, затем крупнее 0,25 *мм* и т. д.

Таблица 2

Вид, зерновой состав и средневзвешенный диаметр шламов обогатительных фабрик (на выходе из пульповода)

Шламы	Вид шламов	Зерновой состав — содержание в % (по весу) частиц диаметром в *мм*													Средневзвешенный диаметр $d_{п.ср}$ в *мм*
		10—5	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,3	0,3—0,15	0,15—0,1	0,1—0,074	0,074—0,043	0,043—0,02	0,02—0,01	0,01—0,005	<0,005	
Магнитогорские[1]	Пылеватые	0,06	0,5	1,02	7,6	12,81	11,05	10,53	5,48	3,2	9,03	6,96	18,47	7,24	6,05	0,347
Качканарские[1]	Среднезернистые	—	—	3	21		24	20	14		18					0,438
Абагурские[1]	Пылеватые	0,15	1,1	2,05	5,25	14	12,85	14,1		17,5		20,25		6,45	6,3	0,381
Каджаранские	»	—	—	—	—	0,2	2,5	20,4		25,8		29,6		6,7	14,8	0,076
Тырныаузские	»	—	—	—	—	—	7,9	29,2		12		32,6		18,3		0,1
Лениногорские	»	—	—	—	—	5,1	27,7	14,7		7,2		17,8		27,5		0,129
Миргалимсайские	»	—	—	—	—	1	2	7,5	12	7,4	20	23,3	8,2	18,6		0,08
Салаирские	»	—	—	—	—	0,3	6,5	31		14,2		24		8	16	0,0997
Золотушинские	»	—	—	—	0,5		5,5		7		7	80				0,054
Алмалыкские	»	—	—	—	—	0,8	5,5	10,1	12,6		25		23,8	22,2		0,087
Актюзские	»	—	—	—	—	0,07	0,78	3,85	22,8		0,21		72,29			0,052
Норильские	»	—	—	—	—	0,4	0,3	4	9,9	22,6	22,8	40				0,068
Губкинские[1]	»	—	—	—	—	—	—	1,25	12,35	26,2	32,6	27,6				0,065

[1] Шламы обогатительных фабрик черной металлургии.

Вид и зерновой состав шламов ряда обогатительных фабрик цветной и черной металлургии приведены в табл. 2, а кривые зернового состава шламов даны на рис. 2 и 3.

При гидравлической укладке шламов в хранилище происходит фракционирование их по крупности. Анализ проб шламов, отобранных на разном расстоянии от места выпуска пульпы, показывает, что они имеют разный зерновой

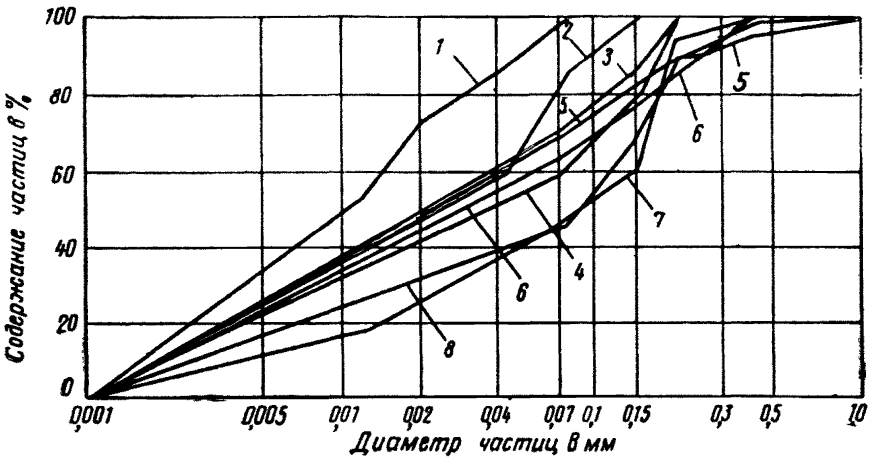


Рис. 2. Кривые зернового состава шламов (обогатительные фабрики цветной металлургии)

1 — миргалимсайских; *2* — золотушинских; *3* — каджаранских; *4* — балхашских; *5* — алмалыкских; *6* — зыряновских; *7* — тырныаузских; *8* — лениногорских

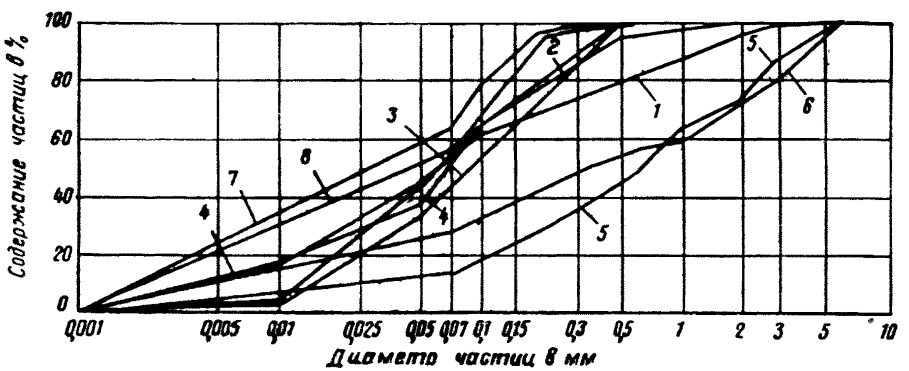


Рис. 3. Кривые зернового состава шламов (обогатительные фабрики черной металлургии)

1 — магнитогорских; *2* — криворожских; *3* — КМА-руды; *4* — коробковских; *5* — абагурских; *6* — мундыбашских; *7* — карабашских; *8* — качканарских

состав и относятся к различным видам [5, 6]. Знание раскладки по крупности необходимо для правильного выбора физико-механических характеристик шламов.

Раскладка шламов по крупности в шламохранилищах зависит от способа намыва: эстакадный, безэстакадный и зенитный с подачей пульпы непосредственно из распределительного пульповода или с подачей пульпы на карту намыва

с помощью выпусков, соединенных с лотками. По фронту перемещения выпусков образуются пляжи из более крупных фракций шламов, выпадающих из растекающейся пульпы; мелкие частицы шламов переносятся водой в прудок-отстойник, а самые мелкие уносятся вместе с водой в сбросные колодцы.

Шламы, оседающие на пляже, также распределяются по крупности: наиболее крупные фракции откладываются ближе к месту выпуска пульпы, менее крупные — дальше от места ее выпуска.

В результате проведения на хранилищах ряда обогатительных фабрик экспериментальных исследований раскладки шламов при намыве пульпы путем от-

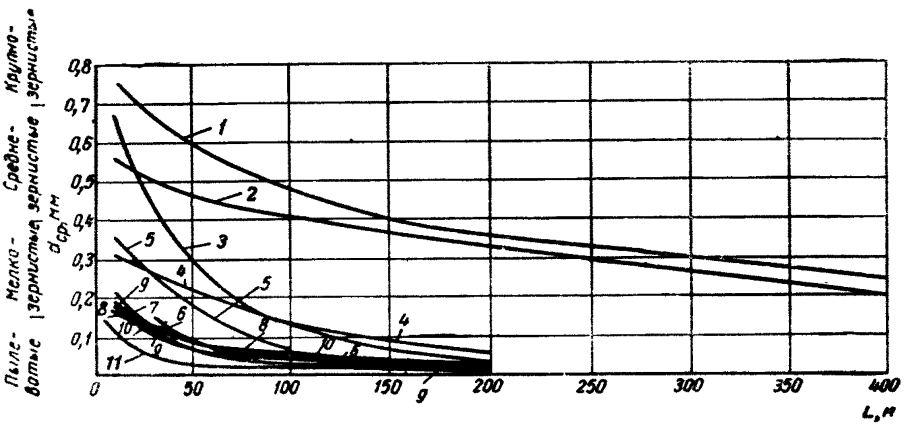


Рис. 4. Зависимость средневзвешенного диаметра шламов $d_{ср}$ от расстояния L до места выпуска пульпы при намыве шламов

1 — магнитогорских; *2* — качканарских; *3* — абагурских; *4* — алтын-топканских; *5* — балхашских; *6* — тырныаузских; *7* — каджаранских; *8* — губкинских; *9* — миргалимсайских; *10* — кантагинских; *11* — актюзских

бора проб шламов на разном расстоянии от места выпуска пульпы и определения их зернового состава построены графики зависимости средневзвешенного диаметра $d_{ср}$ от расстояния L до места выпуска пульпы (рис. 4). Кривые *1* и *2* характеризуют шламы, которые намывались выпуском пульпы из торца пульповода и имели на выходе из пульповода средневзвешенный диаметр $d_{п.ср}$=0,35÷÷ 0,44 *мм*; кривые *3*—*11* характеризуют шламы, которые намывались рассредоточенным способом.

Вид шламов, а также их средневзвешенный диаметр $d_{ср}$ на любом расстоянии L до места выпуска пульпы можно определить по табл. 3, если $d_{п.ср}$ совпадает с указанными в этой таблице величинами.

Крупность шламов, выходящих из пульповода и намытых в хранилище, значительно различается. Принимая в качестве критерия крупности шламов средневзвешенный диаметр [см. формулу (6)], сравним в табл. 4 крупность шламов нескольких фабрик на выходе из пульповода (до намыва) и на пляже (после намыва).

В табл. 5 приведены удельный вес, зерновой состав и средневзвешенный диаметр шламов различных видов, намытых в хранилища шести фабрик цветной металлургии и двух фабрик черной металлургии.

Зерновой состав шламов, намытых в хранилища, плотины и ограждающие дамбы, значительно отличается от зернового состава, намечаемого по технологическому заданию.

По результатам исследований образцов шламов, отобранных на хранилищах обогатительных фабрик цветной и черной металлургии, построены граничные кривые зернового состава, приведенные на рис. 5. Зоны между граничными кривыми *1*—*6* у шламов обогатительных фабрик цветной металлургии несколько

Таблица 3

Средневзвешенный диаметр $d_{ср}$ и вид намываемых шламов

Расстояние до места выпуска пульпы L в *м*	Средневзвешенный диаметр $d_{ср}$ в *мм* и вид шламов при средневзвешенном диаметре шламов на выходе из пульповода $d_{п.ср}$ в *мм*					
	0,07—0,1		0,25		0,4—0,44	
	$d_{ср}$	вид шламов	$d_{ср}$	вид шламов	$d_{ср}$	вид шламов
10	0,3—0,2	Мелкозернистые	0,65	Среднезернистые	0,75—0,55	Среднезернистые
20	0,2—0,15	Пылеватые	0,5	»	0,7—0,52	»
30	0,15—0,1	»	0,4	»	0,67—0,5	»
40	0,1—0,08	»	0,35	Мелкозернистые	0,63—0,49	»
50	0,08—0,07	»	0,3	»	0,6—0,47	»
60	0,07—0,05	»	0,25	»	0,57—0,46	»
100	0,05—0,025	»	0,15	Пылеватые	0,47—0,41	»
200	<0,025	»	0,05	»	0,36—0,32	Мелкозернистые
500	—	—	—	—	0,18—0,15	»
1000	—	—	—	—	<0,1	Пылеватые

Таблица 4

Крупность шламов до и после намыва

Фабрика	Средневзвешенный диаметр шламов в *мм*	
	до намыва $d_{п.ср}$	после намыва $d_{ср}$
Каджаранская	0,076	0,165
Тырныаузская	0,1	0,176
Магнитогорская	0,35	0,568

Примечание. Данные о крупности намытых шламов относятся к пляжам хранилищ. В прудках-отстойниках откладываются частицы шламов со средневзвешенным диаметром менее 0,05 *мм*.

уже зон между граничными кривыми *7—9* у шламов обогатительных фабрик черной металлургии, т. е. шламы обогатительных фабрик черной металлургии имеют более разнородный зерновой состав.

Изучение зернового состава дало возможность выявить примерную крупность шламов, намытых в хранилища обогатительных фабрик цветной и черной металлургии (табл. 6).

Исследования позволили установить связь между средневзвешенным диаметром $d_{ср}$ и процентным содержанием отдельных частиц в шламах обогатительных фабрик цветной и черной металлургии (рис. 6 и 7).

42. В проекте шламохранилища должны быть решены основные и детальные технические вопросы, обеспечивающие правильное и экономичное строительство шламохранилища в заданные сроки, а также простоту, надежность и экономичность его эксплуатации.

В проекте шламохранилища следует также предусмотреть:

а) жилищное строительство, если шламохранилище расположено далеко от существующих населенных пунктов;

Таблица 5

Вид, удельный вес, зерновой состав и средневзвешенный диаметр шламов, намытых в хранилища обогатительных фабрик

Шламы	Вид шламов	Удельный вес γ_0 в $г/см^3$	Зерновой состав — содержание в % (по весу) частиц диаметром в *мм*									Средневзвешенный диаметр $d_{ср}$ в *мм*
			5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	<0,01	
Каджаранские	Мелкозернистые	2,76	—	—	—	—	25	53,2	13	4,2	4,6	0,2
	Пылеватые	2,75	—	—	—	—	19,6	49,8	14,6	10,2	5,8	0,174
	»	2,7	—	—	—	—	6	46	18,4	16	13,6	0,122
Алмалыкские	Мелкозернистые	2,95	—	—	—	0,4	32,64	57,49	4,2	2,25	3,02	0,23
	Пылеватые	2,94	—	—	—	0,8	15,49	47,85	9,86	13,8	12,2	0,16
	»	2,83	—	—	—	—	0,2	8,9	14,06	41,4	35,44	0,041
Тырныаузские	Мелкозернистые	3,01	—	—	—	—	33,6	50,8	6,6	5,6	3,4	0,222
	Пылеватые	3	—	—	—	—	14,8	54,4	14,2	13,6	3	0,186
	»	2,99	—	—	—	—	4,84	45,2	27,2	18,8	3,96	0,123
Лениногорские	Среднезернистые	2,8	—	—	—	14,1	44,7	35,5	0,6	4,9	0,2	0,337
	Мелкозернистые	2,77	—	—	—	5,1	27,6	45,8	9,7	5,2	6,6	0,228
	Пылеватые	2,75	—	—	—	1,2	12,6	26,2	28,2	14,4	17,4	0,126

Продолжение табл. 5

Шламы	Вид шламов	Удельный вес γ_0 в *г/см*³	Зерновой состав — содержание в % (по весу) частиц диаметром в *мм*									Средневзвешенный диаметр $d_{ср}$ в *мм*
			5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	<0,01	
Золотушинские	Мелкозернистые	3,2	—	—	1,52	14,72	27,22	43,71	4,87	4,45	3,51	0,317
	»	3,06	—	—	0,3	7,42	26,4	47,53	9,38	5,75	3,22	0,251
	Пылеватые	2,95	—	—	0,07	1,28	8,96	56,27	15,4	13,97	4,05	0,158
Миргалимсайские	Мелкозернистые	3,05	—	—	—	0,6	3,65	76,35	11,8	4,43	3,17	0,162
	Пылеватые	3,09	—	—	—	0,28	6,64	34,1	25	11,8	22,18	0,11
	»	3,21	—	—	—	—	—	8,2	2,8	77	12	0,046
Магнитогорские[1]	Крупнозернистые	3,6	2,6	5	21	26,7	18,9	9,7	12,7	3,2	0,2	0,842
	Среднезернистые	3,69	1,1	1,3	9,2	21,1	22,5	23,1	15,4	4,7	1,6	0,51
	Мелкозернистые	3,94	—	0,7	4,9	11,9	25,1	39,3	12,1	3,3	2,7	0,353
Абагурские[1]	Среднезернистые	3,25	2,1	3,2	8,2	22,2	20,4	22,7	13,6	4,9	2,7	0,586
	Мелкозернистые	3,33	1,39	1,55	2,65	17,85	25,28	36,15	4,89	4,1	6,14	0,47
	Пылеватые	3,04	0,4	0,9	2,3	5,8	5,3	5,5	21,4	35,6	22,8	0,176

[1] Шламы обогатительных фабрик черной металлургии.

б) снабжение водой и электроэнергией;

в) строительство бытовых и служебных помещений;

г) строительство подъездных путей к карьерам, гидроотвалу и сооружениям шламохранилища (дамбам, пульповодам с аварийными емкостями, землесосным станциям и т. д.);

д) организацию лабораторий для исследования шламов (см. главу V, п. 6).

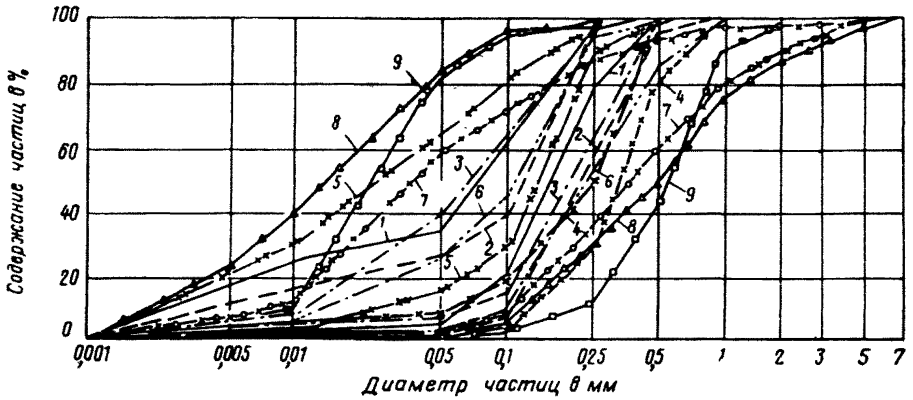


Рис. 5. Граничные кривые зернового состава шламов

1 — каджаранских; *2* — алмалыкских; *3* — тырныаузских; *4* — лениногорских; *5* — миргалимсайских; *6* — золотушинских; *7* — магнитогорских; *8* — абагурских; *9* — качканарских

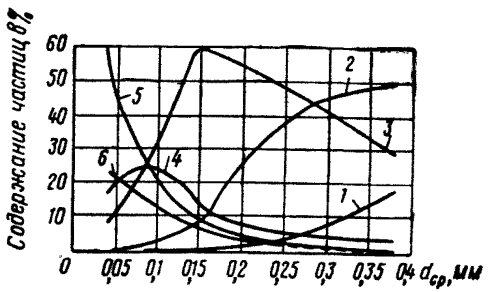


Рис. 6. Зависимость процентного содержания частиц разного диаметра от средневзвешенного диаметра шламов $d_{ср}$ обогатительных фабрик цветной металлургии

1 — частицы диаметром 1—0,5 *мм*; *2* — то же, 0,5—0,25 *мм*; *3* — то же, 0,25—0,1 *мм*; *4* — то же, 0,1—0,05 *мм*; *5* — то же, 0,05—0,01 *мм*; *6* — то же, меньше 0,01 *мм*

Таблица 6

Примерные пределы изменения средневзвешенного диаметра намытых шламов

Вид шламов	Пределы изменения $d_{ср}$ в *мм* на обогатительных фабриках	
	цветной металлургии	черной металлургии
Крупнозернистые	—	>0,8
Среднезернистые	0,4—0,29	0,79—0,3
Мелкозернистые	0,28—0,18	0,29—0,2
Пылеватые	0,17—0,04	0,19—0,025

В соответствии с постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 28 мая 1969 г. проект шламохранилища составляют в две стадии:

1) технический проект;
2) рабочие чертежи.

Примечание. По крупным и сложным предприятиям и сооружениям допускается также составление технико-экономического обоснования (ТЭО), подтверждающего экономическую целесообразность и хозяйственную необходимость проектирования и строительства предприятий и сооружений.

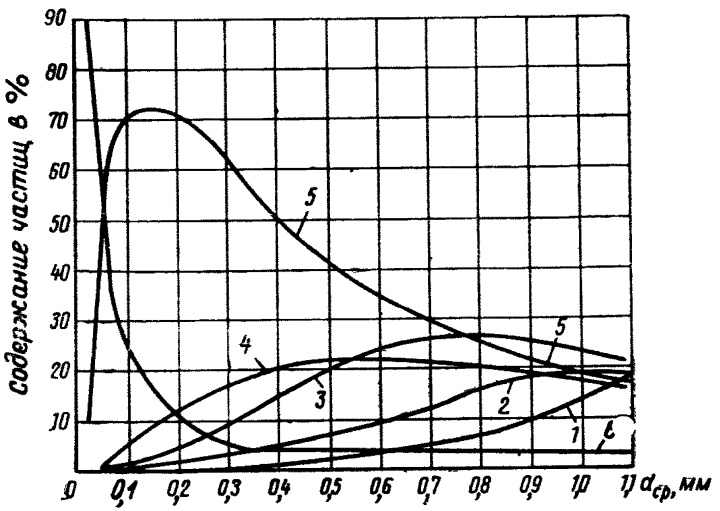


Рис. 7. Зависимость процентного содержания частиц разного диаметра от средневзвешенного диаметра шламов $d_{ср}$ обогатительных фабрик черной металлургии

1 — частицы диаметром больше 2 *мм*; *2* — то же, 2—1 *мм*; *3* — то же, 1—0,5 *мм*; *4* — то же, 0,5—0,25 *мм*; *5* — то же, 0,25—0,05 *мм*; *6* — то же, меньше 0,05 *мм*

Содержание технического проекта шламохранилища

На этой стадии проектирования разрабатывают технические решения основных вопросов строительства и эксплуатации шламохранилища: состав сооружений шламохранилища, место расположения площадки для шламохранилища, способ и организация укладки шламов, влияние фильтрации и сбросов воды из шламохранилища на грунтовые и поверхностные воды района, использование оборотного водоснабжения, осветление и сброс воды и обоснование технической выполнимости и экономической целесообразности предлагаемого варианта строительства шламохранилища и его эксплуатации [3 и 7].

Место расположения шламохранилища. Составляют общую характеристику района и его план, на который наносят выбранную для шламохранилища площадку с подробным описанием ее. На генеральный план строительства шламохранилища наносят существующие и проектируемые здания, сооружения, инженерные сети и пути с привязкой их к топографической основе и с установлением отметок. Для учета требований механизации работ в процессе строительства и эксплуатации, а также для обеспечения необходимой мобильности и маневрирования механизмов при разработке генерального плана необходимо преду-

сматривать устройство временных и постоянных дорог с удобными подъездами к каждому из объектов.

Технологическая часть проекта. Указывают способ укладки шламов и разрабатывают организацию его процесса. Устанавливают необходимость и возможность использования осветленной воды для оборотного водоснабжения. Выбирают основное оборудование для хозяйства шламохранилища и составляют его спецификацию для заказа. Определяют потребность в электроэнергии, воде, топливе, разрабатывают эксплуатационные штаты. Составляют планы и разрезы зданий и сооружений с нанесением на них мест расположения основного оборудования.

Строительная часть проекта. Выбирают место, строительные материалы и конструкции для постройки основных зданий и сооружений. Излагают строительную характеристику шламохранилища и составляют схематические планы и разрезы зданий и сооружений с указанием строительных объемов и площадей. Устанавливают источники водоснабжения и места спуска сточных вод, разрабатывают схемы водоснабжения и канализации, отопления и вентиляции и выбирают для них оборудование.

Организация строительства. Устанавливают объемы строительно-монтажных работ и методы их выполнения, потребность в строительных ресурсах (электроэнергии, паре, воде, строительных механизмах и материалах, рабочей силе), а также способы удовлетворения этой потребности. Составляют календарный строительный график, в котором указывают сроки строительства и ввода в эксплуатацию шламохранилища и отдельных его объектов.

Примечание. В целях ускорения следует предусматривать возможность ввода в эксплуатацию не всего комплекса, а отдельного самостоятельного объекта или его части (секции шламохранилища) при неполной высоте ограждающей дамбы.

2. Выбор расчетных физико-механических характеристик шламов

43. Для проектирования плотин и дамб шламохранилищ, а также водосбросных коллекторов необходимо на основании данных технологического задания обогатительных фабрик, а также геотехнических исследований выбрать следующие расчетные физико-механические характеристики:

1) удельный вес шламов γ_0 в $т/м^3$;
2) объемный вес скелета шламов $\gamma_{ск}$ в $т/м^3$;
3) коэффициент фильтрации $k_ф$ в $м/сутки$;
4) коэффициент внутреннего трения шламов $\operatorname{tg}\varphi$;
5) сцепление для глинистых грунтов основания c в $тс/м^2$;
6) компрессионные свойства: модуль деформации E в $тс/м^2$, коэффициент уплотнения a в $м^2/тс$ и коэффициент пористости ε при разных давлениях p;
7) поровое давление $p_{пор}$;
8) коэффициент разжижения $\alpha_р$.

Кроме того, на основании данных о зерновом составе шламов устанавливают их средневзвешенный диаметр $d_{ср}$, действующий или эффективный диаметр d_{10} (диаметр частиц, мельче которых содержится в шламах по весу 10%); контролирующие диаметры d_{30}, d_{60} и d_{90} (диаметры частиц, мельче которых содержится в шламах по весу соответственно 30, 60 и 90%) и коэффициенты неоднородности $\eta_{60}=d_{60}/d_{10}$; $\eta_{90}=d_{90}/d_{10}$.

Примерные величины действующего диаметра шламов d_{10} в *мм*

Вид шламов:	
крупнозернистые	>0,09
среднезернистые	0,089—0,065
мелкозернистые	0,064—0,04
пылеватые	<0,04

Примерные величины коэффициентов неоднородности

	η_{60}	η_{30}
Шламы обогатительных фабрик:		
цветной металлургии	2—40	4—80
черной »	6—75	16—300

Удельный вес шламов

Удельный вес шламов γ_0 определяют по ГОСТ 5181—64 [4] лабораторным путем в дистиллированной воде, применяя пикнометры или мерные колбы емкостью не менее 100 *см*². кипячением на песчаной бане в течение 30 *мин*. В полевых условиях допускается определение удельного веса в водопроводной воде.

По результатам исследований удельный вес шламов обогатительных фабрик цветной металлургии (см. табл. 5) колеблется в пределах от 2,7 до 3,2 *г/см*³ (*т/м*³), а удельный вес шламов обогатительных фабрик черной металлургии — в пределах от 2,6 до 4,2 *г/см*³ (*т/м*³).

Объемный вес скелета шламов

Объемный вес скелета шламов, намытых в хранилище, $\gamma_{ск}$, *т/м*³ зависит главным образом от их удельного веса и зернового состава. Объемный вес шламов одного и того же зернового состава колеблется в значительных пределах в зависимости от удельного веса.

Среднее значение объемного веса скелета намытых шламов используют при расчетах устойчивости откосов, осадок плотин и дамб, а также расчетных коллекторов шламохранилищ для вычисления действующего веса намытых шламов и других их физико-механических характеристик.

Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ при проектировании шламохранилищ определяют исходя из зернового состава и удельного веса шламов, установленных технологическим заданием, по формуле

$$\gamma_{ск} = \gamma_0 (1 - n), \tag{7}$$

где γ_0 — удельный вес шламов в *т/м*³ (*г/см*³);

n — пористость шламов, которую для вновь проектируемых хранилищ устанавливают по аналогам.

Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ шламов, намываемых в хранилище при дальнейшем его наращивании, рекомендуется определять по пробам ненарушенной структуры, отобранным из шурфов при помощи режущих цилиндров (диаметр и высота цилиндра 80—100 *мм*) или из скважин грунтоносом со специальным пробобрателем [4].

Зная объемный вес скелета шламов $\gamma_{ск}$ на любой высоте и их удельный вес γ_0, можно подсчитать пористость n на разной высоте хранилища по формуле

$$n = \frac{\gamma_0 - \gamma_{ск}}{\gamma_0}. \tag{8}$$

График зависимости подсчитанных средних значений пористости шламов, намытых в хранилища обогатительных фабрик цветной и черной металлургии, от высоты H слоя намытых шламов приведен на рис. 8.

Зная пористость на любой высоте H хранилища, можно определить $\gamma_{ск}$ на данной высоте по графику на рис. 9, построенному по результатам натурных исследований.

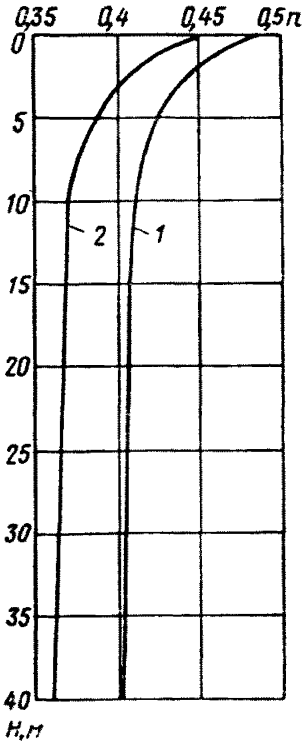


Рис. 8. Зависимость пористости n от высоты H слоя намытых шламов

1 — обогатительных фабрик цветной металлургии; *2* — то же, черной металлургии

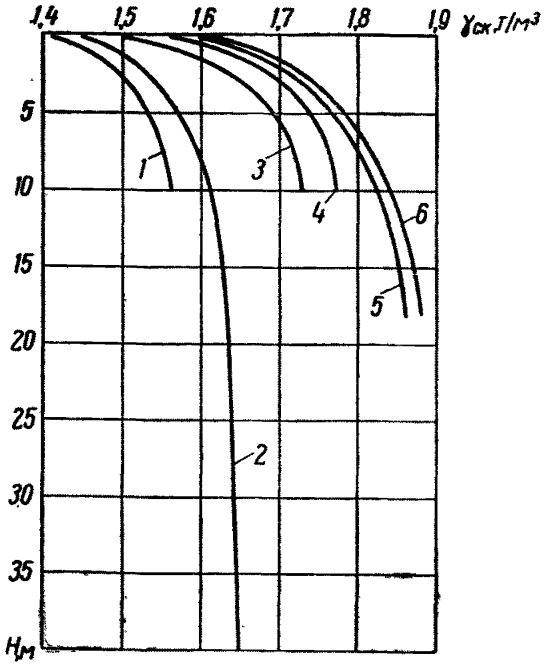


Рис. 10. Изменение по высоте хранилищ H обогатительных фабрик цветной металлургии объемного веса скелета $\gamma_{ск}$ шламов

1 — лениногорских; *2* — каджаранских; *3* — алмалыкских; *4* — тырныаузских; *5* — кантагинских; *6* — миргалимсайских

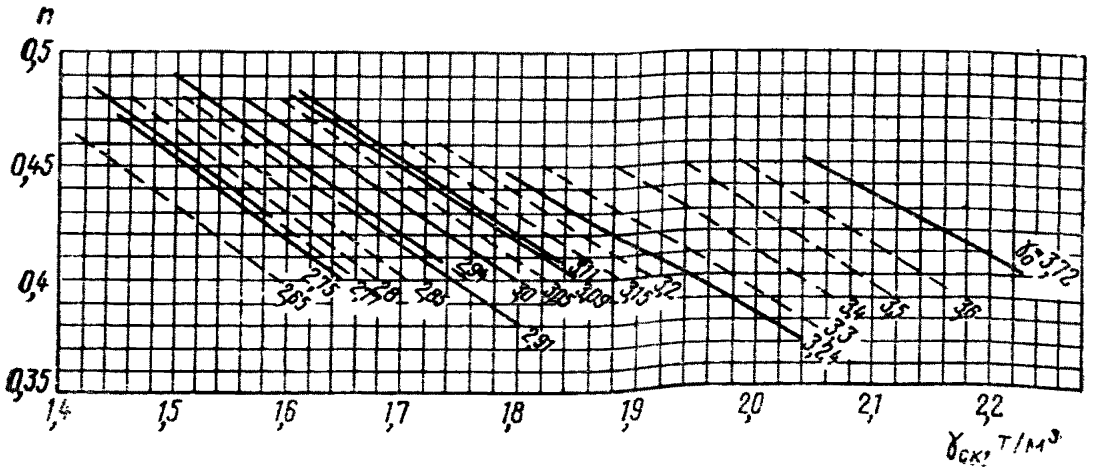


Рис. 9. Зависимость объемного веса скелета $\gamma_{ск}$ шламов с различным удельным весом γ_0 от пористости шламов

_____ экспериментальные данные; — — — расчетные данные

Графики изменения объемного веса скелета намытых шламов обогатительных фабрик цветной и черной металлургии по высоте хранилищ, построенные в результате проведения натурных исследований, приведены на рис. 10 и 11.

Величина объемного веса влажных шламов γ_W определяется по формуле

$$\gamma_W = \frac{g}{V}, \tag{9}$$

где g — вес шламов в режущем цилиндре;
V — объем режущего цилиндра.

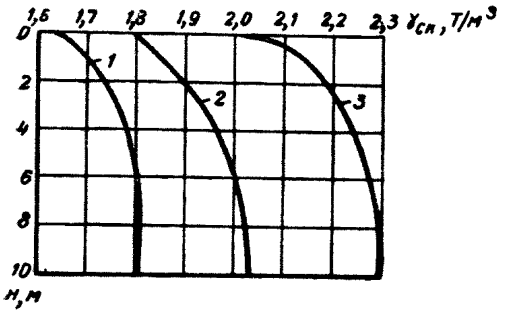


Рис. 11. Изменение по высоте хранилищ H обогатительных фабрик черной металлургии объемного веса скелета $\gamma_{ск}$ шламов

1 — губкинских; *2* — абагурских; *3* — магнитогорских

Объемный вес скелета шламов $\gamma_{ск}$ подсчитывается по формуле

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_W}{1 + \frac{W}{100}}, \tag{10}$$

где W — влажность шламов в %.

В шламах средней плотности ($\gamma_{ск} = 1{,}6 \div 1{,}65$ *т/м*³) объемный вес скелета, полученный при отборе проб режущим цилиндром оптимальных размеров (диаметр и высота 80—100 *мм*), примерно равен фактическому.

Влажность шламов W, намытых в хранилища, определяют обычно в лабораторных условиях путем высушивания образца шламов до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 100—105° С [4]. Влажность намытых в хранилища шламов колеблется в значительных пределах: на поверхности откосов дамб влажность изменяется от 3 до 15%, с глубиной она возрастает, приближаясь к величине, соответствующей полному насыщению шламов водой. Коэффициент пористости, соответствующий полному заполнению пор шламов водой, определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{W_п \gamma_0}{100 \gamma_в}, \tag{11}$$

где γ_0 — удельный вес шламов в *т/м*³;
$\gamma_в$ — удельный вес воды в *т/м*³;
$W_п$ — влажность шламов при полном насыщении их водой, в %.

Поскольку $\gamma_в = 1$, то

$$\varepsilon = \frac{W_п \gamma_0}{100}.$$

Влажность, соответствующая полному заполнению пор шламов водой, выражается формулой

$$W_п = \frac{100\varepsilon}{\gamma_0}. \tag{12}$$

Изменение влажности намытых шламов по высоте хранилищ ряда обогатительных фабрик показано на рис. 12.

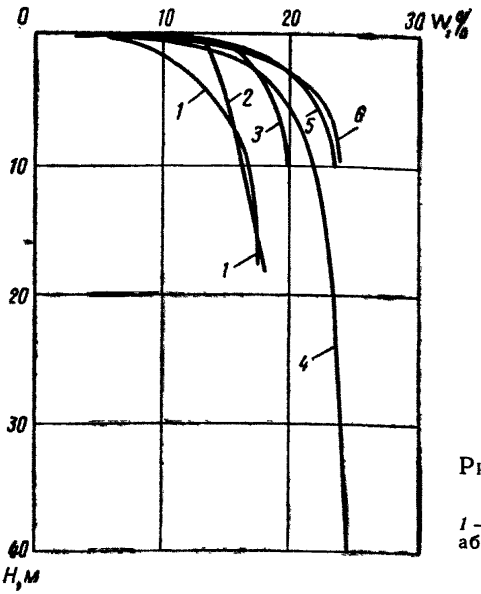


Рис. 12. Изменение по высоте хранилищ H влажности W намытых шламов

1 — миргалимсайских; *2* — кантагинских; *3* — абагурских; *4* — каджаранских; *5* — тырныаузских; *6* — алмалыкских

Насыщение шламов водой можно характеризовать степенью или коэффициентом насыщения:

$$G = \frac{W\gamma_0}{100\varepsilon\gamma_в}. \qquad (13)$$

Примерные величины коэффициента насыщения G шламов, намытых в хранилища шести обогатительных фабрик, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Физические характеристики шламов ряда обогатительных фабрик

Шламы	Глубина H в *м*	Влажность W в %	Удельный вес γ_0 в *г/см*³	Коэффициент пористости ε	Коэффициент насыщения G
Миргалимсайские	0,1 9 18	6 16,5 17,5	3,09	0,92 0,65 0,53	0,2 0,78 1
Кантагинские	0,1 9 18	13 18 18	3,11	0,92 0,71 0,555	0,44 0,79 1
Абагурские	0,1 5 10	5 18,5 19,8	3,32 3,24 3,15	0,81 0,64 0,6	0,21 0,94 1
Каджаранские	0,1 20 40	6 23,5 24,5	2,75	0,89 0,695 0,67	0,185 0,93 1
Тырныаузские	0,1 5 10	7,6 22,7 23,6	3	0,925 0,735 0,705	0,246 0,92 1
Алмалыкские	0,1 5 10	3,5 22,7 24	2,94	1,065 0,745 0,705	0,097 0,89 1

Коэффициент фильтрации

Коэффициент фильтрации $k_ф$ шламов, намытых в хранилища, устанавливают путем лабораторных определений или полевых исследований.

Лабораторные определения коэффициента фильтрации проводят на образцах шламов, намытых в кольцо фильтрационного прибора. При этом загружа-

Таблица 8

Пределы средних значений действующего диаметра d_{10}, пористости n и коэффициента фильтрации k_{10}

d_{10}, *мм*	n	k_{10} *м/сутки*
0,13—0,1	0,5—0,4	10—6
0,07—0,05	0,45—0,39	6—1,5
0,04—0,02	0,44—0,39	1,8—0,5
0,007—0,002	0,5—0,32	0,3—0,01

Таблица 9

Примерные величины действующего диаметра d_{10} и коэффициента фильтрации k_{10} в зависимости от процентного содержания частиц диаметром менее 0,1 *мм*

№ зоны (рис. 13)	Содержание частиц диаметром менее 0,1 *мм* в %	d_{10}, *мм*	k_{10}, *см/сек*
1	90—45	$<0,01$	10^{-5}—10^{-4}
2	45—22	0,01—0,045	10^{-4}—10^{-3}
3	22—15	0,045—0,07	10^{-3}—10^{-2}
4	<15	$>0,07$	10^{-2}—10^{-1}

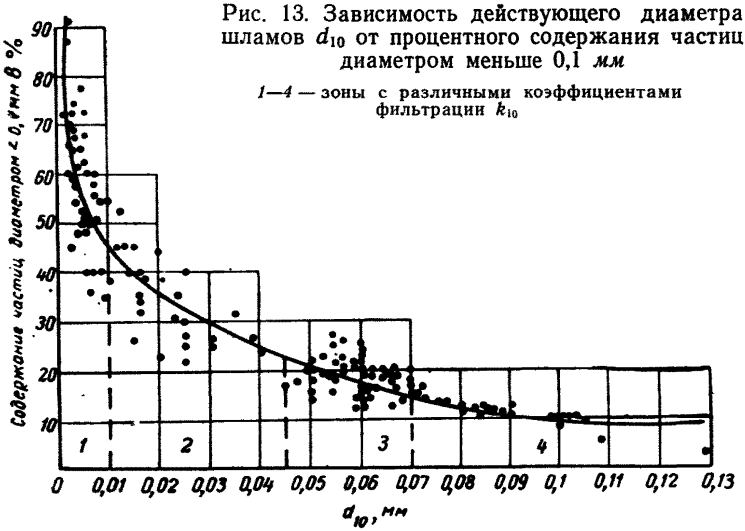


Рис. 13. Зависимость действующего диаметра шламов d_{10} от процентного содержания частиц диаметром меньше 0,1 *мм*

1—4 — зоны с различными коэффициентами фильтрации k_{10}

ют в прибор шламы с объемным весом, соответствующим объемному весу шламов в хранилище. Коэффициент фильтрации определяют при полном насыщении образца водой и при восходящем фильтрационном потоке с внешней нагрузкой на образец.

В полевых условиях (в натуре) коэффициент фильтрации определяют по данным наблюдений за уровнем воды в пьезометрах, установленных в разных местах хранилищ.

Многочисленные лабораторные исследования шламов разных видов показали, что диапазон значений коэффициентов фильтрации шламов довольно велик.

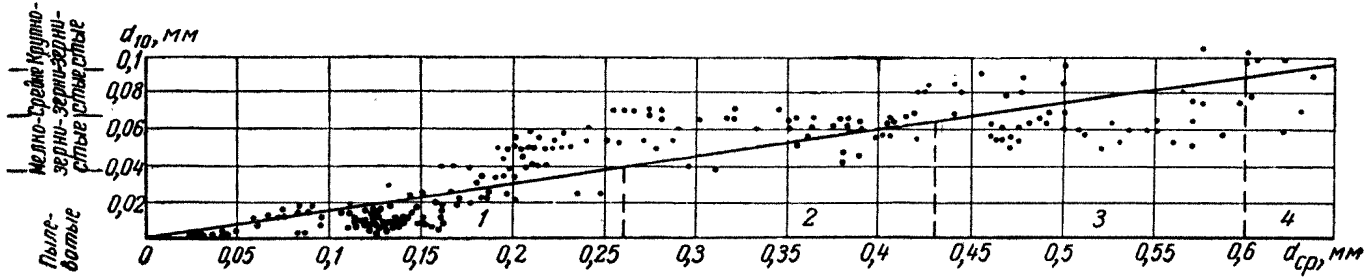


Рис. 14. Зависимость действующего диаметра шламов d_{10} и их вида от средневзвешенного диаметра $d_{ср}$ ($d_{10}=0{,}15d_{ср}$)

1—4 — зоны с различными коэффициентами фильтрации k_{10}

Таблица 10

Примерные величины средневзвешенного диаметра $d_{ср}$, действующего диаметра d_{10} и коэффициента фильтрации k_{10} шламов разных видов

№ зоны (рис. 14)	Вид шламов	$d_{ср}$, *мм*	d_{10}, *мм*	k_{10}, *см/сек*
1	Пылеватые	$<0{,}25$	$<0{,}04$	10^{-5}—10^{-3}
2	Мелкозернистые	0,25—0,43	0,04—0,065	10^{-3}—10^{-2}
3	Среднезернистые	0,43—0,6	0,065—0,09	10^{-2}—10^{-1}
4	Крупнозернистые	$>0{,}6$	$>0{,}09$	$>10^{-1}$

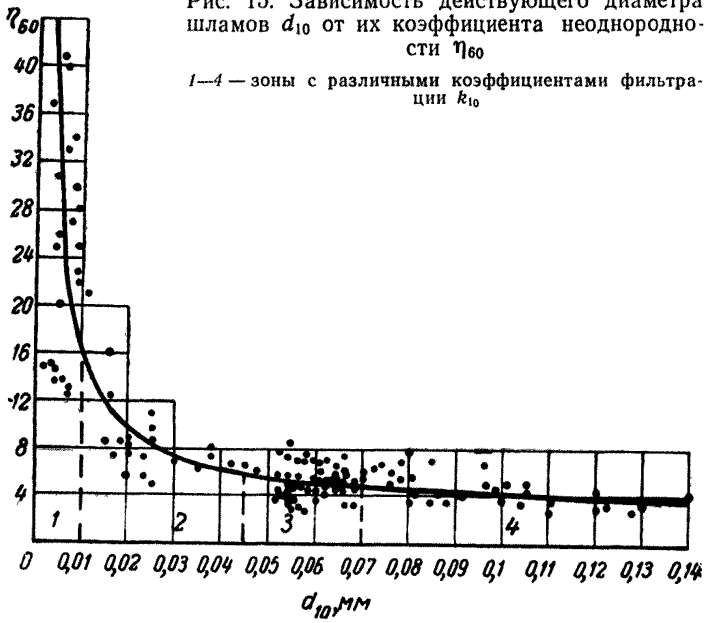


Рис. 15. Зависимость действующего диаметра шламов d_{10} от их коэффициента неоднородности η_{60}

1—4 — зоны с различными коэффициентами фильтрации k_{10}

Таблица 11

Зависимость коэффициента фильтрации шламов k_{10} и действующего диаметра d_{10} от коэффициента неоднородности η_{60}

№ зоны (рис. 15)	η_{60}	d_{10}, *мм*	k_{10}, *см/сек*
1	>18	$<0{,}01$	10^{-5}—10^{-4}
2	18—6	0,01—0,045	10^{-4}—10^{-3}
3	6—5	0,045—0,07	10^{-3}—10^{-2}
4	<5	$>0{,}07$	10^{-2}—10^{-1}

В результате исследований выявлена зависимость коэффициента фильтрации от действующего диаметра d_{10}, пористости n (табл. 8), процентного содержания частиц диаметром менее 0,1 *мм* (табл. 9), вида шламов (табл. 10), а также коэффициента неоднородности η_{60} (табл. 11).

Приведенные в табл. 8—11 данные могут быть использованы для ориентировочной оценки фильтрационных свойств шламов.

Для более точного определения коэффициента фильтрации можно рекомендовать следующие эмпирические формулы, полученные путем обработки результатов многочисленных фильтрационных испытаний шламов:
при $d_{10} \geqslant 0{,}01$ *мм*

$$k_{10} = 3150 n^3 d_{10}^{1{,}42} \text{ м/сутки}; \tag{14}$$

при $d_{10} < 0{,}01$ *мм*

$$k_{10} = 2500 n^3 d_{10}^{1{,}42} \text{ м/сутки}, \tag{15}$$

где k_{10} — коэффициент фильтрации при температуре фильтрующейся воды 10° С;
n — пористость шламов;
d_{10} — действующий диаметр шламов в *мм*.

Если необходимо знать коэффициент фильтрации k_T при любой другой температуре воды, следует воспользоваться зависимостью

$$k_T = r k_{10}, \tag{16}$$

где r — температурный коэффициент, определяемый по формуле $r = 0{,}7 + 0{,}03T$ (здесь T — температура фильтрующейся воды в °С).

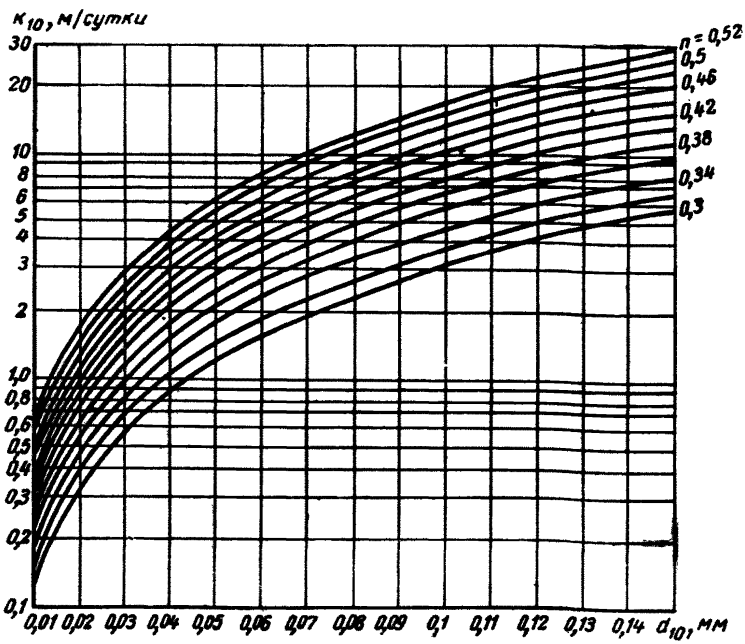


Рис. 16. Зависимость коэффициента фильтрации шламов k_{10} от их действующего диаметра d_{10} и пористости n (при $d_{10} = 0{,}01 \div 0{,}15$ *мм* и $n = 0{,}52 \div 0{,}3$)

Результаты подсчета коэффициентов фильтрации шламов k_{10} по формулам (14) и (15) приведены соответственно на рис. 16 и 17.

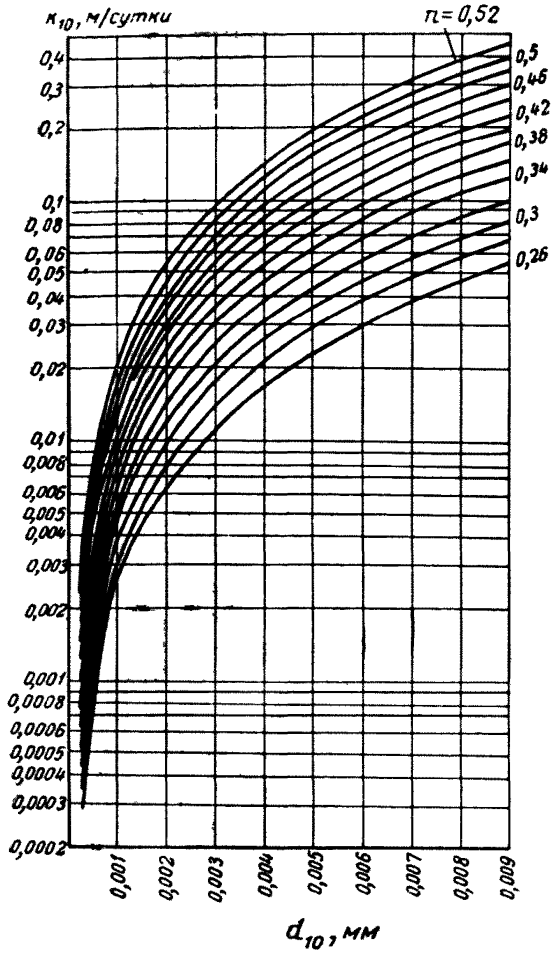


Рис. 17. Зависимость коэффициента фильтрации шламов k_{10} от их действующего диаметра d_{10} и пористости n (при d_{10}= =0,00025 ÷ 0,009 *мм* и n=0,52 ÷ 0,26)

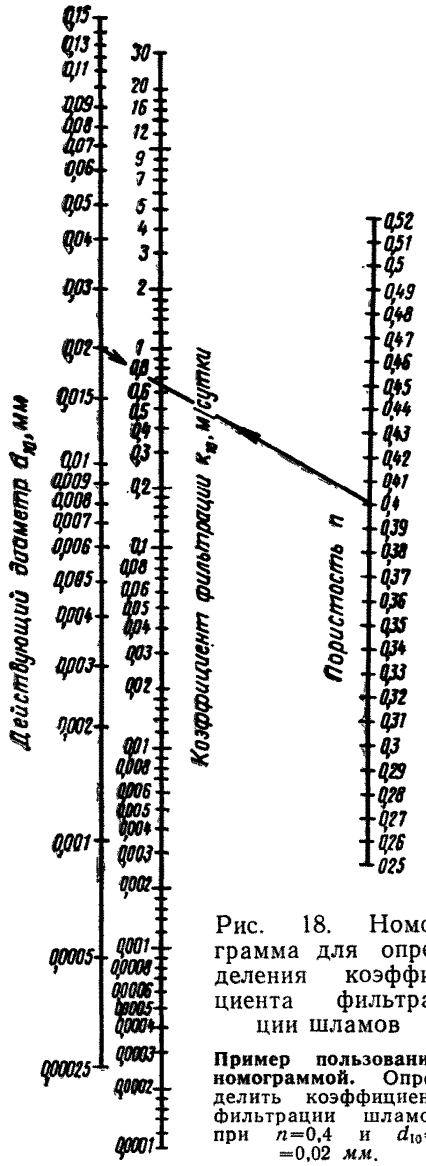


Рис. 18. Номограмма для определения коэффициента фильтрации шламов

Пример пользования номограммой. Определить коэффициент фильтрации шламов при n=0,4 и d_{10}= =0,02 *мм*.

Р е ш е н и е. Соединяем точку на шкале d_{10}, соответствующую действующему диаметру 0,02 *мм*, с точкой на шкале n, соответствующей пористости 0,4. Точка пересечения полученной линии со шкалой k_{10} даст искомую величину коэффициента фильтрации: k_{10}=0,65 *м/сутки*

По результатам исследований построена номограмма для определения коэффициента фильтрации шламов k_{10} в зависимости от пористости n и действующего диаметра d_{10} (рис. 18).

В табл. 12 приведены средние величины коэффициентов фильтрации различных видов шламов при характерных для них величинах d_{10} и при различных значениях пористости n.

Таблица 12

Средние величины коэффициентов фильтрации различных видов шламов

Вид шламов	Действующий диаметр d_{16} в *мм*	Коэффициент фильтрации k_{10} в *м/сутки* при пористости n		
		0,5—0,45	0,45—0,4	0,4—0,35
Крупнозернистые	0,15—0,09	25—8	18—6	15—4
Среднезернистые	0,089—0,065	10,5—5	8—3,5	5,5—2,5
Мелкозернистые	0,064—0,04	6,5—2,5	4,8—1,8	3,4—1,2
Пылеватые	0,039—0,002	3,2—0,03	2,3—0,022	1,7—0,017

Коэффициент внутреннего трения и сцепление

Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ или угол внутреннего трения φ намытых шламов зависит от их зернового состава и объемного веса скелета.

Коэффициент внутреннего трения шламов $\operatorname{tg}\varphi$ определяют лабораторным путем на односрезных приборах или на стабилометрах по образцам нарушенной структуры, загружая в прибор шламы с объемным весом, соответствующим объемному весу шламов в хранилище. При возможности отбора образцов ненарушенной структуры целесообразнее использовать их. Сдвиг образцов производят под водой.

Результаты опытов оформляют в виде графиков зависимости сопротивления сдвигу τ от давления p и объемного веса скелета $\gamma_{ск}$.

Коэффициент внутреннего трения шламов $\operatorname{tg}\varphi$ определяли в лабораторных условиях на образцах шламов обогатительных фабрик цветной и черной металлургии различной крупности (рис. 19). Данными, приведенными на рис. 19, можно пользоваться для определения коэффициента внутреннего трения при ориентировочных расчетах.

Для менее ответственных шламохранилищ коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ можно определять по эмпирической формуле, полученной в результате проведения большого количества экспериментов при пористости n, не превышающей 0,5:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{d_{ср}}{0{,}01 + 0{,}4d_{ср}}\left[1 - \frac{n\,(0{,}011 + 1{,}55d_{ср})}{d_{ср}}\right]. \qquad (17)$$

Сцепление c является параметром прочности глинистых грунтов и определяется на срезных приборах.

Компрессионные свойства

Компрессионные свойства (сжимаемость) определяют на образцах шламов, загружаемых в прибор одноосного сжатия (одометр) с диаметром кольца 80 *мм* при высоте образца $h=d/3$. Образцы загружают в прибор при влажности и объемном весе, соответствующих фактическим в хранилище. Нагрузку на образец дают ступенями, величины которых выбирают в зависимости от высоты шламохранилища.

Характерные компрессионные кривые $\varepsilon=f(p)$ для шламов различной крупности приведены на рис. 20—23.

При ориентировочных расчетах модуль деформации E можно определять по графику функции $a=f(p)$ при различных значениях коэффициента пористости ε_0 (рис. 24).

Зная коэффициент уплотнения a, можно определить модуль деформации по формуле

$$E = \beta\frac{1+\varepsilon_0}{a}, \qquad (18)$$

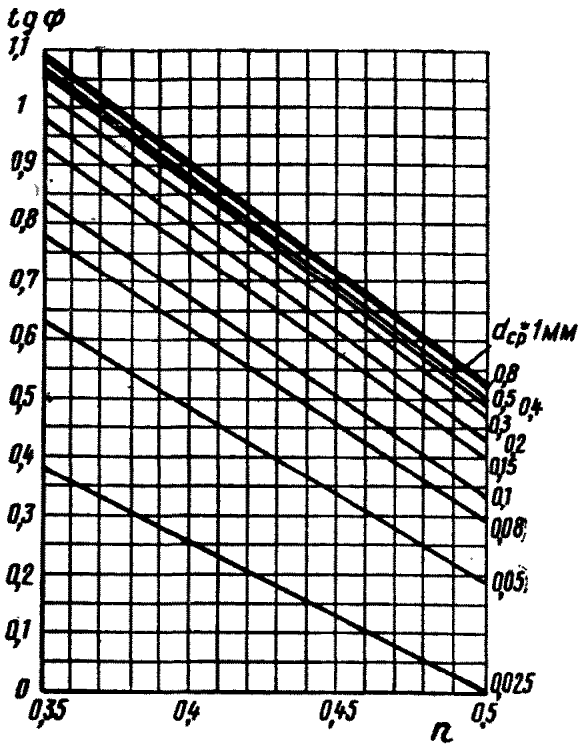


Рис. 19. Зависимость коэффициента внутреннего трения шламов tg φ от их пористости n при разных величинах $d_{ср}$

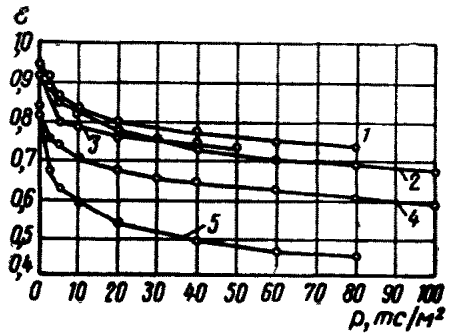


Рис. 20. Зависимость коэффициента пористости ε от давления p для пылеватых шламов

1 — лениногорских, $d_{ср}$=0,126 *мм*; *2* и *4* — каджаранских, $d_{ср}$=0,122 *мм*; *3* — тырныаузских, $d_{ср}$=0,123 *мм*; *5* — миргалимсайских, $d_{ср}$=0,11 *мм*

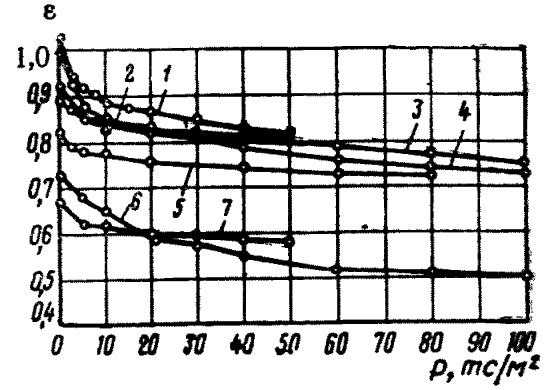


Рис. 21. Зависимость коэффициента пористости ε от давления p для пылеватых (*1*—*4*, *6* и *7*) и мелкозернистых (*5*) шламов

1 — алмалыкских, $d_{ср}$=0,16 *мм*; *2* — тырныаузских, $d_{ср}$=0,185 *мм*; *3* — каджаранских, $d_{ср}$=0,16 *мм*; *4* — то же, $d_{ср}$=0,174 *мм*; *5* — миргалимсайских, $d_{ср}$=0,162 *мм*; *6* — абагурских, $d_{ср}$=0,176 *мм*; *7* — золотушинских, $d_{ср}$=0,158 мм

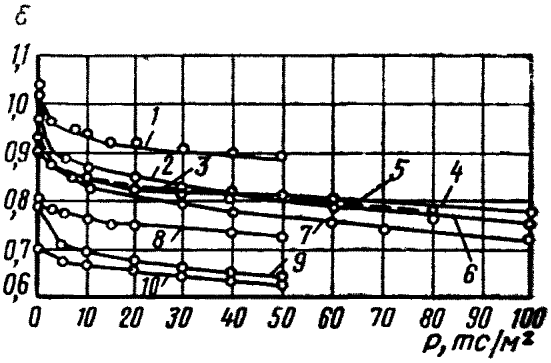


Рис. 22. Зависимость коэффициента пористости ε от давления p для мелкозернистых шламов

1 — алмалыкских, $d_{ср}$=0,229 *мм*; *2* — каджаранских, $d_{ср}$=0,2 *мм*; *3* — тырныаузских, $d_{ср}$=0,222 *мм*; *4* — магнитогорских, $d_{ср}$=0,249 *мм*; *5*—лениногорских, $d_{ср}$=0,228 *мм*; *6* и *7* — каджаранских, $d_{ср}$=0,2 *мм*; *8* — алмалыкских, $d_{ср}$=0,229 *мм*; *9* и *10* — золотушинских, $d_{ср}$=0,251 *мм*

где β — коэффициент, равный $(1-\xi)\ (1+2\xi)/(1+\xi)$ (здесь ξ — коэффициент бокового давления);

ε_0 — начальный коэффициент пористости шламов;

a — коэффициент уплотнения в $м^2/тс$.

Коэффициент бокового давления ξ в шламовых отложениях выбирают по данным лабораторных или полевых испытаний шламов с учетом их зернового состава, влажности и плотности.

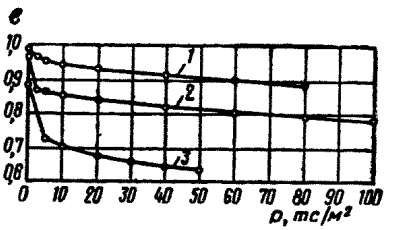


Рис. 23. Зависимость коэффициента пористости ε от давления p для среднезернистых (*1*) и мелкозернистых (*2* и *3*) шламов

1 — лениногорских, $d_{ср}$=0,337 *мм*; *2* — магнитогорских, $d_{ср}$=0,353 *мм*; *3* — золотушинских, $d_{ср}$=0,317 *мм*

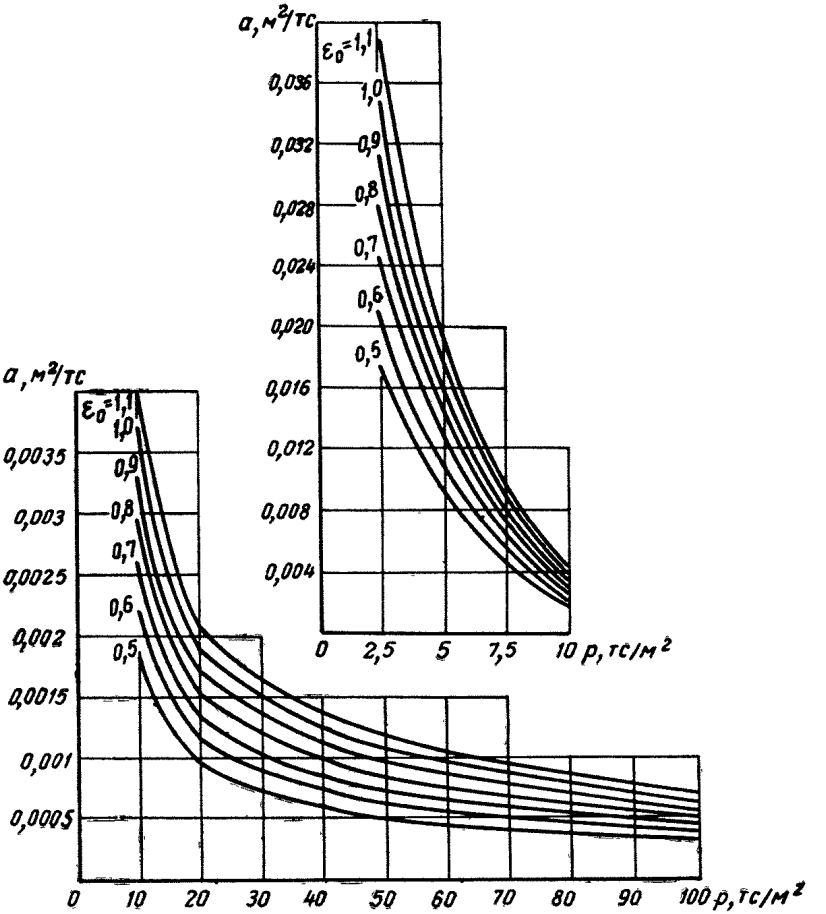


Рис. 24. Зависимость коэффициента уплотнения a от вертикального давления p при различных значениях начального коэффициента пористости ε_0

Таблица 13

Величины коэффициента бокового давления ξ разных шламов

Шламы	Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ в $т/м^3$	Коэффициент пористости ε	Коэффициент бокового давления ξ
Каджаранские	1,44—1,65	0,91—0,67	0,39—0,37
Алмалыкские	1,5—1,7	0,96—0,73	0,42—0,4
Абагурские	1,8—2	0,8—0,62	0,38—0,3
Магнитогорские	2,05—2,2	0,82—0,69	0,3 —0,29
Лениногорские	1,42—1,55	0,95—0,79	0,35—0,33
КМА-руда	1,65—1,8	0,91—0,75	0,29—0,27

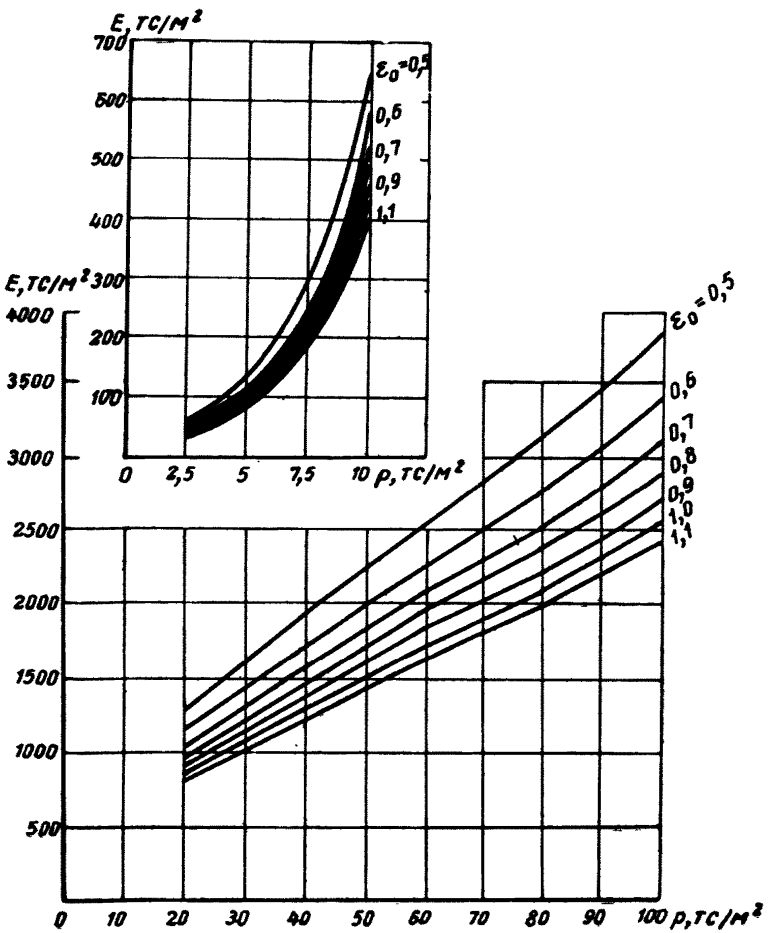


Рис. 25. Зависимость модуля деформации E от вертикального давления p при различных значениях начального коэффициента пористости ε_0

Результаты определения коэффициента бокового давления ξ сухих и водонасыщенных шламов обогатительных фабрик цветной и черной металлургии в лабораторных условиях двумя методами — выдергиванием металлической пластинки и при помощи аэростатического динамометра — приведены в табл. 13. Эти результаты могут использоваться для предварительных расчетов коллекторов и других сооружений, закладываемых в шламовых отложениях с аналогичными зерновым составом, плотностью и влажностью. При проектировании хранилищ IV и V классов коэффициент бокового давления шламов принимается по аналогии с песчаными грунтами.

Среднее значение коэффициента бокового давления для исследованных шламов при подсчетах модуля деформации составило 0,35. Коэффициент β при этом равен 0,82.

Пример определения модуля деформации шламов. Дано: $\varepsilon_6 = 0{,}6$, давление $p = 30$ *тс/м²*.

Решение. По графику на рис. 24 находим $a = 0{,}001$ *м²/тс*. Модуль деформации подсчитываем по формуле (18):

$$E = 0{,}82\,\frac{1+0{,}6}{0{,}001} = 1312\ тс/м^2.$$

Для ориентировочного определения модуля деформации E в зависимости от коэффициента уплотнения a и вертикального давления p можно пользоваться кривыми, приведенными на рис. 25.

Поровое давление

Величину порового давления $p_{пор}$ в теле шламохранилища учитывают при его проектировании исходя из теории консолидации в случаях, если коэффициент фильтрации шламов меньше 0,005 *м/сутки*. Расчет ведут следующим образом. Для различных моментов времени вычисляют безразмерные коэффициенты:

$$\lambda = \frac{365 k_ф E (1+\xi)}{(1-n_{ср})\,\gamma_в\,(1+\xi-2\xi^2)\,x_{гр}\,v}, \qquad (19)$$

где $k_ф$ — коэффициент фильтрации шламов в *м/сутки*;
E — модуль деформации шламов в *тс/м²*;
ξ — коэффициент бокового давления скелета;

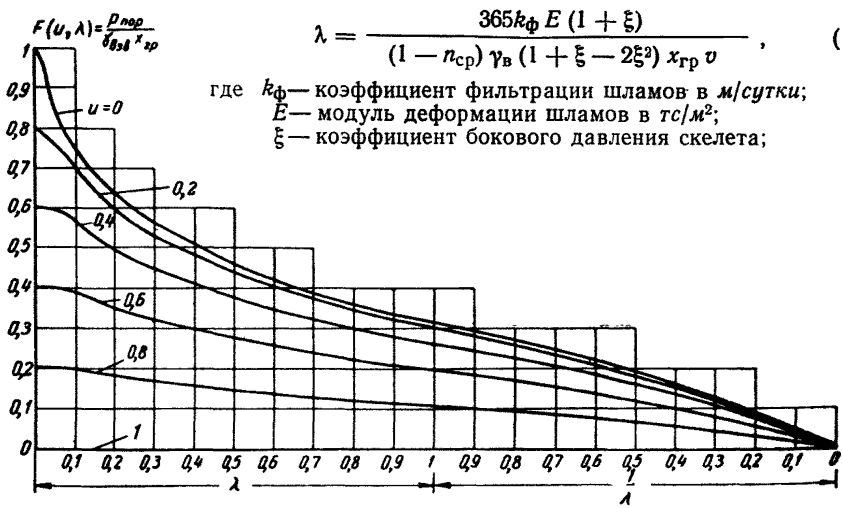


Рис. 26. Вспомогательный график для вычисления порового давления $p_{пор}$

$n_{ср}$ — среднее значение пористости шламов;
$\gamma_в$ — удельный вес воды в *т/м³*;
$x_{гр}$ — координата верхней границы намыва как функция времени в *м*;
v — скорость намыва шламов в *м/год*.

По графику на рис. 26 находят $F(u, \lambda)$ для значения $u = x/x_{гр}$ (x — координ-

ната рассматриваемой точки). Далее для соответствующих моментов времени вычисляют поровое давление:

$$p_{\text{пор}} = (\gamma_0 - \gamma_в)(1 - n_{ср})\, x_{гр}\, F(u, \lambda)\ тс/м^2, \qquad (20)$$

где γ_0 — удельный вес шламов в $т/м^3$;
$F(u, \lambda)$ — безразмерная функция порового давления.

Для послестроительного периода, когда $t > \bar{t}$, поровое давление вычисляют по формуле

$$p_{\text{пор}} = \bar{p}_{\text{пор}}\, e^{-\frac{285 k_ф (t-\bar{t}) E (1+\xi)}{(1-n_{ср})\,\gamma_в\,(1+\xi-2\xi^2) H^2}}\ тс/м^2, \qquad (21)$$

где $\bar{p}_{\text{пор}}$ — поровое давление в момент окончания намыва хранилища в $тс/м^2$;
$\bar{t}$ — время намыва хранилища в годах;
H — полная высота хранилища в $м$.

Пример определения порового давления. Дано. Высота хранилища шламов, относящихся по зерновому составу к пылеватым, равна 70 $м$. Удельный вес 2,8 $т/м^3$. Средняя пористость $n_{ср} = 0{,}411$ ($\varepsilon = 0{,}7$), коэффициент бокового давления скелета $\xi = 0{,}37$, модуль деформации $E = 1300\ тс/м^2$. Срок намыва 3,5 года.

Определить величину порового давления, если коэффициент фильтрации равен 0,022 $м/сутки$.

Решение. Скорость намыва примем постоянной, тогда $v = 70 : 3{,}5 = 20\ м/год$.

Давления будем определять в конце каждого года и в конце намыва.

Сначала подсчитаем величину λ по формуле (19) в конце первого года:

$$\lambda = \frac{365 \cdot 0{,}022 \cdot 1300\,(1 + 0{,}37)}{(1 - 0{,}411)\,1\,(1 + 0{,}37 - 2 \cdot 0{,}37^2) 20 \cdot 20} = 55{,}3 \text{ и } \frac{1}{\lambda} = 0{,}018.$$

Поскольку в конце второго года высота слоя будет в 2 раза больше, чем в конце первого года, величина λ в конце второго года будет в 2 раза меньше, чем в конце первого года, т. е.

$$\lambda = \frac{55{,}3}{2} = 27{,}65 \text{ и } \frac{1}{\lambda} = 0{,}036.$$

В конце третьего года λ будет в 3 раза меньше, чем в конце первого года, т. е.

$$\lambda = \frac{55{,}3}{3} = 18{,}4 \text{ и } \frac{1}{\lambda} = 0{,}054.$$

В конце возведения λ будет в 3,5 раза меньше, чем в конце первого года, т. е.

$$\lambda = \frac{55{,}3}{3{,}5} = 15{,}8 \text{ и } \frac{1}{\lambda} = 0{,}063.$$

Расчет проводим для $u = 0$ (место укладки коллектора), отыскивая $F(u,\lambda)$ по графику на рис. 26. Поровое давление вычисляем по формуле (20). Результаты расчета сводим в табл. 14.

Таблица 14

Расчет порового давления

Время t в годах	Коэффициент λ	$\frac{1}{\lambda}$	Функция порового давления $F(u, \lambda)$	Поровое давление $p_{\text{пор}}$ в $тс/м^2$	Гидростатическое давление $p_{\text{гидр}}$ в $тс/м^2$	$\frac{p_{\text{пор}}}{p_{\text{гидр}}} 100$, %
1	55,3	0,018	0,01	0,2	20	1
2	27,65	0,036	0,02	0,8	40	2
3	18,4	0,054	0,03	1,9	60	3,2
3,5	15,8	0,063	0,035	2,6	70	3,7

Как видно из табл. 14, в данном случае учет порового давления нецелесообразен, поскольку оно не превышает 3,7% гидростатического давления. Если принять в условиях данного примера $k_ф = 0{,}001\ м/сутки$, то получим в конце первого года $\lambda = 2{,}5$; $1/\lambda = 0{,}4$; по графику на рис. 26 $F(u, \lambda) = 0{,}16$ и $p_{\text{пор}} = 3{,}2\ тс/м^2$, или 16% от $p_{\text{гидр}}$, а в конце строительства $\lambda = 0{,}715$, откуда по графику на рис. 26 $F(u, \lambda) = 0{,}38$, $p_{\text{пор}} = 28\ тс/м^2$, или 40% $p_{\text{гидр}}$.

Коэффициент разжижения

Коэффициент разжижения $\alpha_р$ зависит как от давления p, так и от объемного веса скелета шламов $\gamma_{ск}$.

Для мелкозернистых шламов с $d_{10}=0{,}05 \div 0{,}06$ *мм* и $\eta_{60}=3 \div 4$ при динамическом воздействии с ускорением $1—1{,}1g$ *см/сек²* коэффициент разжижения $\alpha_р$ можно принимать приближенно по аналогии с мелкозернистым песчаным грунтом по графикам на рис. 27 или 28.

Для других шламов и при других динамических воздействиях коэффициент разжижения необходимо определять по экспериментальным данным, строя соответствующий график зависимости.

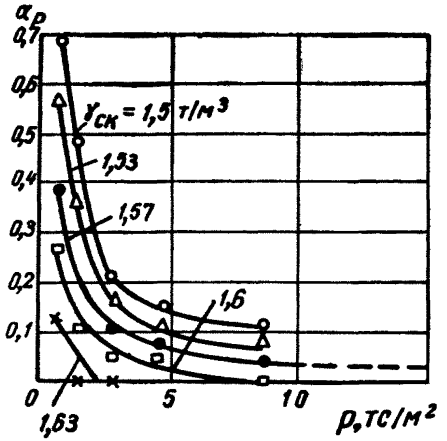


Рис. 27. Зависимость коэффициента разжижения $\alpha_р$ от давления p при различных объемных весах скелета $\gamma_{ск}$ (опыты проведены при среднем значении сейсмического коэффициента $k_с=1 \div 1{,}1$ с песком $d_{60}=0{,}17$ *мм*; $d_{10}=0{,}058$ *мм*; $\eta_{60}=2{,}93$)

44. Выбор расчетных характеристик шламов, намываемых в упорную призму ограждающих дамб, производят аналогично выбору расчетных характеристик шламов, намываемых в сами хра-

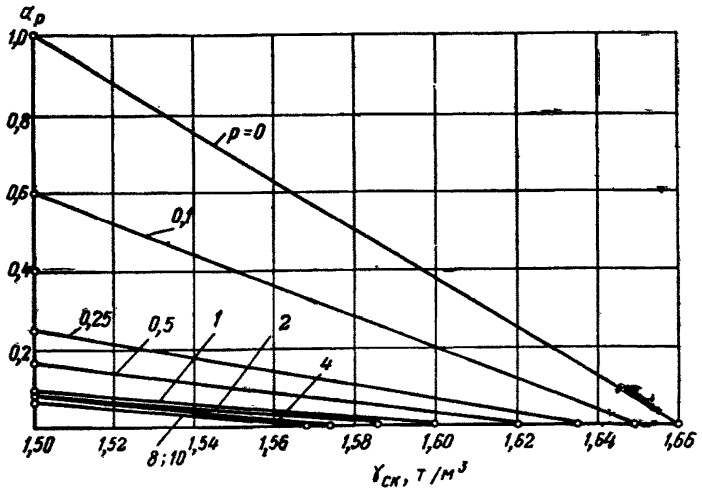


Рис. 28. Зависимость коэффициента разжижения $\alpha_р$ от объемного веса скелета $\gamma_{ск}$ при различных давлениях p в *тс/м²*

нилища, с дополнительной проверкой их для хранилищ I и II классов капитальности в лабораторных и полевых условиях. Для хранилищ III—V классов капитальности дополнительная проверка расчетных характеристик не требуется.

45. Выбор расчетных характеристик грунтов оснований сооружений и насыпных ограждающих дамб шламохранилищ производят согласно рекомендациям главы СНиП II-Б.1-62 «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования».

3. Выбор расчетных физико-механических характеристик мерзлых и оттаявших шламов

46. Для расчета дамб и плотин шламохранилищ, возводимых в суровых климатических условиях, необходимо определять следующие физико-механические характеристики мерзлых и оттаявших шламов:

1) объемный и удельный вес;
2) влажность;
3) пористость;
4) теплофизические свойства;
5) сопротивление сдвигу и силы сцепления;
6) относительную деформацию сжатия при изменении теплофизического режима шламов (замерзание и оттаивание), а также под давлением вышележащих слоев намытых шламов или же под давлением внешних сил, приложенных к мерзлым шламам.

47. При расчете и проектировании сооружений шламохранилищ, возводимых на вечномерзлых грунтах; необходимо учитывать основные физико-механические характеристики мерзлых грунтов согласно главе СНиП II-Б.6-66 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования», а также по специальным инструкциям.

48. Теплофизические свойства мерзлых и оттаявших шламов можно принять такими же, как для песков и супесей, так как по своим физическим свойствам шламы обогатительных фабрик черной и цветной металлургии сходны с ними.

Шламы в мерзлом состоянии обладают значительной прочностью, обусловленной спайкой отдельных частиц прослойками льда. Прочность шламов в мерзлом состоянии зависит от формы их частиц. Для ориентировочных расчетов форму частиц шламов принимают шаровидной.

В водонасыщенных шламах при расчете можно не учитывать находящийся в порах воздух, а в мерзлых шламах также и находящуюся в порах незамерзшую воду. В пылеватых шламах содержание частиц крупнее 0,1 *мм* составляет меньше 75% (по весу), в этом случае незамерзшая вода должна учитываться при расчете. Незамерзшая вода будет находиться в шламах при любой отрицательной температуре.

Для наглядности приведем график содержания незамерзшей воды $W_{н\text{-}з}$ в зависимости от отрицательной температуры θ в супеси и песке (рис. 29). Процентное содержание незамерзшей воды в мерзлых пылеватых и мелкозернистых шламах примерно такое же, как в супеси и песке.

Мерзлые шламы подобно мерзлым грунтам следует рассматривать как сложную систему, состоящую из четырех компонентов: 1) минеральных частиц шламов; 2) льда; 3) незамерзшей воды; 4) паров и газов.

Мерзлые шламы по их состоянию подразделяют на следующие виды:

а) *твердомерзлые* — прочно сцементированы льдом и характеризуются относительно хрупким разрушением при температуре ниже минус 0,6° С;

б) *пластичномерзлые* — тоже сцементированы льдом, но обладают вязкими

свойствами, сжимаясь под нагрузкой при температуре от 0 до минус 0,6° С; при этом степень заполнения пор льдом и незамерзшей водой $G \leqslant 0{,}8$ [см. далее формулу (30)]; при $G > 0{,}8$, а также при степени засоленности шламов более 0,25% состояние шламов определяется специальными исследованиями;

в) *сыпучемерзлые* — не сцементированы льдом вследствие малой влажности шламов, особенно крупнозернистых.

Для определения основных физико-механических характеристик мерзлых шламов необходимо знать по крайней мере четыре величины: 1) удельный вес твердых минеральных частиц γ_0; 2) объемный вес мерзлых шламов после их намыва γ; 3) общую влажность $W_{общ}$ намытых шламов по отношению к весу сухих шламов; 4) относительную льдистость $Л_0$, или же: 1) удельный вес γ_0; 2) объемный вес γ; 3) весовую влажность W по отношению к весу сухих шламов; 4) количество незамерзшей воды $W_{н.з}$ также по отношению к весу сухих шламов. Указанные величины определяются опытным путем. Зная их, можно вычислить льдистость мерзлых шламов, объем газов (для единицы объема шламов), вес твердых частиц шламов, вес незамерзшей воды и вес льда по приводимым далее зависимостям.

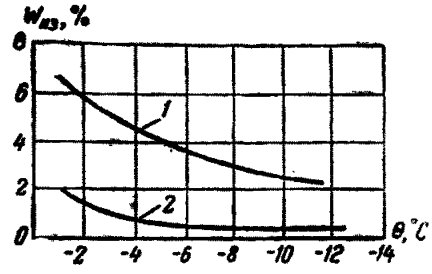


Рис. 29. Кривые содержания незамерзшей воды в мерзлых грунтах

1 — супесь; *2* — песок

Общая влажность по отношению к весу сухих шламов

$$W_{общ} = \frac{W}{1 + W}. \tag{22}$$

Весовая влажность по отношению к весу сухих шламов

$$W = \frac{W_{общ}}{1 - W_{общ}}. \tag{23}$$

Весовая льдистость, или льдонасыщенность,

$$Л_g = \frac{W - W_{н.з}}{1 + W}, \tag{24}$$

где $W_{н.з}$ — количество незамерзшей воды по отношению к весу сухих шламов.

Относительная льдистость

$$Л_0 = 1 - \frac{W_{н.з}}{W}. \tag{25}$$

Объемная льдистость

$$Л_V = \frac{\gamma}{\gamma_0} \cdot \frac{W - W_{н.з}}{1 + W}, \tag{26}$$

где γ — объемный вес шламов;
γ_0 — удельный вес шламов.

Объемный вес скелета мерзлых шламов

$$\gamma_{ск} = \gamma (1 - W_{общ}). \tag{27}$$

Объемный вес мерзлых шламов

$$\gamma = \frac{\gamma_0 \gamma_л (1 + W)(1 - n_0)}{\gamma_0 W - \gamma_л}, \tag{28}$$

где $\gamma_л$ — удельный вес льда, принимаемый равным 0,9 $т/м^3$;
n_0 — воздушная пористость мерзлых шламов.

Коэффициент пористости мерзлых шламов

$$\varepsilon_м = \frac{\gamma_0(1+W)}{\gamma} - 1. \qquad (29)$$

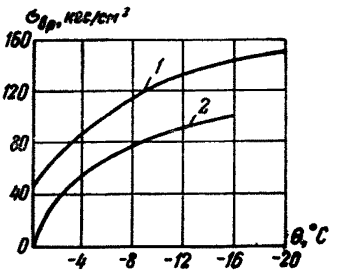


Рис. 30. Зависимость предела прочности мерзлых грунтов при сжатии $\sigma_{вр}$ от величины отрицательной температуры θ

1 — песок (W=16÷17%); *2* — супесь (W=21÷26%)

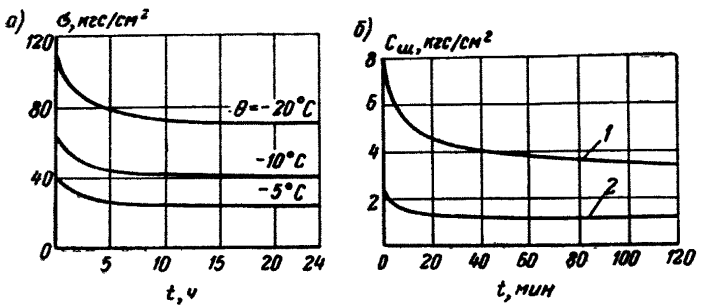


Рис. 31. Кривые длительной прочности мерзлых грунтов

а — одноосное сжатие супеси; *б* — вдавливание шарикового штампа (силы сцепления $c_ш$) при θ=—0,3° С; *1* — песок; *2* — супесь тяжелая пылеватая

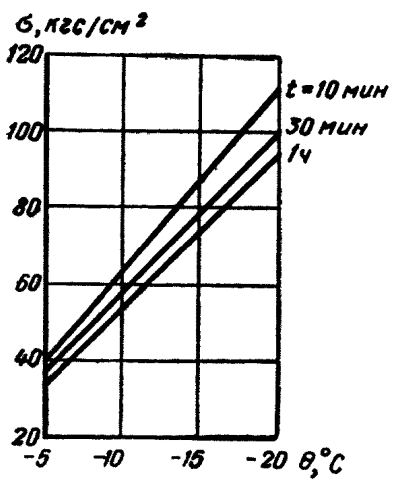


Рис. 32. Зависимость сопротивления одноосному сжатию мерзлой супеси от величины отрицательной температуры θ и времени t

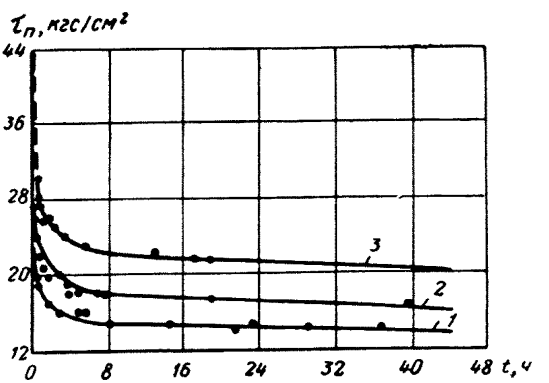


Рис. 33. Кривые длительной прочности супеси при сдвиге (температура образца θ=—10° С)

1 — при напряжении 6 *кгс/см²*; *2* — то же, 10 *кгс/см²*; *3* — то же, 20 *кгс/см²*

Степень заполнения объема пор мерзлых шламов льдом и незамерзшей водой

$$G = \frac{(1{,}1W_{\text{общ}} + W_{\text{н.з}})\,\gamma_0}{\varepsilon_{\text{м}}\,\gamma_{\text{в}}}, \qquad (30)$$

Прочность мерзлых шламов зависит от величины отрицательной температуры и времени действия нагрузки. Прочность мерзлых шламов снижается во времени в большей степени, чем прочность немерзлых шламов.

Свойство мерзлых шламов подобно мерзлым грунтам сильно снижать свою прочность при длительном воздействии нагрузки связано с присутствием в них льда.

Длительная прочность мерзлых грунтов по мере перехода от глин к пескам увеличивается. Очевидно, будет увеличиваться и длительная прочность мерзлых шламов по мере перехода их вида от пылеватого к крупнозернистому.

Для ориентировочных представлений о прочностных характеристиках мерзлых шламов (поскольку экспериментальных данных пока не имеется) можно воспользоваться опубликованными данными для песчаных и супесчаных мерзлых грунтов, так как большинство шламов по зерновому составу и физическим свойствам сходно с этими грунтами.

На рис. 30—33 приведены графические зависимости прочностных характеристик песчаных и супесчаных грунтов от величины отрицательной температуры и времени действия нагрузки [1].

Для точных расчетов прочности намытых, а потом замерзших шламов необходимо проводить специальные исследования зависимости сил сцепления от величины отрицательной температуры шламов и зависимости сопротивления сжатию от величины отрицательной температуры и времени.

На практике иногда необходимо определять глубину сезонного промерзания и оттаивания шламов, намытых в плотины или дамбы. Для этого следует пользоваться указаниями, приведенными в главе СНиП II-Б.6-66 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования».

При ориентировочных расчетах можно пользоваться теплофизическими характеристиками для мерзлых песков и супесей.

Для уточнения расчетных теплофизических характеристик в институте ВОДГЕО намечено проведение специальных исследований.

4. Выбор класса капитальности шламохранилища

49. Класс капитальности шламохранилища и его сооружений рекомендуется выбирать по следующим признакам: 1) производи-

Таблица 15

Классы капитальности сооружений шламохранилищ

Выход шламов в *т/сутки*	Степень ответственности сооружений	Класс капитальности сооружений
Более 10 000	Особо ответственные, авария которых сопряжена с катастрофическими последствиями для населенных пунктов и предприятий	I
» 10 000	Особо ответственные, авария которых не сопряжена с катастрофическими последствиями для населенных пунктов и предприятий	II
10 000—5 000	Малоответственные, авария которых не может вызвать серьезных последствий для населенных пунктов и предприятий	III
5000—1000	Шламохранилища в незастроенных местностях	IV
Менее 1000	Временные сооружения	V

тельность обогатительной фабрики (выход шламов); 2) степень ответственности сооружений; 3) высота намыва шламохранилища; 4) условия эксплуатации сооружений (шламохранилища, срок эксплуатации которых превышает 5 лет, относятся к постоянным сооружениям, а при сроке эксплуатации менее 5 лет — к временным сооружениям). При выборе класса капитальности можно руководствоваться табл. 15.

50. В связи с разнообразием условий эксплуатации класс капитальности отдельных сооружений шламохранилища можно назначать отличным от класса капитальности шламохранилища с учетом следующих обстоятельств:

1) условия работы шламохранилища и его сооружений: а) величина и интенсивность поднятия напора на ограждающие дамбы; б) характеристика заполнения емкости перед дамбой осветленной водой или пульпой; в) содержание в воде взвесей и условия кольматации ложа хранилища и подводной поверхности верхового откоса ограждающих дамб; г) площадь зеркала, глубина воды в прудке-отстойнике и воздействие ветровой волны на ограждающие дамбы;

2) условия отвода профильтровавшейся из шламохранилища воды и равномерность осадок сооружений.

51. Повышение на один класс капитальности шламохранилища или отдельного его сооружения допускается в следующих случаях:

1) если авария особо ответственных сооружений шламохранилища повлечет за собой катастрофические последствия для населенных пунктов и крупных предприятий;

2) если шламохранилище используется для оборотного водоснабжения ответственного предприятия;

3) если при аварии сооружения шламохранилища нельзя будет быстро восстановить оборотное водоснабжение или восполнить недостаток воды из другого источника, предотвратив простой важного в народном хозяйстве предприятия;

4) если мероприятия, необходимые для восстановления хозяйства, разрушаемого при аварии сооружения шламохранилища, сложны, требуют значительного времени для осуществления и дороги;

5) если продукция разрушаемого при аварии хозяйства особо важна для народного хозяйства независимо от ее стоимости;

6) если напор осветленной воды на постоянную ограждающую дамбу составляет 25 *м* и более.

52. Понижение на один класс капитальности шламохранилища или отдельного его сооружения допускается в следующих случаях:

1) если ниже шламохранилища нет населенных мест, важных промышленных предприятий и т. д., которые могли бы пострадать в результате аварии сооружений шламохранилища;

2) при наличии или возможности создания резервов: водоснабжения, емкости шламохранилища, высоты дамб;

3) при устройстве дополнительных емкостей, которые в случае аварии сооружений шламохранилища могут быть использованы для обеспечения бесперебойной работы основного предприятия, обслуживаемого шламохранилищем и обогатительной фабрикой;

4) если остановка предприятия в результате аварии сооружений шламохранилища не повлечет за собой значительных материальных потерь или потерь продукции, имеющей особо важное значение для народного хозяйства.

5. Выбор места расположения площадки для шламохранилища

53. При выборе места расположения площадки для шламохранилища соблюдают следующие правила:

1) площадку для шламохранилища намечают на месте при выборе площадки для всего комплекса горнорудного предприятия и согласуют ее выбор с органами Горного надзора, Госсанинспекцией, колхозами и местными Советами. Под шламохранилища, как правило, используют бросовые или малоценные земли (например, болота), а также местные понижения рельефа (овраги и т. п.);

2) при сбросе осветленной, но не очищенной воды и фильтрации ее в водоемы и реки, в которых водится рыба, необходимо согласовать выбор площадки с Рыбнадзором;

3) по отношению к населенному пункту шламохранилище следует располагать с подветренной стороны, руководствуясь направлением господствующих ветров; необходимо избегать расположения шламохранилища в непосредственной близости от населенных пунктов; в случае необходимости расположения шламохранилища вблизи населенного пункта нужно произвести проверку дамб шламохранилища на возможность их прорыва (волну прорыва);

4) залегание в основании шламохранилища глинистых слабофильтрующих грунтов благоприятно в противофильтрационном отношении и особенно ценно, если шламы содержат вредные компоненты.

6. Расчет отвала и прудка-отстойника

54. Объем шламохранилища слагается из объемов складируемых шламов и осветлительного прудка-отстойника.

Объем хранилища должен быть достаточен для складирования

шламов в течение срока, заданного проектом, поэтому его определяют по следующей формуле:

$$V = \frac{Qn_э}{K_{зап}\gamma_{ск}} \text{ м}^3, \tag{31}$$

где Q — выход шламов за год в $т$;

$n_э$ — число лет эксплуатации предприятия;

$K_{зап}$ — коэффициент заполнения шламохранилища, принимаемый равным от 0,75 до 0,85;

$\gamma_{ск}$ — объемный вес шламов в отвале в $т/м^3$.

55. Прудок-отстойник шламохранилища предназначен для осветления, а иногда и очистки промышленных стоков (прием и аккумуляция в шламохранилище сезонных паводковых расходов, как правило, не допускается).

Объем и размеры прудка должны удовлетворять требованиям осветления и очистки промышленных стоков, подаваемых в него. Степень осветления при организации оборотного водоснабжения задается технологами, проектирующими обогатительную фабрику, а в случае сброса стоков в водоемы общественного пользования устанавливается в соответствии с указаниями главы СНиП II-Г.6-62 «Канализация. Нормы проектирования».

Для расчета осветления в прудке-отстойнике воды от оставшихся в ней мелких частиц шламов необходимо иметь данные по зерновому составу шламов, их удельному весу и расходу пульпы в $м^3/сек$.

В прудке должны выпасть шламы с расчетным действующим диаметром d_{10}. Это условие определяет длину прудка-отстойника, удовлетворяющую требованию необходимого осветления воды [9]. В соответствии с этим требованием скорость движения воды в прудке устанавливается по формуле

$$v_{пр} = \frac{c'}{h_{пр}} w_{10}, \tag{32}$$

где $v_{пр}$ — наибольшая допустимая средняя скорость в прудке-отстойнике в $м/сек$;

c' — половина ширины активной зоны прудка в $м$;

$h_{пр}$ — глубина прудка в $м$ (глубину прудка при расчете можно принимать равной 0,3—0,5 $м$ для мелкозернистых шламов и до 1 $м$ для крупнозернистых шламов);

w_{10} — гидравлическая крупность частиц шламов с действующим диаметром d_{10}.

Время t, потребное для обмена воды в прудке, определяют по формуле

$$t = \frac{h_{пр}}{w_{60}}, \tag{33}$$

где w_{60} — гидравлическая крупность частиц шламов с контролирующим диаметром d_{60}, идущих в отмыв.

Требование необходимого осветления воды может быть выполнено, если объем прудка W и приток в него $Q_{пр}$ соответствуют следующим уравнениям:

$$W = v_{пр} h_{пр} 2c' t \text{ м}^3; \tag{34}$$

$$Q_{пр} = v_{пр} h_{пр} 2c' \text{ м}^3/сек, \tag{35}$$

где $2c'$ — ширина активной зоны прудка в $м$.

Расход воды в прудке зависит от состава и крупности намываемых шламов и определяется по уравнению

$$Q_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{в}}}{f}, \tag{36}$$

где $Q_{\text{в}}$ — расход воды, содержащейся в пульпе, которую подают в гидроотвал;
f — коэффициент, зависящий от крупности шламов, из которых формируется пляж (для крупнозернистых шламов $f=2$, для среднезернистых $f=1{,}5$, для мелкозернистых $f=1{,}25$).

Расход пульпы составляет:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{в}} \ м^3/ч, \tag{37}$$

где $Q_{\text{т}}$ и $Q_{\text{в}}$ — соответственно расходы твердой и жидкой фаз в пульпе.

Расход твердой фазы в пульпе можно выразить через расход воды и объемную консистенцию пульпы:

$$Q_{\text{т}} = K_{\text{об}} Q_{\text{в}}, \tag{38}$$

где

$$K_{\text{об}} = \frac{V_{\text{т}}}{V_{\text{в}}} = \frac{\text{объем твердой фазы}}{\text{объем воды}}.$$

Тогда расход пульпы может быть выражен уравнением

$$Q_{\text{п}} = K_{\text{об}} Q_{\text{в}} + Q_{\text{в}} = Q_{\text{в}} (K_{\text{об}} + 1). \tag{39}$$

Ориентировочно длину прудка L можно определить из уравнения, выражающего равенство геометрического объема прудка и объема воды в нем:

$$L 2c' h_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}\, t}{f (K_{\text{об}} + 1)}, \tag{40}$$

откуда

$$L = \frac{Q_{\text{пр}}\, t}{f (K_{\text{об}} + 1)\, 2c' h_{\text{пр}}}. \tag{41}$$

7. Выбор способа замыва шламохранилища

56. Различают следующие способы складирования шламов в отвал:

1) замыв от ограждающей дамбы или плотины к вершине шламохранилища;

2) замыв от вершины шламохранилища к ограждающей дамбе или плотине;

3) кольцевой замыв — от ограждающих дамб к центру шламохранилища;

4) комбинированный замыв — от дамбы к вершине шламохранилища и от вершины шламохранилища к дамбе.

Для более полного использования шламов в качестве материала для ограждающих дамб и плотин шламохранилищ, а также для придания большей устойчивости упорной призме при тонкоизмельченных шламах рекомендуется применять первый и третий способы замыва: от ограждающей дамбы и кольцевой.

Способ замыва от ограждающей дамбы или плотины к вершине шламохранилища

Этот способ применяют в условиях овражных шламохранилищ (рис. 34). Он выгоден при рассредоточенной подаче пульпы и отличается следующими достоинствами:

1) использование шламов для возведения дамб вторичного обвалования;

2) возможность надлежащего осветления пульпы и аккумуляции паводковых расходов естественного стока;

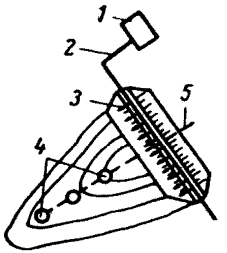


Рис. 34. Схема замыва овражного шламохранилища от дамбы к вершине

1 — обогатительная фабрика; *2* — магистральный пульповод; *3* — распределительный пульповод; *4* — водосбросные колодцы; *5* — водосбросная труба

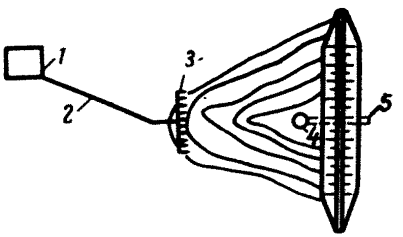


Рис. 35. Схема замыва овражного шламохранилища от вершины к дамбе

1 — обогатительная фабрика; *2* — магистральный пульповод; *3* — распределительный пульповод; *4* — водосбросный колодец; *5* — водосбросная труба

3) ввод в эксплуатацию дамб первичного обвалования, возведенных из дренирующего материала, без устройства экрана, дренажа, без механического уплотнения, а в зимних условиях — с использованием мерзлого грунта.

Способ замыва от вершины шламохранилища к дамбе или плотине

Этот способ (рис. 35) прост в эксплуатации и позволяет полностью использовать объем хранилища. Его с успехом применяют при безэстакадной подаче пульпы с обогатительных фабрик большой производительности и при высоких темпах замыва. Без дополнительных организационных мероприятий этот способ можно применять в течение всего периода эксплуатации плотинного шламохранилища. При большом объеме овражного шламохранилища создаются благоприятные условия для осветления пульпы, для аккумуляции естественного стока и для последующей разработки шламов в целях использования их в промышленности.

Основной недостаток этого способа заключается в трудности использования шламов для возведения ограждающих дамб из-за значительной удаленности дамб от отвала.

Кольцевой способ замыва

Этот способ, характеризующийся простотой и удобством в эксплуатации, успешно применяют в условиях косогорных и равнинных шламохранилищ (рис. 36 и 37).

Пульпа от магистрального пульповода подается в кольцо распределительного пульповода, смонтированного или непосредственно на гребне ограждающих дамб и по склону косогора, или на эстакадах малой высоты. В распределительном пульповоде устроены выпуски, оборудованные трубами или лотками.

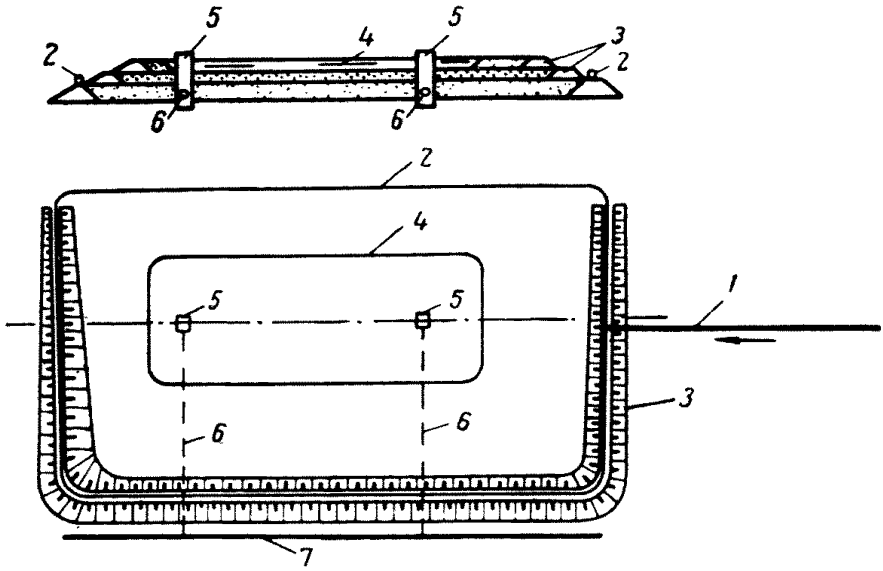


Рис. 36. Схема замыва косогорного шламохранилища кольцевым способом

1 — магистральный пульповод; *2* — распределительный пульповод; *3* — ограждающая дамба; *4* — прудок-отстойник; *5* — водосбросные колодцы; *6* — водосбросные трубы; *7* — коллектор

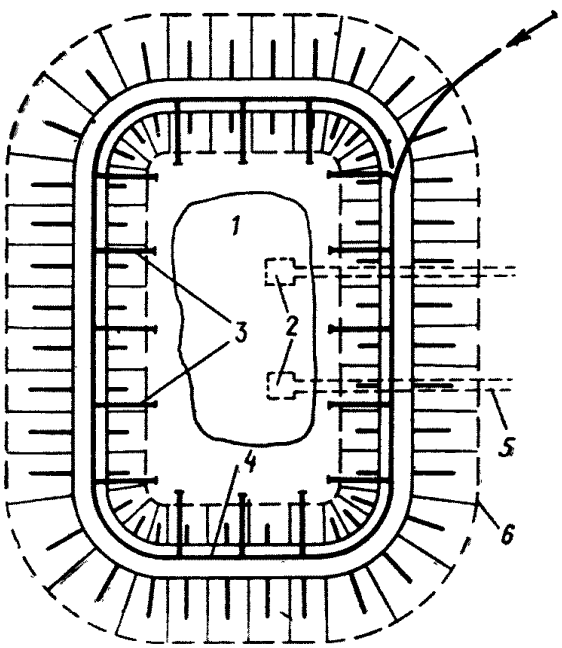


Рис. 37. Схема замыва равнинного шламохранилища кольцевым способом

1 — прудок-отстойник; *2* — водосбросные колодцы; *3* — пульповыпуски; *4* — распределительный пульповод; *5* — водосбросная труба; *6* — дамба

Расстояние от одного выпуска до другого можно принимать равным 25—30 *м*. При постепенном возведении шламохранилища трубы или лотки укладывают по откосу ограждающих дамб от выпусков до уреза воды в прудке. Через отверстия в трубе или лотке крупные фракции выпадают на верховом откосе, создавая пляж, а мелкие фракции сбрасываются в прудок-отстойник через открытый торец трубы или лотка. После того как отвал поднимется к гребню дамбы первичного обвалования, из намытых шламов отсыпают дамбы вторичного обвалования, последовательно замывая ярусы шламохранилища перед ними.

В связи с подачей пульпы на верховой откос профиль ограждающей дамбы усиливается и ее противофильтрационные свойства улучшаются.

Недостаток кольцевого способа заключается в значительной длине распределительных пульповодов и относительно большом объеме дамб на единицу складируемых шламов.

Комбинированный способ замыва

Этот способ (рис. 38) успешно применяют при большой длине овражного шламохранилища. Сочетая достоинства первых двух способов, он обеспечивает высокую интенсивность замыва, полное использование объема шламохранилища и т. д.

Для примера на рис. 39 приведена схема узла гидротехнических сооружений шламохранилища комбината КМА-руда, расположенного в балке Грачев Лог. Пульпа сбрасывается в хранилище сбоку, параллельно продольной оси плотины.

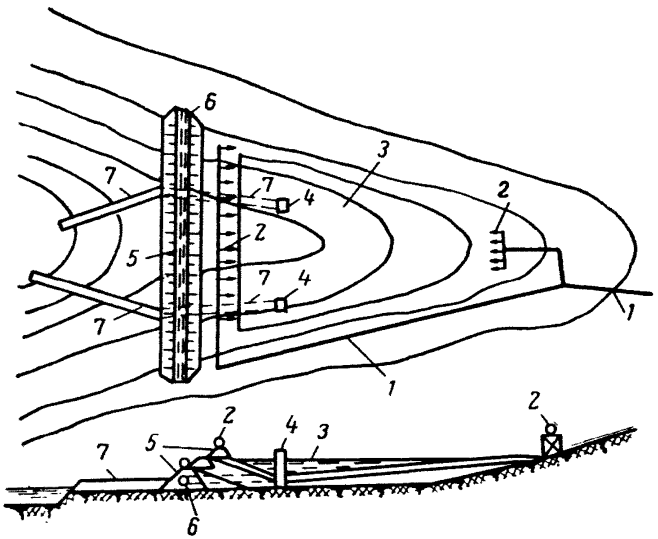


Рис. 38. Схема замыва руслового шламохранилища комбинированным способом

1 — магистральный пульповод; *2* — распределительный пульповод; *3* — прудок-отстойник; *4* — водосбросные колодцы; *5* — ограждающая дамба; *6* — коллектор; *7* — водоотводящая канава

57. Заполнение шламохранилища по высоте может быть одноярусным и поярусным.

В один ярус заполняют плотинные шламохранилища. Для поярусного заполнения шламохранилища используют дамбы первичного обвалования и последовательно возводимые в процессе эксплуатации шламохранилища дамбы вторичного обвалования.

При этом способе заполнения шламохранилища на единицу шламов, намываемых в отвал, приходится сравнительно небольшой объем ограждающих дамб, что позволяет использовать шламы для возведения дамб вторичного обвалования.

58. Пульпу в шламохранилище подают следующими способами: 1) эстакадным; 2) зенитным; 3) безэстакадным. Основные данные по способам подачи пульпы приведены в главе V.

59. Шламы намывают в хранилище двумя способами: 1) без раскладки по фракциям; 2) с раскладкой по фракциям.

При сосредоточенном выпуске пульпы и при подаче ее под уровень воды в прудке намыв шламов в хранилище производят без раскладки их по фракциям.

Для раскладки шламов по фракциям пульпу нужно подавать рассредоточенным способом, а также применять специальные мероприятия (см. главу V).

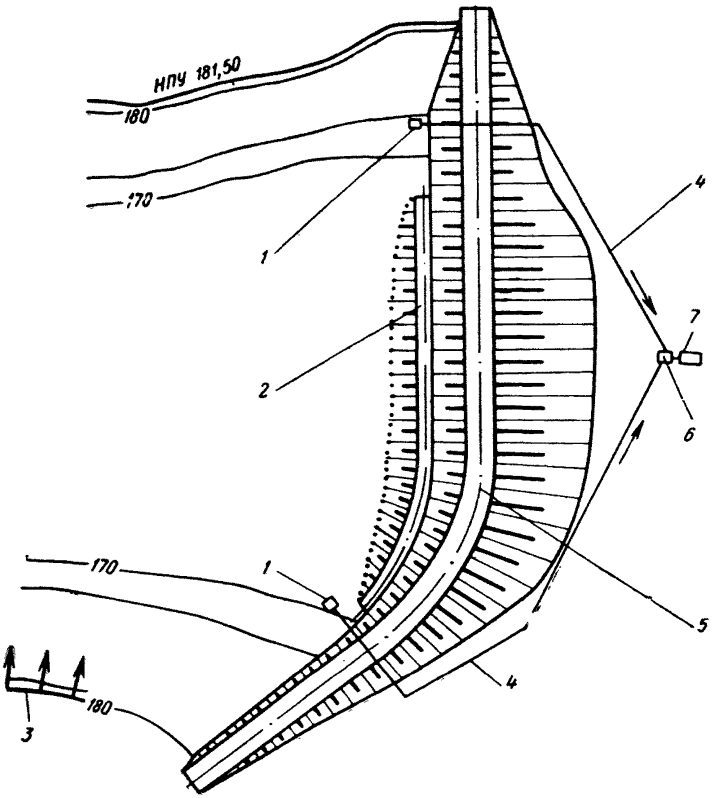


Рис. 39. Схема гидротехнических сооружений шламохранилища в балке Грачев Лог

1 — шахтные водосбросы; *2* — ось плотины первой очереди; *3* — подводящий пульповод; *4* — право- и левобережный водоспуски осветленной воды; *5* — ось плотины второй очереди; *6* — водобойный колодец; *7* — насосная станция для перекачки осветленной воды

60. При выборе способов замыва шламохранилища, подачи пульпы и намыва шламов рекомендуется учитывать следующие факторы:

1) масштаб и темпы подачи пульпы и укладки шламов;

2) организацию и экономику, полноту механизации и требования к механизмам, материалам и рабочей силе;

3) условия возведения и эксплуатации ограждающих дамб

(возможность применения выбранного способа на весь период эксплуатации шламохранилища);

4) полное использование емкости шламохранилища;

5) компактность складирования, возможность раскладки и сохранности шламов в целях дальнейшего их использования для возведения дамб, а при наличии в них ценных компонентов — в промышленности.

8. Защита территории, прилегающей к шламохранилищу, от подтопления и заболачивания

61. При проектировании и строительстве шламохранилищ любого класса капитальности должно быть уделено внимание защите территории, прилегающей к шламохранилищу, от подтопления и заболачивания с учетом прогнозируемых гидрогеологических условий.

62. При осуществлении инженерной защиты территории, прилегающей к шламохранилищу, от подтопления и заболачивания учитывают народохозяйственное значение объектов, расположенных на этой территории.

Инженерной защите от подтопления и заболачивания подлежат территории промышленных, сельскохозяйственных объектов и населенных пунктов. Также должна быть предусмотрена защита подземных вод от загрязнения флотореагентами. При этом следует учитывать экономическую эффективность защиты, т. е. определять влияние подтопления и загрязнения подземных вод на хозяйственное освоение территории.

Строительные работы по инженерной защите выполняют в процессе возведения шламохранилища специализированные организации при строгом техническом надзоре со стороны проектной организации. Контроль за эксплуатацией защитных сооружений проводят специальные организации.

63. Для наблюдения за зеркалом подземных вод на территории, прилегающей к шламохранилищу, используют так называемые режимные скважины, составляя хронологические графики колебаний уровня и температуры воды, гидрогеологические разрезы по створам режимных скважин и карты гидроизогипс.

Количество режимных скважин, схему их расположения и расстояние между ними устанавливают в зависимости от местных условий. Обычно скважины располагают в створах, перпендикулярных ограждающей дамбе, на расстоянии 100—200 *м* друг от друга. Расстояние между створами принимают равным 150—200 *м*. Длину створов ограничивают 3000 *м*.

64. Для определения степени загрязнения подземных вод флотореагентами из режимных скважин отбирают пробы воды до начала заполнения хранилища шламами и затем периодически в процессе его заполнения. По данным химического анализа этих проб судят о пригодности подземных вод к употреблению.

Глава IV

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ШЛАМОХРАНИЛИЩ

1. Выбор типа ограждающих дамб

65. При проектировании плотинных шламохранилищ следует руководствоваться указаниями следующих глав СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования» и II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования».

Дамбы первичного обвалования шламохранилищ постепенного возведения рекомендуется устраивать из местных грунтов (забирая их в основном в полезных выемках — вскрышах карьеров рудных месторождений, выемках котлованов), из шламов сухого обогащения и других отходов производства.

Дамбы вторичного обвалования возводят в процессе эксплуатации шламохранилища из намытых в него шламов. Их высота должна быть не более 3 *м* при двустороннем намыве тела призм дамб первичного обвалования с отложением тонкозернистых частиц в ядро (при этом должны соблюдаться технология намыва, размеры заданных пляжей и толщины слоев, намываемых с каждой стороны) и не более 1 *м* при одностороннем намыве дамб первичного обвалования.

Ограждающие дамбы шламохранилищ любых типов можно возводить как насыпным, так и намывным способом (плотины и ограждающие дамбы, намываемые из шламов, возводят по специальной инструкции). Ограждающие дамбы или плотины овражных шламохранилищ можно возводить взрывным способом в случаях, если это экономически выгодно. Особенно целесообразен взрывной способ при расположении шламохранилищ в оврагах и руслах рек с отвесными и крутыми берегами.

По конструкции различают однородные и неоднородные дамбы.

Однородные дамбы первичного обвалования шламохранилищ постепенного возведения (рис. 40) можно сооружать как из песчаных, так и из глинистых грунтов. При возведении дамб первичного обвалования из глинистых грунтов следует устраивать дренаж, обеспечивающий расположение кривой депрессии внутри тела гидроотвала.

При возведении дамбы или плотины из скальных или гравийно-галечниковых грунтов принимают неоднородную ее конструкцию:

а) смешанного типа с отсыпкой дренирующих материалов на полную высоту дамбы и устройством экрана из глинистых или суглинистых грунтов (рис. 41);

б) экранированного типа, если запасы имеющихся глинистых и суглинистых грунтов ограничены, а для возведения тела дамбы можно использовать каменистые и обломочные грунты (рис. 42).

66. На основании, сложенном грунтами слабыми (торфянистыми, илистыми, переувлажненными глинистыми), просадочными

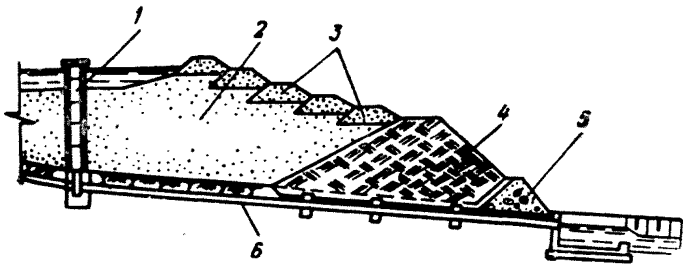


Рис. 40. Ограждающие дамбы шламохранилища

1 — шахтный водосброс; *2* — гидроотвал шламов; *3* — дамбы вторичного обвалования; *4* — однородная дамба первичного обвалования; *5* — упорная призма; *6* — коллектор

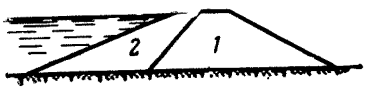


Рис. 41. Ограждающая дамба первичного обвалования смешанного типа на водонепроницаемом основании

1 — тело дамбы, отсыпанное из дренирующего материала; *2* — экран из глинистого грунта

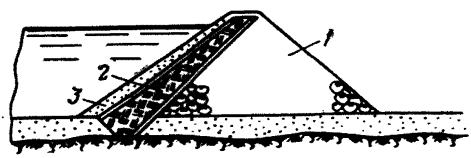


Рис. 42. Дамба экранированного типа на водопроницаемом основании

1 — тело дамбы; *2* — экран; *3* — защитный слой

или находящимися в мерзлом состоянии, у которых могут наблюдаться неравномерные и значительные по величине остаточные деформации, для шламохранилищ постепенного возведения рекомендуется применять дамбы первичного обвалования, отсыпанные без механического уплотнения или возведенные взрывным способом.

2. Дренажные устройства

67. При создании шламохранилищ дренажи устраивают как в ограждающих дамбах (для повышения устойчивости откосов при фильтрационных деформациях грунтов и шламов, а также при их промерзании), так и на прилегающей к шламохранилищу территории (для предохранения ее от заболачивания).

Типы и конструкции дренажей в плотинных шламохранилищах аналогичны применяемым в земляных плотинах и их проектиро-

вание осуществляют согласно главе СНиП II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования» с учетом класса капитальности сооружения.

Типы и конструкции дренажей в дамбах первичного обвалования шламохранилищ постепенного возведения определяются характером грунтов этих дамб, а также необходимостью использования дренажных вод для оборотного водоснабжения.

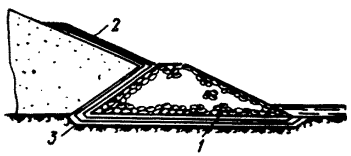


Рис. 43. Дренажная призма с наслонным дренажем

1 — каменная наброска; *2* — наслонный дренаж; *3* — трехслойный обратный фильтр

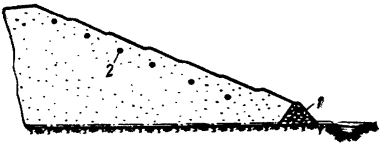


Рис. 44. Дренажная призма с трубчатым дренажем

1 — дренажная призма; *2* — дренаж из асбестоцементных труб диаметром 300 *мм* (расстояние между трубами по высоте 10 *м*)

68. При устройстве дамб первичного обвалования из каменной наброски или крупнозернистых песков дренажем служит само их тело (дренажная призма). Для предупреждения выноса шламов в дренажную призму необходимо устраивать обратный фильтр (рис. 43). При сильноводопроницаемом основании (например, скальные трещиноватые грунты) и неглубоком залегании уровня грунтовых вод за низовым откосом дамбы необходимо устраивать водосборную канаву или дренажный коллектор. В случае, если дренажные воды используют для оборотного водоснабжения, дренажный коллектор устраивают и в маловодопроницаемых основаниях.

Обратные фильтры дренажных устройств выполняют из слоев постепенно укрупняющегося материала. Толщина слоев может составлять от 10 до 30 *см*, а при отсыпке в воду — доходить до 2—3 *м*. При проектировании обратных фильтров рекомендуется руководствоваться следующими главами СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования» и II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования».

При большой высоте дамбы первичного обвалования из каменной наброски она достаточно эффективно работает как дренажная призма для отвалов при наличии в теле шламохранилища трубчатого дренажа (рис. 44). При устройстве трубчатого дренажа необходимо обращать особое внимание на заделку стыков звеньев дренажных труб, а также на подбор и выполнение фильтрующей обсыпки. Трубы, применяемые для дренажа, должны иметь гладкую внутреннюю поверхность, обладать прочностью и долговечностью и допускать устройство водоприемных отверстий.

При плотных и непросадочных грунтах основания или при наличии постели на слабых грунтах основания можно допускать укладку труб без соединения стыков, используя зазоры между звеньями труб в качестве водоприемных отверстий. Материал фильтрующей обсыпки должен состоять из частиц, форма которых допускает образование жесткого скелета достаточно высокой водопроницаемости при сравнительно небольшом размере отдельных частиц.

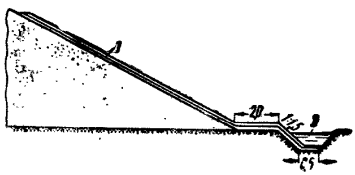


Рис. 45. Наслонный дренаж

1 — двухслойный обратный фильтр; *2* — водосборная канава

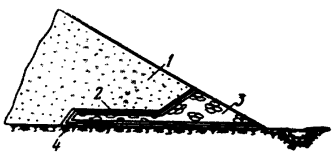


Рис. 46. Тюфячный дренаж

1 — тело дамбы; *2* — тюфячная дрена; *3* — упорная призма; *4* — обратный фильтр

При малой высоте дамбы первичного обвалования из фильтрующих материалов (каменная наброска, песок и т. п.) в основании ее у подошвы низового откоса целесообразно устраивать тюфячный дренаж шириной 15—20 *м*.

69. При возведении дамбы первичного обвалования из маловодопроницаемых материалов и на водонепроницаемом основании рекомендуется устраивать по поверхности ее низового откоса наслонный дренаж, а за низовым откосом водосборную канаву (рис. 45).

При маловодопроницаемых теле и основании дамбы можно рекомендовать устройство тюфячного дренажа (рис. 46).

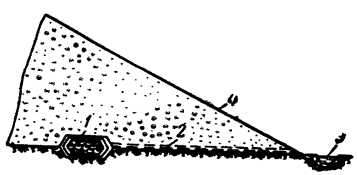


Рис. 47. Ленточный дренаж

1 — ленточная дрена; *2* — отводная труба; *3* — водосборная канава; *4* — одерновка

70. При значительной водопроницаемости основания по сравнению с телом гидроотвала и высоком уровне грунтовых вод можно ограничиться устройством легкого ленточного дренажа: ленточная дрена и водосборная канава или дренажный коллектор за низовым откосом тела гидроотвала (рис. 47).

71. При дренировании прилегающей к шламохранилищу территории дренажи устраивают за низовым откосом дамб шламохранилища с учетом инженерно-геологических условий подтопляемой территории. При использовании дренажных вод для оборотного водоснабжения их отводят из дренажей коллектором.

72. Для предотвращения появления напорных вод в нижнем бьефе после заполнения шламохранилища и возникновения фильтрационных деформаций (выпор шламов или грунтов) необходимо устраивать вертикальные разгрузочные скважины или осуществлять соответствующую пригрузку откосов в нижнем бьефе дренирующим материалом.

73. Выбор дренажа и расположение его в ограждающей дамбе увязывают с конструкцией дамбы и методом производства работ по ее устройству.

3. Проектирование ограждающих дамб

Расчет устойчивости откосов

74. Откосы ограждающих дамб шламохранилищ должны иметь такое заложение, которое обеспечивало бы их устойчивость как при возведении дамб, так и при намыве шламов в хранилище.

Устойчивость откосов зависит главным образом от следующих факторов: плотности грунтов или шламов в дамбе, правильности намыва гидроотвала и возведения дамбы, физико-механических характеристик грунтов и шламов, гидродинамических, взвешивающих, сейсмических и динамических сил, различного рода нагрузок, действующих на гребень и бермы дамбы или плотины, характера оснований, условий эксплуатации дамбы.

При проектировании ограждающих дамб следует стремиться к созданию откосов с одним и тем же коэффициентом запаса по высоте.

Расчет устойчивости откосов обычно проводят на деформацию оползания — одновременного обрушения достаточно больших масс грунта или шламов по некоторым поверхностям скольжения. При этом рассматривают наиболее неблагоприятные случаи работы шламохранилища, например при минимальной ширине пляжа, возникающей в процессе эксплуатации шламохранилища; при нарушении работы дренажа, уложенного в тело шламохранилища; при изменении расчетных характеристик шламов вследствие изменения крупности помола на обогатительных фабриках и ряда других факторов, учитываемых при составлении проекта.

75. Для оценки устойчивости откосов необходимо иметь геологическую и гидрогеологическую характеристику основания откосов, а также физико-механические характеристики грунтов основания и шламов в теле гидроотвала. Под геологической характеристикой подразумевается мощность пластов, виды грунтов, слагающих пласты, и т. д., а под гидрогеологической характеристикой — положение водоносных горизонтов, напоры и направление движения потока грунтовых вод.

Расчет устойчивости откоса зависит от состояния основания. Если основание прочнее тела дамбы, при расчете устойчивости откосов работу основания не учитывают. Если в основании зале-

гают более слабые грунты, расчет устойчивости откоса проводят дважды: с учетом и без учета работы основания.

76. При учете работы основания устойчивость откосов рассчитывают на основе гипотезы круглоцилиндрической поверхности скольжения или, если форма поверхности может быть установлена по геологическому строению основания, исходя из комбинированной поверхности скольжения.

77. Для шламохранилищ, располагаемых в сейсмических районах, устойчивость откосов следует рассчитывать с учетом сейсмических нагрузок, величины которых определяются по указаниям главы СНиП II-А.12-62 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования».

78. В случае, если кривая депрессии располагается относительно высоко в теле гидроотвала, при расчете устойчивости откосов шламохранилищ должны учитываться фильтрационные силы.

Определение устойчивости откосов (без учета действия сейсмических нагрузок). Для расчета устойчивости откосов дамб, ограждающих шламохранилище, принимают расчетную схему с упорной призмой и разжиженным ядром [10, 11]. Профиль упорной призмы определяется следующими данными (рис. 48):

$H_{пр}$ — высота призмы;

a — расчетная ширина упорной призмы поверху;

α — угол наклона внутренней грани упорной призмы;

β — угол наклона откоса с низовой стороны.

При расчете принимают следующие допущения: материал упорной призмы не обладает сцеплением, откосы ядра и призмы прямолинейны, грунт основания недеформируемый, гидродинамическое давление внутри призмы отсутствует, поверхность скольжения является плоскостью.

В период возведения сооружения разжиженное ядро действует на внутреннюю грань упорной призмы. Устойчивость призмы можно оценить, используя расчетную схему, изображенную на рис. 48. Рассматриваем равновесие трапецеидальной упорной призмы, в которой необходимо найти положение наиболее опасной поверхности сдвига (скольжения) и угол α наклона внутренней грани призмы.

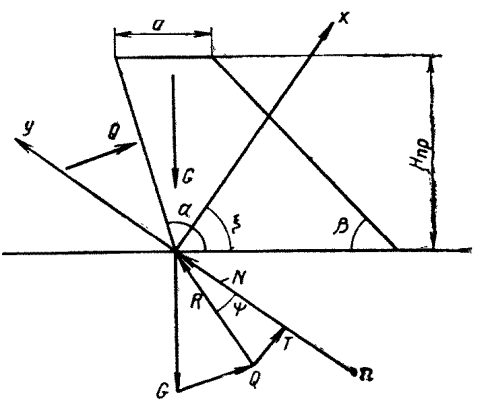


Рис. 48. Профиль упорной призмы

Для равновесия необходимо и достаточно, чтобы все действующие силы пересекались в одной точке и чтобы многоугольник этих сил был замкнут [10, 11]. В данном случае действующими силами будут: Q — гидростатическое давление разжиженного ядра; G — вес оползающей части призмы; T — равнодействующая сил трения; N — равнодействующая нормальных сил.

Векторная сумма равнодействующих нормальных сил и сил трения представляет собой равнодействующую реактивных сил R.

Угол ψ отклонения направления силы R от нормали n, являющийся искомой величиной, в случае предельного равновесия равен углу внутреннего трения, обозначенному в данном расчете буквой ρ.

Рассматривая силовой многоугольник, спроектируем действующие силы на оси x и y:

$$T + Q \sin(\alpha - \xi) - G \sin \xi = 0$$

или

$$T = G\sin\xi - Q\sin(\alpha - \xi);$$
$$N - G\cos\xi - Q\cos(\alpha - \xi) = 0$$

или

$$N = G\cos\xi + Q\cos(\alpha - \xi);$$
$$\operatorname{tg}\psi = \frac{T}{N} = \frac{G\sin\xi - Q\sin(\alpha - \xi)}{G\cos\xi + Q\cos(\alpha - \xi)}. \qquad (42)$$

Коэффициент устойчивости K выражается формулой

$$K = \frac{\operatorname{tg}\rho}{\operatorname{tg}\psi}. \qquad (43)$$

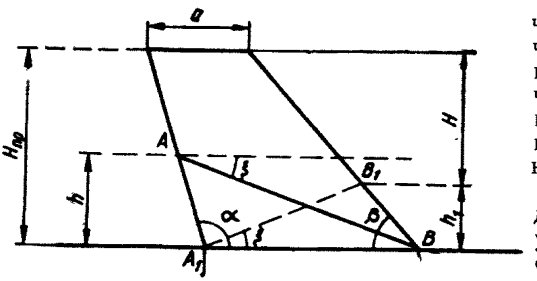


Рис. 49. Схема для расчета устойчивости призмы при сдвиге части ее в сторону от ядра

Упорная призма (точнее ее часть) может терять свою устойчивость, сдвигаясь к ядру или в сторону от ядра. Во втором случае сила трения T согласно принятому направлению координатных осей будет иметь отрицательную величину, откуда $\operatorname{tg}\psi < 0$.

Найдем величину $\operatorname{tg}\psi_{\text{макс}}$ для второго случая. Коэффициент устойчивости при этом будет составлять:

$$K = \frac{\operatorname{tg}\rho}{|\operatorname{tg}\psi|_{\text{макс}}}.$$

Рассмотрим устойчивость упорной призмы при сдвиге по поверхности скольжения (рис. 49).

Вес оползающей части призмы выражается формулой

$$G = \left[\frac{a}{H}\left(1 - \frac{h}{H}\right) - \frac{h}{H}(\operatorname{ctg}\xi + \operatorname{ctg}\beta)\right]\frac{\gamma_{\text{пр}} H^2}{2}. \qquad (44)$$

Давление разжиженного ядра, распределенное по гидростатическому закону, выражается формулой

$$Q = \frac{\gamma_{\text{я}} H^2\left(1 - \frac{h}{H}\right)^2}{2\sin\alpha}. \qquad (45)$$

Отметим, что при $\xi < 0$ высота $H = H_{\text{пр}}$, а при $\xi > 0$ высота

$$H = H_{\text{пр}}\left(1 + \frac{h_1}{H_{\text{пр}}}\right) \text{ (см. рис. 49)}.$$

Как видно из вышеприведенного, для решения поставленной задачи необходимо предварительно найти угол наклона внутренней грани упорной призмы.

Для нахождения предельного положения внутренней грани упорной призмы (т. е. угла α) рассмотрим предельное состояние откоса при условии возможности обрушения призмы в сторону ядра. При этом на плоскости, наклоненной под углом ξ к горизонту, возникает состояние предельного равновесия. Очевидно, что при достаточно большом значении расстояния a указанная плоскость будет выходить на поверхность в пределах этого расстояния, т. е. $\xi > \theta$ (рис. 50). Угол ξ определяется положением угла наклона внутренней грани упорной призмы α, а также характеристиками материала ядра и призмы $\gamma_{\text{я}}$, $\gamma_{\text{пр}}$, ρ.

Найдем зависимость между углами α и ξ и исследуем ее.

При $\xi > \theta$ (см. рис. 50) вес оползающей части призмы, находящейся в предельном состоянии, равен:

$$G_{\text{пред}} = \frac{\gamma_{\text{пр}} H^2_{\text{пр}}}{2}(\operatorname{ctg}\xi - \operatorname{ctg}\alpha).$$

Из треугольника AOM (рис. 51) находим выражение предельной величины для равнодействующей:

$$OM = R_{\text{пред}} = \frac{G_{\text{пред}} \sin(\pi - \alpha)}{\sin(\alpha + \rho - \xi)}.$$

С другой стороны, из треугольника OBM выражение для той же равнодействующей имеет вид:

$$R_{\text{пред}} = \frac{\gamma_{\text{я}} H^2}{2 \sin(\xi - \rho)}.$$

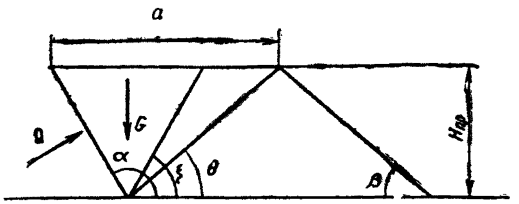


Рис. 50. Схема для расчета устойчивости призмы при сдвиге части ее в сторону ядра

Приравнивая правые части равенств выражений для равнодействующей:

$$\frac{\gamma_{\text{пр}} H^2}{2} \cdot \frac{(\operatorname{ctg}\xi - \operatorname{ctg}\alpha)\sin(\pi - \alpha)}{\sin(\alpha + \rho - \xi)} = \frac{\gamma_{\text{я}} H^2}{2 \sin(\xi - \rho)},$$

заменяя отношение $\gamma_{\text{я}}/\gamma_{\text{пр}} = \lambda$ и производя преобразования, получаем:

$$\frac{\operatorname{ctg}\xi - \operatorname{ctg}\alpha}{\operatorname{ctg}(\xi - \rho) - \operatorname{ctg}\alpha} = \lambda.$$

Отсюда величина $\operatorname{ctg}\alpha$ выразится так:

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{\operatorname{ctg}\xi - \lambda \operatorname{ctg}(\xi - \rho)}{1 - \lambda}. \qquad (46)$$

Наибольшее значение $\operatorname{ctg}\alpha$ определяется производной $\partial \operatorname{ctg}\alpha / \partial \xi$ в интервале $\theta < \alpha < \pi$:

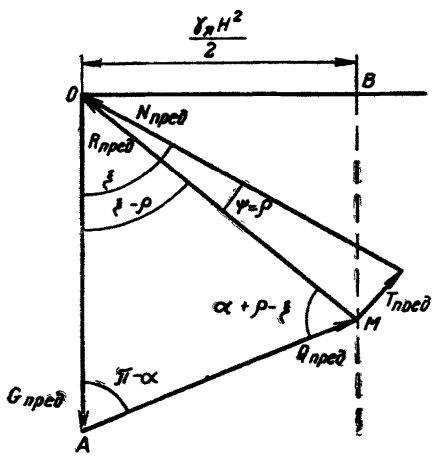


Рис. 51. Схема для определения предельного угла наклона внутренней грани упорной призмы

$$\frac{\partial \operatorname{ctg}\alpha}{\partial \xi} = \frac{-\frac{1}{\sin^2\xi} + \frac{\lambda}{\sin^2(\xi - \rho)}}{1 - \lambda}.$$

Приравнивая первую производную нулю, получаем:

$$-\frac{1}{\sin^2\xi} + \frac{\lambda}{\sin^2(\xi - \rho)} = 0; \quad \lambda \sin^2\xi =$$

$$= \sin^2(\xi - \rho) \text{ при условии } \xi \neq \rho;$$

$$\sqrt{\lambda} = \cos\rho - \sin\rho \operatorname{ctg}\xi; \quad \operatorname{ctg}\xi = \operatorname{ctg}\rho - \frac{\sqrt{\lambda}}{\sin\rho}. \qquad (47)$$

В результате проведенного анализа установлено, что существует такое минимальное значение α, определяемое $\operatorname{ctg}\alpha_{\text{макс}}$, при котором возникает предельное равновесие.

Вернемся к рассмотрению устойчивости упорной призмы при возможности обрушения ее в сторону от ядра.

Запишем выражение для $\operatorname{tg}\psi$ с учетом формул (44) и (45):

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\frac{a}{H}\left(1-\frac{h}{H}\right) - \frac{h}{H}(\operatorname{ctg}\xi + \operatorname{ctg}\beta) - \lambda\left(1-\frac{h}{H}\right)^2(\operatorname{ctg}\xi - \operatorname{ctg}\alpha)}{\left[\frac{a}{H}\left(1-\frac{h}{H}\right) - \frac{h}{H}(\operatorname{ctg}\xi+\operatorname{ctg}\beta)\right]\operatorname{ctg}\xi+\lambda\left(1-\frac{h}{H}\right)^2(\operatorname{ctg}\xi\operatorname{ctg}\alpha+1)}, \quad (48)$$

или, обозначив

$$g = \frac{a}{H}\left(1-\frac{h}{H}\right) - \frac{h}{H}(\operatorname{ctg}\xi + \operatorname{ctg}\beta) \text{ и } q = \lambda\left(1-\frac{h}{H}\right)^2:$$

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{g - q(\operatorname{ctg}\xi - \operatorname{ctg}\alpha)}{g\operatorname{ctg}\xi + q(\operatorname{ctg}\xi\operatorname{ctg}\alpha+1)}. \quad (49)$$

Для нахождения минимального значения $\operatorname{tg}\psi$ решаем уравнение $d\operatorname{tg}\psi/d\xi = 0$, или, что то же:

$$(g + q\operatorname{ctg}\alpha)^2 + q^2 + \frac{1+\operatorname{ctg}^2\xi}{\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}\xi}\cdot\frac{h}{H}\left[qA - g2\lambda\left(1-\frac{h}{H}\right)\right] = 0, \quad (50)$$

где $A = \frac{a}{H} + \operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta > 0.$

Совместное решение уравнения (50) с уравнением

$$\operatorname{ctg}\xi = \operatorname{ctg}\alpha - \frac{A}{\frac{h}{H}}.$$

дает значение угла ξ, а также определяет положение плоскости обрушения (т. е. значение h). По найденным значениям ξ и h вычисляют величины $\operatorname{tg}\psi$ и значения коэффициентов устойчивости K.

На основании данных, полученных при расчетах, строят графики зависимости различных величин: β, λ, ρ, α и $a/H_{\text{пр}}$. Величину $a/H_{\text{пр}}$ задают исходя из технологических соображений или же принимают путем подбора из условия достижения наиболее обжатого профиля. При этом обязательно соблюдение неравенства: $A = a/H + \operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta > 0$.

Все необходимые данные для расчета устойчивости откосов различного заложения по описанной выше методике приведены в приложениях 3—7.

Пример расчета устойчивости упорной призмы ограждающей дамбы. Задано: $\lambda = 0{,}6$ (здесь $\lambda = \gamma_{\text{я}}/\gamma_{\text{пр}}$, где $\gamma_{\text{я}}$ — объемный вес грунта ядра; $\gamma_{\text{пр}}$ — объемный вес грунта призмы); $a/H_{\text{пр}} = 0{,}5$; $\beta = 26°34'$; $\rho = 40°$; $m = \operatorname{ctg}\beta = 2$ — заложение откоса упорной призмы с низовой стороны; a — ширина упорной призмы поверху. Профиль упорной призмы изображен на рис. 48. На этом профиле указаны также действующие силы.

Угол наклона внутренней грани упорной призмы определяется из условия возникновения предельного состояния по плоскости скольжения. Наклон предельной плоскости скольжения характеризуется углом ξ. Угол наклона внутренней грани призмы α (см. рис. 50), соответствующий предельному состоянию ее, определяется на основании физико-механических свойств материала ядра и призмы по формуле (46).

В этой формуле

$$\operatorname{ctg}\xi = \operatorname{ctg}\rho - \frac{\sqrt{\lambda}}{\sin\rho} = 1{,}192 - \frac{\sqrt{0{,}6}}{0{,}643} = -0{,}019.$$

Тогда

$$\operatorname{ctg}\alpha = \frac{-0{,}019 - 0{,}6 \cdot 0{,}817}{1 - 0{,}6} = -1{,}258, \text{ т. е. } \alpha = -141°32'.$$

На рис. 49 показаны возможные положения плоскостей скольжения, определяемые углом ξ, в случае сдвига части упорной призмы в сторону от ядра.

Превышение точки A (начало плоскости скольжения) над точкой B (выход плоскости скольжения на низовой откос) обозначается буквой h и может быть как положительной величиной (точка A на рис. 49), так и отрицательной (точка A_1 на рис. 49), так же как и угол наклона плоскости скольжения ξ, который, как видно из рис. 49, может быть и отрицательной и положительной величиной. Расстояние от точки выхода плоскости скольжения на низовой откос (точка B) до верха упорной призмы, как указывалось ранее (см. рис. 49), может быть равно высоте призмы $H_{пр}$ или же равно величине: $H = H_{пр}\left(1 + \frac{h_1}{H_{пр}}\right)$

Для отношения h/H, меняющегося в данном случае в диапазоне от —0,5 до +1, находятся соответствующие величины $\operatorname{ctg}\xi$ по уравнению

$$\operatorname{ctg}\xi = \operatorname{ctg}\alpha - \frac{A}{\frac{h}{H}}.$$

Все расчеты (проведенные на арифмометре) сведены в табл. 16.

Таблица 16

Отыскание экстремальных значений функции h/H и ξ

h/H	—0,5	—0,4	—0,3	—0,2	—0,1	—0,05	—0,01	0,01	0,05	0,1
$\operatorname{ctg}\xi$	1,226	1,847	2,882	4,952	11,162	23,582	122,942	—125,458	—26,098	—13,678
ξ	39°12′	28°26′	19°08′	11°25′	5°07′	2°26′	0°28′	—0°28′	—2°12′	—4°11′
f	0,961	0,653	0,356	0,086	—0,142	—0,256	—0,361	—0,322	—0,413	—0,476

Продолжение табл. 16

h/H	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$\operatorname{ctg}\xi$	—7,468	—5,398	—4,363	—3,742	—3,328	—3,032	—2,811	—2,638	—2,5
ξ	—7°38′	—10°30′	—12°55′	—14°58′	—16°43′	—18°15′	—19°35′	—20°45′	—21°48′
f	—0,577	—0,634	—0,625	—0,576	—0,484	—0,345	—0,17	0,027	0,25

Далее находится минимум выражения (49). Для этого берется производная $d\operatorname{tg}\psi/d\xi$. Решение уравнения (50) удобно вести графическим методом. Задаваясь различными значениями отношения h/H (от —0,5 до +1), при α, вычисленном для определенных значений λ и ρ, из уравнения $\operatorname{ctg}\xi = \operatorname{ctg}\alpha - \frac{A}{\frac{h}{H}}$ находим соответствующие величины ξ. Эти пары чисел $\left(\frac{h}{H}$ и $\xi\right)$ подставляем в уравнение (50) и получаем значения функции.

На основании полученных данных строим график зависимости значений функции f от величины отношения h/H и, следовательно, от ξ (график на рис. 52). Перемена знака функции с минуса на плюс дает точку $\left(\frac{h}{H}, \xi\right)_0$, координаты которой будут являться решением уравнения (50). Иногда функция в интервале от —0,5 до +1 не имеет экстремальных точек. В таких случаях проверяются значения функции на концах интервала и принимаются те ее значения, которые определяют $\operatorname{tg}\psi_{макс}$, а следовательно, и $K_{мин}$.

Далее находим величину $\operatorname{tg}\psi$ при $\left(\frac{h}{H}\text{ и }\xi\right)_0$ по формуле (49):

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{2{,}078 - 0{,}787\,(7{,}808 + 1{,}258)}{2{,}078 \cdot 7{,}808 + 0{,}787\,[7{,}808\,(-1{,}258) + 1]} = -0{,}544.$$

Коэффициент устойчивости на сдвиг упорной призмы в сторону от ядра составит:

$$K = \frac{\operatorname{tg}\rho}{|\operatorname{tg}\psi|} = \frac{0{,}839}{0{,}544} = 1{,}541.$$

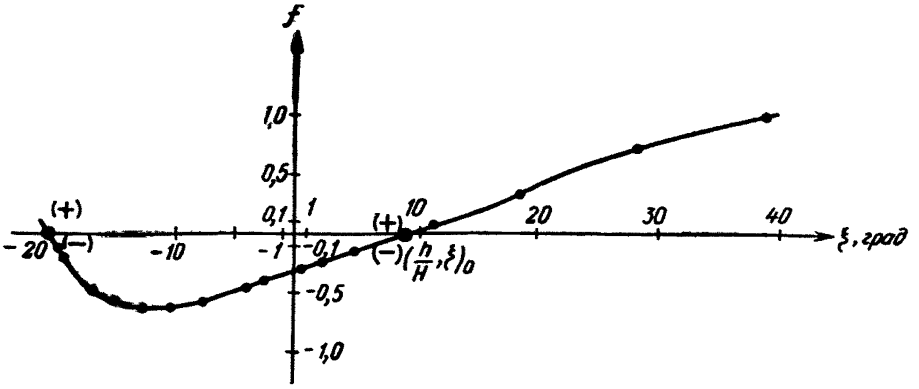


Рис. 52. График зависимости значений функции f от величины ξ

Расчет осадки ограждающих дамб

79. Осадка ограждающих дамб шламохранилищ складывается из осадок тела дамб и грунтов основания.

80. Величину осадки нескальных оснований определяют лишь для весьма высоких (25 *м* и более) или ответственных дамб шламохранилищ.

Для менее ответственных или более низких дамб, намываемых из однородных шламов, расчет осадки основания можно не производить, принимая ее величину от 0,1 до 0,5% высоты дамбы.

81. Расчет осадок тела насыпных ограждающих дамб, возводимых из местных грунтов, а также ограждающих дамб, намываемых из шламов, следует выполнять в соответствии со следующими главами СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования» и II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования».

Расчет фильтрации в шламохранилище [1]

82. Расчет фильтрации ведут с учетом типа шламохранилища и особенностей его эксплуатации.

Для равнинных шламохранилищ расчет фильтрации производят по методам, применяемым для земляных плотин, в зависимо-

[1] Автор этого раздела — д-р техн. наук В. П. Недрига.

сти от конструкции дамбы и геологических условий в соответствии со следующими главами СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования» и II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования».

При замыве шламохранилища от дамбы или плотины расчет фильтрации следует производить с учетом шламов, отлагающихся по верховому откосу плотины (рис. 53).

Для шламохранилищ с дамбами первичного обвалования как на водопроницаемом, так и на водонепроницаемом основании

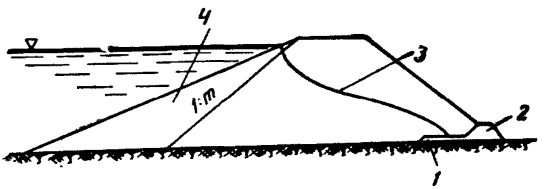


Рис. 53. Расчетная схема плотины с дренажем

1 — тюфячная дрена; *2* — упорная призма; *3* — депрессионная кривая; *4* — шламы, отлагающиеся по откосу

при различных схемах расположения дренажа, учитывая сложность и неоднородность фильтрующей толщи шламов и оснований, рекомендуется производить фильтрационные расчеты (определение положения депрессионной кривой и уровней воды на прилегающей территории) для плоской фильтрации методом ЭГДА, а для пространственной фильтрации экспериментально-аналитическим методом, основанным как на моделировании методом ЭГДА, так и на аналитических расчетах.

Расчет фильтрации в дамбах шламохранилищ в процессе их намыва рекомендуется производить по приводимым ниже зависимостям. Эти зависимости получены в предположении существования установившегося фильтрационного потока в дамбах и поэтому характеризуют наиболее неблагоприятные условия работы сооружения.

Расчетные зависимости даются для общего случая при наличии в основании наклонного водоупора. Их можно применять и при горизонтальном водоупоре, принимая угол $\alpha = 0°$.

Однородная дамба на водонепроницаемом основании при наличии ленточного или внутреннего наслонного дренажа (рис. 54). Удельный фильтрационный расход определяют по формуле

$$q = k_т \left(\sqrt{A_1^2 L_р^2 + H_р^2 + i L_р H_р} - A_1 L_р \right), \qquad (51)$$

где $k_т$ — коэффициент фильтрации тела дамбы;

$A_1 = \dfrac{1}{\cos\alpha} - \dfrac{i}{2}$ (здесь α — угол наклона основания дамбы; $i = \sin\alpha$);

$$L_р = l_2 + \Delta L_0 \left(\text{здесь } \Delta L_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + 2i} H_н \right); \qquad H_р = H_н - i\Delta L_0.$$

Ординаты кривой депрессии между сечениями *1′—1′* и *2′—2′* вычисляют по уравнению

$$h_x = \sqrt{\left(\frac{q}{k_т} - \frac{ix}{2} \right)^2 + \frac{2x}{\cos\alpha} \cdot \frac{q}{k_т}} - \frac{ix}{2}, \qquad (52)$$

где $0 \leqslant x \leqslant l_2$.

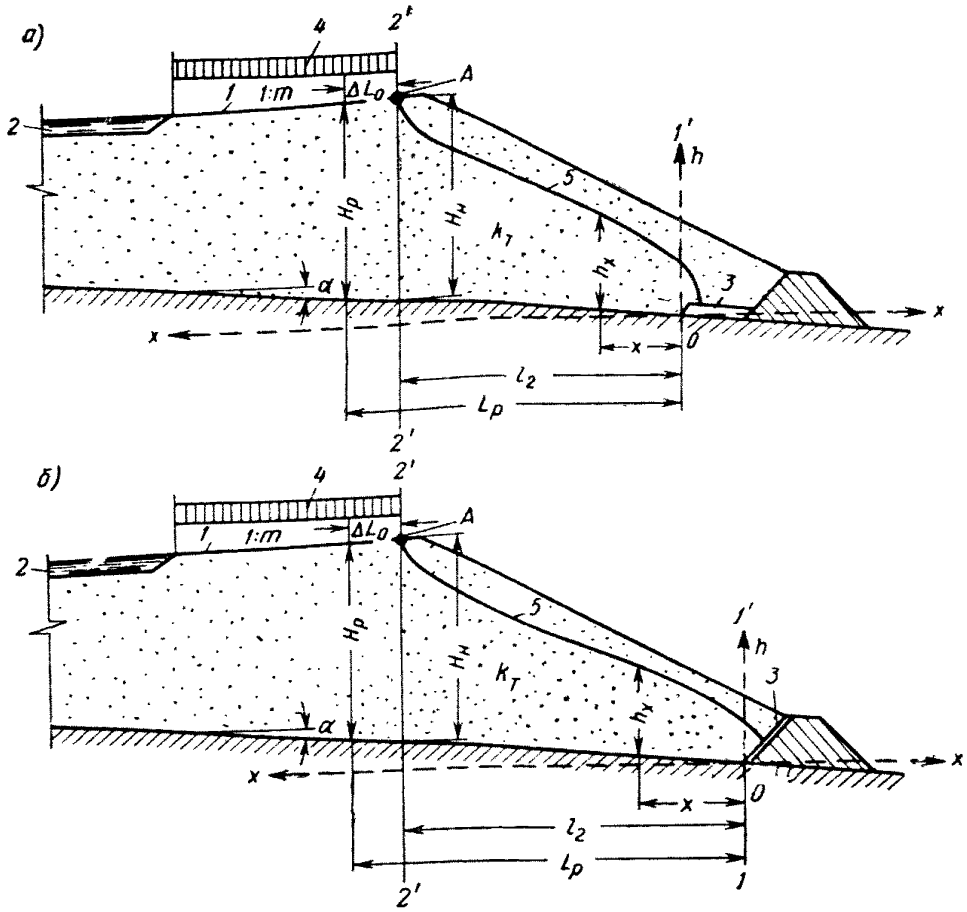


Рис. 54. Расчетные схемы фильтрации в однородной намывной дамбе на водонепроницаемом основании

а — при наличии ленточного дренажа; *б* — при наличии внутреннего наслонного дренажа; *1* — пляж намыва; *2* — прудок-отстойник; *3* — дренаж; *4* — зона инфильтрации; *5* — кривая депрессии

Верхний участок кривой депрессии соединяют с точкой A графически.

Неоднородная дамба на водонепроницаемом основании при наличии ленточного или внутреннего наслонного дренажа (рис. 55).

Расчетные значения угла наклона и коэффициента заложения приведенной поверхности водоупора вычисляют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \beta_{пр} &= \operatorname{arctg}\left[\left(1-\frac{k_п}{k_т}\cdot\frac{1}{\cos^2\beta}\right)\operatorname{tg}\beta\right]; \\ m_{пр} &= \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha+\beta_{пр})}, \end{aligned}\right\} \qquad (53)$$

где $k_п$ — коэффициент фильтрации пылеватых фракций шлама, откладывающихся в прудке-отстойнике;

$k_т$ — коэффициент фильтрации крупно-, средне- и мелкозернистых шламов, откладывающихся на пляже и образующих тело дамбы;

β — угол между поверхностью основания и поверхностью раздела дамбы на зоны;

α — угол наклона основания дамбы.

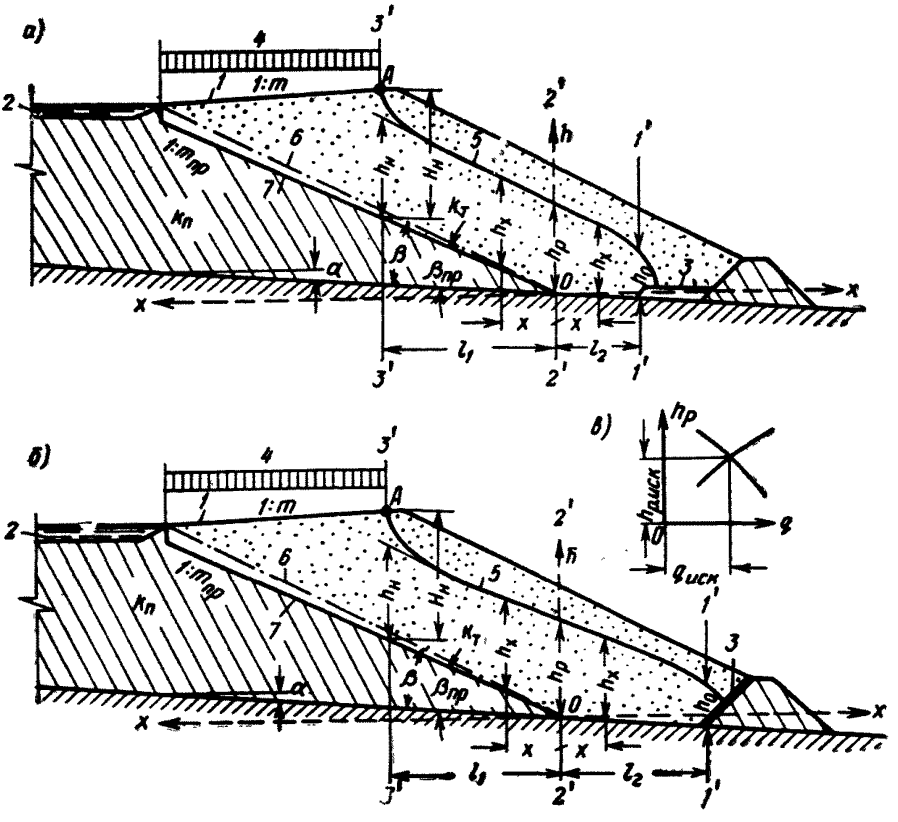


Рис. 55. Расчетные схемы фильтрации в неоднородной намывной дамбе на водонепроницаемом основании

а — при наличии ленточного дренажа; *б* — при наличии внутреннего наслонного дренажа; *в* — общий вид графика $q=f(h_р)$; *1* — пляж намыва; *2* — прудок-отстойник; *3* — дренаж; *4* — зона инфильтрации; *5* — кривая депрессии; *6* и *7* — соответственно расчетная и действительная поверхности пылеватых отложений

Удельный фильтрационный расход q и глубину потока в сечении $2'—2'$ $h_р$ находят подбором по следующим двум уравнениям:

$$q = k_т \lambda \left(A_2 - \sqrt{A_2^2 - B}\right); \tag{54}$$

$$q = \frac{k_т}{\sigma^2}\left[\sqrt{C^2 l_2^2 + \sigma^4\left(h_р^2 + i l_2 h_р\right)} - C l_2\right], \tag{55}$$

где

$$\lambda = 2{,}1\frac{m_{пр}}{1+2m_{пр}};$$

$$A_2 = l_1\lambda\cos^2\beta_{пр} + 1{,}07H_н + \frac{i_{пр}\, l_1}{2}\cos\beta_{пр}\ (\text{здесь } i_{пр} = \sin\beta_{пр});$$

$$B = 1{,}145H_н^2 + i_{пр}\, l_1\left(1{,}07H_н + h_р\cos\beta_{пр}\right)\cos\beta_{пр};$$

$$C = \frac{1}{\cos\alpha} - i\frac{\sigma}{2};$$

$$i = \sin\alpha.$$

σ — коэффициент, значение которого при $l_2>0$ принимают равным 1, а при $l_2=0$ определяют по формуле

$$\sigma = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}\cdot\frac{180}{180-\beta_{пр}}\right).$$

Для определения величин q и $h_р$ строят совмещенный график двух кривых $q=f(l_р)$, вычисляемых по зависимостям (54) и (55) при различных задаваемых значениях $h_р$. Общий вид этого графика изображен на рис. 55,*в*. Точка пересечения кривых на этом графике показывает на соответствующих осях координат значения искомых величин $q_{иск}$ и $h_{р\text{-}иск}$.

Глубины фильтрационного потока в сечениях *1′—1′* и *3′—3′* вычисляют соответственно по формулам:

$$h_0 = \sigma\frac{q}{k_т} \tag{56}$$

и

$$h_н = \left(1{,}07H_н - \frac{q}{k_т\lambda}\right)\frac{1}{\cos\beta_{пр}}. \tag{57}$$

Ординаты кривой депрессии вычисляют по следующим зависимостям:
между сечениями *1′—1′* и *2′—2′*

$$h_x = \sqrt{2\frac{q}{k_т\cos\alpha}(l_2-x) + \left(h_0 - i\frac{l_2-x}{2}\right)^2} - i\frac{l_2-x}{2}, \tag{58}$$

где $0 \leqslant x \leqslant l_2$;
между сечениями *2′—2′* и *3′—3′*

$$h_x = \sqrt{\left(\frac{i_{пр}x}{2}\right)^2 + h_р^2 + \left(h_н^2 - h_р^2\right)\frac{x}{l_1} + ih_н x} - \frac{i_{пр}x}{2}, \tag{59}$$

где $0 \leqslant x \leqslant l_1$.

4. Возведение ограждающих дамб первичного обвалования

83. Перед возведением ограждающих дамб первичного обвалования необходимо подготовить их основания и сопряжения с берегами:

а) вырубить деревья и кустарник;

б) удалить растительный слой, пни и корневую систему в основании дамбы (для сооружений IV—V классов капитальности в отдельных случаях разрешается оставлять растительный слой в основании);

в) в зимних условиях — удалить с основания и берегов снег и лед.

84. Дамбы первичного обвалования рекомендуется возводить по заранее разработанным технологическим правилам, в которых указываются наиболее целесообразные схемы движения машин и приемы работ, с максимальным использованием типовых решений.

85. Ограждающие дамбы, отсыпаемые из грунта без механического уплотнения, рекомендуется возводить ярусами. Схема

комбинированного поярусного возведения дамбы представлена на рис. 56. Слой по основанию дамбы отсыпают автосамосвалами и разравнивают с помощью бульдозеров.

Допускается возведение дамбы слоями толщиной до 1,5—3 *м* с перемещением механизмов по поверхности отсыпаемого слоя (рис. 57). Толщина отсыпаемого слоя устанавливается проектом. При вводе таких насыпей в эксплуатацию напор поднимают постепенно — ступенями.

86. Для возведения дамб первичного обвалования можно использовать как сыпучие грунты (песчаные, гравийные, галечнико-

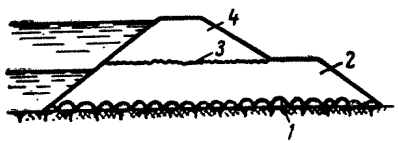


Рис. 56. Возведение ограждающей дамбы ярусами

1— слой, отсыпанный автосамосвалами; *2* — первый ярус дамбы; *3* — разрыхленная поверхность; *4* — второй ярус дамбы

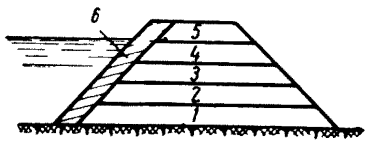


Рис. 57. Отсыпка дамбы слоями

1—5 — слои толщиной 1,5—3 *м*; *6* — экран

вые, скальные и полускальные), так и связные грунты (супесчаные, суглинистые и глинистые). Рекомендуется отсыпать в дамбы отходы производства (вскрышные породы карьеров и рудников, пустую породу и карьерную мелочь, шлаки и шламы сухого обогащения).

Примечание. Для устройства дамб первичного обвалования следует как можно шире использовать грунты полезных выемок, допуская отрытие карьера только при недостаточном объеме полезных выемок или в случае непригодности вскрышных пород для возведения дамб.

87. Отделочные работы для ограждающих дамб устанавливаются проектом. Для менее ответственных ограждающих дамб их можно ограничивать следующими видами работ:

а) планировкой гребня;

б) срезкой и планировкой откосов;

в) креплением гребня и откосов.

В проекте должны быть обоснованы необходимость каждого из видов отделочных работ, их объемы и способы выполнения с учетом следующих положений:

1) для дамб первичного обвалования, нерыхло отсыпанных, запас в высоте плотины принимается по указаниям главы СНиП II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования»;

2) для рыхло отсыпанных дамб при планировке гребня обеспечивается строительная высота дамбы H, определяемая по формуле

$$H_c = KH_п, \qquad (60)$$

где K — коэффициент запаса на осадку тела рыхло отсыпанной дамбы, принимаемый в зависимости от вида грунтов:

глинистые	1,15—1,2
супесчаные	1,1—1,15
песчаные	1,05—1,1

$H_п$ — проектная высота, которую дамба должна иметь после осадки (рис. 58).

88. Планировку поверхности откосов можно выполнять упрощенными способами:

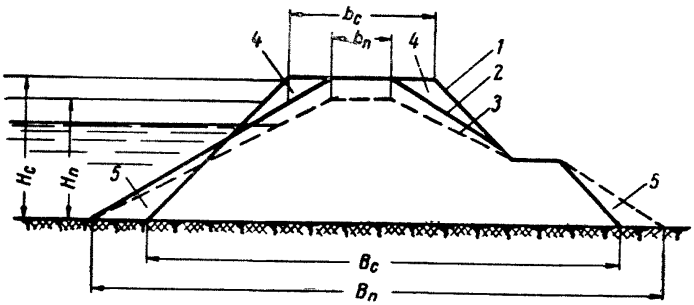


Рис. 58. Поперечный разрез дамбы

1 — профиль после отсыпки; *2* — профиль после срезки; *3* — проектный профиль (после отсыпки); *4* — срезка; *5* — подсыпка

а) подсыпкой грунта, что особенно целесообразно в зимних условиях, когда замерзший грунт не допускает срезки откосов;

б) протаскиванием по поверхности откосов рельса, прикрепленного двумя тросами к трактору, перемещающемуся по гребню дамбы.

89. Для гребня и откосов рекомендуется применять обычные типы креплений (после окончания основных осадок и до заполнения водой шламохранилища). В случае необходимости крепления гребня и верхового откоса до окончания основных осадок или в случае нахождения откоса под водой следует применять гибкие типы креплений: каменную или гравийно-галечниковую обсыпку, фашинные тюфяки, фашины и т. д.

Если хранилище замывают от дамбы к вершине путем постепенного повышения отвала, крепить верховой откос дамбы первичного обвалования не следует.

В хранилищах, замываемых от вершины к дамбе, при заполнении их паводковым стоком со значительной величиной площади зеркала воды верховой откос должен быть укреплен на 1 *м* ниже начального уровня воды в шламохранилище.

Тип крепления следует выбирать на основе технико-экономического сопоставления вариантов с учетом возможности выполнения его при максимальном использовании средств механизации.

5. Оборотное водоснабжение и сброс осветленной воды

90. Вопросы оборотного водоснабжения и сброса осветленной воды следует решать в проекте шламохранилища совместно с вопросами защиты поверхностных и грунтовых вод от загрязнения.

91. Для организации оборотного водоснабжения осуществляют следующие мероприятия:

1) разрабатывают технологические требования к осветленной воде, устанавливают меры борьбы с потерями воды, определяют необходимость добавления в оборотный цикл свежей воды и ее объем;

2) устраивают водозаборные сооружения, насосные станции, водопроводы и организуют забор и подачу осветленной воды обратно на предприятие.

92. Вода должна быть осветлена как для оборотного водоснабжения, так и перед сбросом.

Для осветления воды шламовую пульпу подают в прудок-отстойник. Для отстоя пульпы с малым содержанием глинистых частиц устраивают один прудок-отстойник. Для отстоя пульпы, содержащей тонкие глинистые взвеси, можно устраивать второй прудок-отстойник. В случае значительного содержания очень тонких взвесей для их осаждения во второй прудок-отстойник может потребоваться добавка коагулянтов.

93. Для снижения потерь воды на фильтрацию из шламохранилища можно применять следующие мероприятия:

1) устройство понура и экрана из битумных и асфальтовых материалов и глинистых грунтов;

2) кольматацию ложа и бортов шламохранилища;

3) устройство шпунтовых ограждений и противофильтрационных завес;

4) устройство контурного дренажа с откачкой в прудок-отстойник профильтровавшейся воды.

Примечание. В каждом конкретном случае следует проверять возможность и экономичность применения для экранирования ограждающих дамб и ложа шламохранилища пластмассовых пленок.

94. Решение вопросов, связанных с использованием или сбросом осветленной воды шламохранилища, должно вестись на основании годового баланса воды $Ж$, определяемого по уравнению

$$\underbrace{(a+б)}_{\text{приход}} - \underbrace{(b+V+d+l+и)}_{\text{расход}} = \underbrace{Ж}_{\text{баланс}}, \qquad (61)$$

где a — объем воды из пульпы;

$б$ — объем воды из поверхностного стока;

b — заполнение объема прудка, которое можно определить по формуле $b=F\Delta h$ (здесь F — площадь зеркала воды в прудке при среднегодовой отметке его уровня; Δh — повышение уровня воды в прудке за расчетный год эксплуатации шламохранилища);

V — объем воды, идущий на заполнение пор в отвале шламов, определяемый по формуле $V = \varepsilon/(1+\varepsilon) = \frac{\gamma_0 - \gamma_{ск}}{\gamma_0}$ (здесь ε — коэффициент пористости отвала шламов; γ_0 — удельный вес шламов; $\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета шламов);

d — среднемесячные потери на испарение из прудков-отстойников шламохранилища, определяемые в соответствии с Техническими указаниями по расчету испарения с поверхности водоемов (Труды ГГИ, Л., 1968); ориентировочно среднемесячные потери на испарение могут быть подсчитаны в зависимости от среднемесячного дефицита влажности воздуха $d_{ср.мес}$ в *мм* по формуле $d = 40\, d^{0,8}_{ср.мес}$ *мм*;

l — потери на фильтрацию, которые могут быть определены по формулам для фильтрационного расхода (51), (54) и (55);

u — безвозвратные потери, учитываемые по местным условиям.

Примечание. Если воды для водоснабжения предприятия недостаточно, следует составлять общий баланс вод, используемых обогатительной фабрикой, шахтами и другими цехами, а также бытовых и прочих стоков.

95. Необходимость добавления в оборотный цикл свежей воды и ее объем устанавливают исходя из величины отрицательного баланса.

96. Забор воды для оборотного водоснабжения производят как из нижнего, так и из верхнего бьефа.

При заборе воды из нижнего бьефа существенно облегчаются условия эксплуатации, но повышается расход энергии на подачу воды, если ее сброс из шламохранилища производится по безнапорному коллектору или открытому водосбросу.

97. Осветленная вода, содержащая вредные компоненты, подлежит химической очистке перед сбросом в водоемы.

Технологическая схема очистки осветленной воды шламохранилища, разрабатываемая в проекте шламохранилища на основе результатов специальных исследований, должна освещать следующие вопросы:

1) состав узла сооружений очистки осветленной воды;

2) состав операций по очистке осветленной воды;

3) состав, количество и способ добавки в воду, подлежащую очистке, реагентов;

4) время контакта осветленной воды с реагентами, необходимое для ее очистки;

5) время отстоя после указанного выше контакта очищаемой воды с реагентами.

98. Сброс из шламохранилища осветленной воды, содержащей вредные компоненты, может быть допущен только по согласованию с санитарной инспекцией при условии разбавления ее водой естественного или промышленного стока.

Примечание. Расчет разбавления осветленной воды шламохранилища водой естественного стока в целях ее сброса следует производить по допустимой концентрации. Величина сброса и допустимая концентрация должны быть определены исходя из стока маловодного года 95%-ной обеспеченности.

99. Все операции по осветлению воды и ее очистке следует заканчивать в прудке-отстойнике шламохранилища до сброса воды или до забора ее для оборотного водоснабжения.

Расчет прудка-отстойника шламохранилища в соответствии с требованием необходимого осветления воды приведен в п. 6 главы III.

100. При установлении состава, размещения и назначения водосбросных, очистных, селезащитных и других сооружений необходимо учитывать следующие факторы:

1) сброс естественного стока;
2) состав и расход сбросных вод;
3) наличие оборотного водоснабжения;
4) нарастание уровней воды в прудке-отстойнике и отметок поверхности пляжа;
5) необходимость химической очистки промышленного стока и организация ее при пропуске естественного стока через шламохранилище;
6) непрерывность или периодичность сброса стоков;
7) требования к глубине прудка-отстойника в целях неразмываемости отвала шламов при сбросе естественного стока через шламохранилище.

101. При малых расходах сбросных вод из шламохранилищ в условиях повышенного стояния уровня воды в прудке-отстойнике рекомендуется применять водосбросные колодцы шахтного типа или сифонные водосбросы с поднимаемым по мере замыва отвала и наращивания дамб вторичного обвалования оголовком. Выбор того или иного типа водосброса должен быть осуществлен на основе технико-экономического сравнения различных вариантов.

Расчеты сооружений для сброса воды из шламохранилища, для сброса естественного стока в обход хранилища, а также сооружений для гашения энергии ведут общепринятыми методами.

102. При решении вопросов о размещении колодцев рекомендуется учитывать следующие положения:

1) расстояние от места выпуска пульпы до водосброса должно удовлетворять требованию осветления пульпы;

2) в условиях русловых шламохранилищ коллектор обычно прокладывают по дну водотока, а водосбросные колодцы располагают по склону ярусами; шаг поднятия ярусов должен равняться глубине прудка, необходимой для осветления пульпы, так что по окончании сброса через верх колодцев предыдущего яруса в работу вступает низ колодцев последующего яруса;

3) если длина косогорных и пойменных шламохранилищ больше ширины, то для достижения надлежащего осветления воды водосбросные колодцы нужно располагать в две линии так, чтобы

при намыве шламов в районе одной линии сброс осветленной воды осуществлялся через другую, и наоборот.

103. Выбор варианта сброса воды тоннелем, коллектором или открытым каналом для любого типа шламохранилища определяется экономическими и эксплуатационными соображениями.

104. Коллекторы служат для отвода осветленной воды за пределы шламохранилища.

Площадь поперечного сечения коллектора в свету определяется гидравлическим расчетом. Уклон коллектора в продольном направлении должен обеспечивать отвод осветленной воды.

105. Поперечное сечение стенок коллектора устанавливают статическим расчетом согласно специальным указаниям по статическому расчету коллекторов шламохранилищ, составленным институтом ВОДГЕО.

Если для устройства коллектора круглого поперечного сечения необходимы стенки значительной толщины или с высоким процентом армирования, может быть рассмотрен вариант коллектора с некруглым поперечным сечением. В этом случае форма поперечного сечения устанавливается статическим и гидравлическим расчетами.

106. Коллекторы выполняют из железобетона или металла. Предпочтительным является устройство коллекторов из железобетона. Железобетонные коллекторы могут сооружаться полностью сборными или полностью монолитными, а также смешанными.

107. Коллекторы укладывают либо на спрофилированный грунт (скальный, полускальный), либо на бетонное основание. В первом случае основание выравнивают песком с последующим его уплотнением. Во втором случае при укладке коллектора на основание подливают раствор. В некоторых случаях коллекторы можно укладывать непосредственно на основание из намытых шламов или в неглубокую траншею. Выбор способа укладки зависит от профиля местности и грунтовых условий.

108. После укладки коллекторы покрывают гидроизоляцией. Их стыковым соединениям должна быть обеспечена водонепроницаемость во избежание утечки шламов совместно с водой.

Глава V

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ШЛАМОХРАНИЛИЩ

1. Организация эксплуатации шламохранилища

109. Режим эксплуатации шламохранилища должен быть согласован с режимом эксплуатации обогатительной фабрики.

110. Сооружения шламохранилища после возведения и капитального ремонта должны быть приняты в эксплуатацию специальной приемной комиссией, в состав которой входят представители заказчика и подрядчика, проектной организации, пожарной охраны и других заинтересованных организаций.

Приемка сооружений комиссией проводится на основании натурных осмотров сооружений и проверки работы их элементов (дренажей, водосбросов и т. д.) по следующим документам:

1) исполнительным и рабочим чертежам проекта сооружений;

2) актам скрытых работ;

3) журналам лабораторного контроля с данными, характеризующими качество строительно-монтажных работ.

111. Для разработки и осуществления мероприятий по эксплуатации шламохранилищ организуют специальную службу, подчиненную главному инженеру обогатительной фабрики.

Примечание. Общие вопросы организации службы эксплуатации рекомендуется решать с учетом «Типовой инструкции по эксплуатации шламовых хозяйств обогатительных фабрик» (Механобр, Л., 1961).

112. В целях рациональной эксплуатации шламохранилища рекомендуется:

1) корректировать по мере изменения условий проект организации работ по эксплуатации шламохранилища.

Проект организации работ по эксплуатации шламохранилища должен содержать следующие данные:

а) состав механизмов эксплуатационного оборудования, их производственные мощности и другие основные характеристики;

б) порядок заполнения секций и время, необходимое для обезвоживания в них шламов;

в) уточнения, внесенные на месте в проект организации работ по эксплуатации шламохранилища, инструкцию по контролю за состоянием сооружений шламохранилища и своевременному ремонту их, учитывая особенности эксплуатации гидротехнических сооружений шламохранилищ;

г) график поярусного возведения дамб и намыва шламохранилища;

д) график демонтажа и монтажа эксплуатационного оборудования, насосных станций и водозаборов по мере заполнения хранилища шламами;

е) график мероприятий по подготовке шламохранилища к эксплуатации в зимних условиях, к пропуску весеннего паводка и т. п.;

ж) график обследования сооружений шламохранилища с рекомендацией состава и объема ремонтных работ;

з) график профилактического ремонта сооружений и оборудования, составленный на основе подробного осмотра сооружений шламохранилищ.

Работы по ликвидации последствий аварии должны производиться немедленно;

и) необходимые штаты эксплуатационного персонала и потребность в рабочей силе, механизмах, воде, энергии, строительных материалах и других наиболее важных для эксплуатации шламохранилища ресурсах;

2) составлять и корректировать местные инструкции для эксплуатации данного шламохранилища;

3) составлять и корректировать должностные инструкции для персонала, эксплуатирующего шламохранилище;

4) проверять готовность водосбросных и водоспускных сооружений руслового шламохранилища к пропуску паводка (в ответственных случаях для проведения всех работ по подготовке и пропуску паводка следует организовывать специальную комиссию); проверкой должны быть установлены:

а) исправность работы затворов и подъемных механизмов;

б) отсутствие льда, снега, древесины и различного мусора, которые могли бы помешать нормальной работе водосбросных сооружений и уменьшить их пропускную способность.

Перед входом в водосбросное сооружение лед должен быть взорван и удален, а в необходимых случаях вход огражден запанью;

в) достаточное освещение территории гидротехнических сооружений, исправность дорог, телефонов и других средств связи этих сооружений с управлением, складами и др.

В состав контрольных наблюдений за пропуском паводков (сезонных — весенних, снеговых, летних ледниковых и периодических — ливневых паводков и селей) входят проверка действия работы всех сооружений, участвующих в пропуске паводков, проверка своевременности окончания плановых и текущих ремонтов дамб и водосбросных сооружений, проверка очистки от крупных камней сооружений типа тоннелей и водоспускных коллекторов, проверка исправности всех регулирующих и берегозащитных сооружений, а также заготовка аварийного запаса материалов (камней, гравия, соломы, хвороста, мешков и пр.), инструментов и транспортных средств, контроль за поддержанием уровня воды в прудке-отстойнике шламохранилища на отметке, обеспечивающей аккумулирование паводка; контроль за созданием перед головными устройствами тоннелей и коллекторов специальных бассейнов необходимой емкости для задержания крупных камней, гальки, гравия и т. п.

113. Рекомендуется систематически наблюдать за намывом шламов и другими процессами, связанными с эксплуатацией шламохранилища, вести журналы записей результатов наблюдений, подбирать и хранить акты, чертежи и другие материалы, характе-

ризующие состояние, работу шламохранилища и его сооружений, данные о работе механизмов и оборудования, данные о зимней эксплуатации и пропуске паводка, об осуществляемых мероприятиях восстановительного и ремонтного характера при эксплуатации шламохранилища.

Состав и методы наблюдений, порядок и форма записей результатов наблюдений устанавливаются местной инструкцией.

2. Возведение ограждающих дамб вторичного обвалования

114. Ограждающие дамбы вторичного обвалования, имеющие, как правило, небольшую высоту, возводят в процессе эксплуатации шламохранилища на шламах и из шламов, намытых в отвал.

115. Пригодность шламов для возведения дамб вторичного обвалования и требования к раскладке шламов определяются их зерновым составом: если содержание частиц диаметром мельче 0,074 *мм* меньше 60% (по весу), то шламы можно намывать в дамбы без раскладки их по фракциям; если содержание частиц мельче 0,074 *мм* превышает 60% (по весу), то при возведении дамб из этих шламов следует применять раскладку их по фракциям.

Для раскладки по фракциям мелких шламов, содержащих частиц мельче 0,074 *мм* около 80%, применяют гидроциклон.

116. Ширину гребня дамбы вторичного обвалования при устройстве на ней эстакады для монтажа пульповодов следует назначать из условий возможности маневрирования на ней механизмов, осуществляющих эксплуатацию шламохранилища. Если пульповод не прокладывают по гребню дамбы, ширину гребня принимают по производственным условиям. При возведении дамбы бульдозером допускается принимать для нее треугольный профиль с откосами не круче полуторных.

Последующий ярус дамбы вторичного обвалования рекомендуется отсыпать от верховой бровки гребня дамбы предыдущего яруса в сторону шламохранилища, сохраняя этот гребень в качестве бермы для дальнейшей эксплуатации (см. рис. 40).

117. При проектировании, возведении и эксплуатации дамб вторичного обвалования должно быть уделено внимание борьбе с распылением шламов в целях обеспечения как защиты воздушного пространства над населенными пунктами от загрязнения, так и устойчивости ограждающих дамб.

Для борьбы с распылением рекомендуется проведение следующих мероприятий:

а) покрытие низового откоса и гребня ограждающей дамбы щебнем слоем 10—20 *см* или гравийно-песчаной смесью;

б) отсыпка на низовом откосе растительного грунта слоем 10—15 *см* с посевом трав, посадкой кустарника и деревьев;

в) одерновка низового откоса;

г) покрытие низового откоса пленкой, закрепление песчаных

откосов битумом, цементом, силикатами, полиакриламидом или другими химическими средствами.

Выбор типа покрытия определяется технико-экономическим расчетом.

3. Организация подачи пульпы в шламохранилище

118. Пульпу можно подавать в шламохранилище различными способами: эстакадным, зенитным и безэстакадным.

Подача пульпы с эстакад малой высоты

Замыв шламохранилища с эстакады малой высоты (рис. 59) можно применять при различных объемах подаваемой пульпы.

При этом способе подачи пульпы на гребне дамбы или на ее откосе (на расстоянии не менее 8 *м* от подошвы) монтируют деревянную эстакаду высотой до

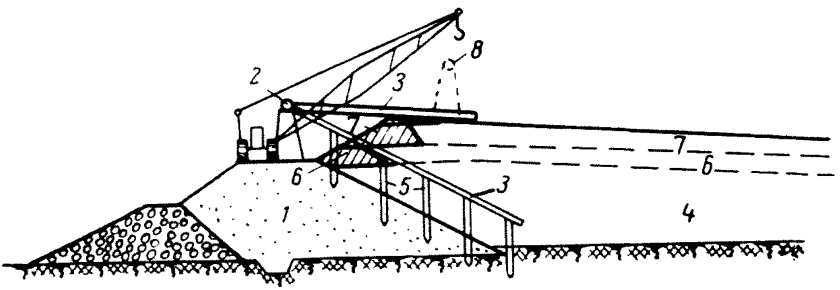


Рис. 59. Схема замыва шламохранилища с эстакады малой высоты

1 — дамба первичного обвалования; *2* — пульповод на эстакаде; *3* — лоток; *4* — первый ярус замыва; *5* — опоры лотка; *6* — второй ярус замыва; *7* — третий ярус замыва; *8* — второе положение пульповода

2—2,5 *м*. Для этого в ямы глубиной 1 *м* устанавливают стойки и укладывают на них насадки. По насадкам прокладывают трубы пульповода. В трубах устраивают выпуски на расстоянии от 6 до 12 *м* один от другого. Расстояние между выпусками увеличивается с уменьшением диаметра частиц шламов.

Из выпусков пульпу принимают в лотки, обычно деревянные. Под каждые 4—5 выпусков устраивают один приемный лоток. Из приемного лотка пульпу отводят по распределительным лоткам, уложенным по откосу на легких деревянных опорах, в прудок-отстойник. Распределительные лотки располагают через 24—30 *м* один от другого.

Для возможности выпуска пульпы и раскладки шламов по откосу в лотках устраивают отверстия. Эти отверстия размещают в зависимости от крупности подаваемых шламов и консистенции пульпы.

Замыв шламохранилища производят через 4—5 одновременно работающих выпусков при открытом конце пульповода. По мере намыва отвала выпуски перекрывают и открывают следующие по ходу пульпы выпуски, через которые и подают пульпу.

В случае применения оборотного водоснабжения прудок-отстойник хранилища до замыва шламов заполняют водой, а пульпу подают к урезу воды в нем.

Различают две стадии замыва шламохранилища по высоте:

I — от основания до гребня дамбы первичного обвалования; при этом шламовую пульпу подают по лоткам, звенья которых по мере повышения отвала постепенно снимают;

II — выше гребня дамбы первичного обвалования; на этой стадии из шламов, отложившихся на пляже, с помощью бульдозера или экскаватора отсыпают ограждающие дамбы вторичного обвалования, за которые затем намывают шламы.

Когда поверхность отвала поднимется к выпускам, пульповод и эстакаду демонтируют, снимая насадки и выдергивая с помощью крана стойки. Очередной ярус дамбы вторичного обвалования отсыпают с увеличенной шириной гребня, монтируя на нем эстакаду и пульповод. С этой эстакады замывают новую ступень шламохранилища также до выпусков пульповода, как было указано выше, и т. д.

Для механизации монтажных работ и для отсыпки дамб успешно применяют универсальный снаряд, оборудованный краном и грейфером или драглайном.

Подача пульпы с высоких эстакад

При большой интенсивности нарастания отвала, когда требуется частая перестановка эстакад малой высоты, а также частый демонтаж и монтаж пульповода, целесообразнее устраивать эстакады значительной высоты. Организация замыва шламохранилища с эстакад большой высоты аналогична описанной выше для эстакад малой высоты.

По мере повышения отвала горизонтальные и наклонные элементы эстакады постепенно удаляют. Стойки эстакады оставляют в отвале.

Подача пульпы зенитным способом с подкладок

Зенитный способ подачи пульпы рекомендуется применять при небольшом выходе шламов (небольшой интенсивности нарастания отвала шламохранилища) и при небольшой высоте отвала (менее 12 *м*).

При этом способе также различают две стадии замыва шламохранилища:

I — на гребне дамбы первичного обвалования на подкладках (или на эстакаде малой высоты) монтируют распределительный пульповод с выпусками в виде труб, размещаемыми на расстоянии 6—12 *м* один от другого. Выпуски оборудуют затворами, обычно клапанными. В трубах выпусков устраивают сбросные отверстия диаметром 50 *мм*, закрывая их деревянными пробками. Затем ведут замыв шламохранилища до гребня дамбы первичного обвалования в порядке, аналогичном описанному для подачи пульпы с эстакад малой высоты;

II — когда поверхность отвала достигнет гребня дамбы первичного обвалования, из шламов отсыпают дамбу вторичного обвалования. Затем к выпускам присоединяют трубы диаметром 200 *мм*, располагая их под углом, соответствующим углу низового откоса дамбы, с таким расчетом, чтобы открытый торец их выходил за гребень дамбы вторичного обвалования (рис. 60). Подавая через торец трубы пульпу, замывают ярус шламохранилища перед дамбой вторичного обвалования. Пульпу можно подавать на пляж с помощью лотков. Затем на намытых шламах возводят следующий ярус дамбы вторичного обвалования из шламов и замывают перед ней очередной ярус шламохранилища; так продолжают намыв до тех пор, пока отвал поднимется на 8—10 *м* выше гребня дамбы первичного обвалования.

На этом уровне отвала отсыпают из шламов дамбу с уширенным гребнем, на котором на подкладках (или на эстакаде малой высоты) вновь монтируют распределительный пульповод. Затем, последовательно присоединяя звенья труб диаметром 200 *мм*, постепенно удлиняют их, начиная от выпуска, так, чтобы общая высота новой ступени отвала снова достигла величины 8—10 *м*, повторяя все операции по замыву шламов и возведению очередного яруса дамб вторичного обвалования.

Из распределительного пульповода пульпу одновременно подают через 3—4 выпуска. Остальные выпуски закрывают затворами. Намыв слой шламов толщиной 20—30 *см*, затворы этих выпусков закрывают, а затворы следующих 3—4 выпусков по ходу пульпы открывают, и так продолжают до конца замываемого участка.

Применение зенитного способа подачи пульпы на обогатительных фабриках ограничено в связи с характерными для него большими потерями напора.

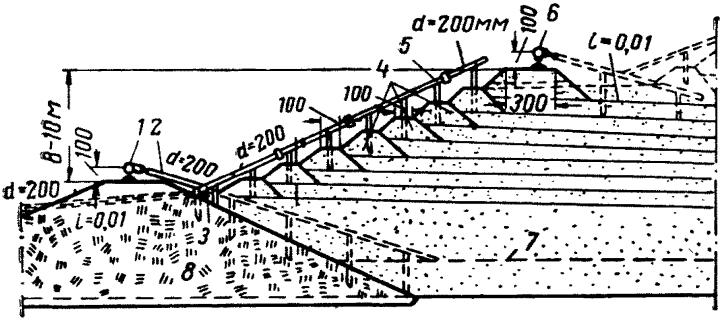


Рис. 60. Схема замыва шламохранилища зенитным способом с подкладок

1 — распределительный пульповод; *2* — стальная труба выпуска; *3* — деревянная труба; *4* — дамбы вторичного обвалования, отсыпаемые из шламов; *5* — фанерная труба пульповода; *6* — второе положение распределительного пульповода; *7* — начальный уровень воды; *8* — насыпная дамба первичного обвалования

Подача пульпы зенитным способом с наклонных лаг (рис. 61)

Этот способ рекомендуется для фабрик, сбрасывающих небольшое количество шламов (до 5000 *т/сутки*).

При этом способе также различают две стадии замыва шламохранилища:

I — производят замыв емкости перед дамбой первичного обвалования описанным ранее способом. Распределительный пульповод из фанерных (или стальных) труб диаметром 250—400 *мм* монтируют вдоль гребня ограждающей дамбы первичного обвалования на лагах, уложенных на сваи или стойки, забитые на расстоянии 4—6 *м* одна от другой, под углом, соответствующим углу низового откоса дамб вторичного обвалования. Трубы закрепляют на лагах с помощью упоров. В распределительном пульповоде через 1—1,5 *м* по его длине просверливают отверстия диаметром 40—50 *мм*. Пульпу подают через 15—20 таких отверстий. При этом наиболее крупные фракции шламов выпадают вблизи отверстий и создают пляж. Мелкие же фракции с потоком пульпы переносятся в прудок-отстойник шламохранилища;

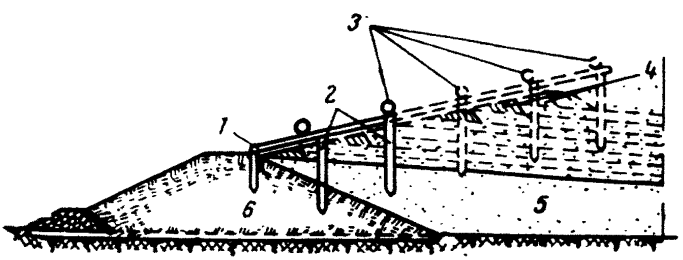


Рис. 61. Схема замыва шламохранилища зенитным способом с наклонных лаг

1 — наклонные лаги; *2* — сваи; *3* — последовательные положения распределительного пульповода; *4* — дамбы вторичного обвалования, отсыпаемые из шламов; *5* — отложения шламов; *6* — дамба первичного обвалования

II — после того как поверхность отвала шламов поднимется до гребня дамбы первичного обвалования, на отвал отсыпают дамбу вторичного обвалования. С нее продолжают замыв шламохранилища до тех пор, пока отвал поднимется к выпускам распределительного пульповода и возникнет необходимость поднять его. Забивая очередной ряд свай и укладывая лаги выше по откосу, передвигают по ним пульповод — одновременно по всей его длине.

Достоинствами этого способа являются возможность передвижения распределительного пульповода без перерывов в процессе подачи пульпы, а также возможность проведения всех работ по отсыпке дамб вторичного обвалования, монтажу пульповода и его передвижению средствами малой механизации.

Подача пульпы безэстакадным способом

Этот способ замыва шламохранилища характеризуется простотой применения и рекомендуется при интенсивной подаче шламов (свыше 5000 *т/сутки*), а также при большой емкости и длине хранилища. Замыв проходит успешно при высокой консистенции пульпы. Пульпа подается в отвал непосредственно из торца трубы, уложенной на поверхность отвала. В связи с сосредоточенной подачей

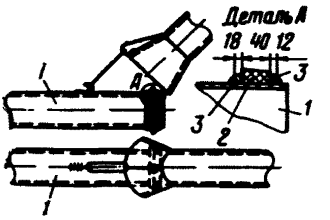


Рис. 62. Быстроразъемное соединение труб, применяемое при безэстакадном способе замыва

1 — гладкий конец трубы; *2* — резиновое уплотняющее кольцо; *3* — приваренные буртики

пульпы мероприятия по улучшению раскладки шламов и по отбору крупных фракций по фронту отсыпки дамб вторичного обвалования не могут проводиться. Поэтому использование отвала для возведения ограждающих дамб вторичного обвалования возможно лишь при поступлении с обогатительной фабрики шламов значительной крупности (частиц менее 0,074 *мм* меньше 60%).

Время обезвоживания шламов, обеспечивающее проходимость отвала для механизмов, уточняют по лабораторным исследованиям и указывают в местной инструкции.

Намыв шламов перед дамбой первичного обвалования и перед дамбами вторичного обвалования производят с помощью одних и тех же организационных приемов.

Ограждающие дамбы вторичного обвалования возводят с помощью бульдозера или грейфера из шламов, намытых на пляже, если их крупность не менее указанной выше.

Распределительный пульповод монтируют последовательно из звеньев стальных труб, используя быстроразъемное соединение. Конструкция быстроразъемного соединения представлена на рис. 62: на гладком конце звена приварены крюк и два стальных буртика, а на раструбном приварена петля. Между буртиками зажимается резиновое кольцо, уплотняющее стык двух соединяемых звеньев.

Петлю крайнего звена пульповода, через которое будет подаваться пульпа, надевают на крюк предыдущего и звено плавно опускают, сжимая резиновое кольцо и уплотняя стык. В процессе подачи пульпы наращиваемое звено поддерживают краном в несколько наклонном положении, обеспечивая превышение переднего конца звена над поверхностью намыва на 50 *см* (рис. 63).

Через торец крайнего звена пульповода подают пульпу до тех пор, пока поверхность отложений шламов не подойдет к подошве деревянного бруса толщиной 20—25 *см*, на котором покоится в горизонтальном положении предыдущее звено.

На намытые шламы кладут брусья, а на них укладывают горизонтально звено пульповода, находившееся до этого в наклонном положении, и цикл повторяют: подсоединяют к горизонтальному звену новое, поддерживая его в наклонном положении, подают пульпу через открытый торец до предела, указанного выше, и т. д.

Дойдя путем постепенного наращивания пульповода до конца намываемого участка, меняют направление намыва и, отступая, последовательно снимают звенья пульповода. Поднимая и поддерживая в наклонном положении конечное

звено, убирают лежащие под ним брусья и намывают шламы до нижнего края следующего звена, лежащего на подкладках, и т. д., до начала намываемого участка. На разрезе *I—I* (рис. 63) стрелкой *А* показан намыв шламов при прямом ходе наращивания трубы пульповода, стрелкой *Б* — то же, при обратном ходе.

После этого повторяют все операции намыва до тех пор, пока не будет замыт весь объем шламохранилища.

Звенья присоединяют и снимают в процессе непрерывной подачи пульпы. Монтаж и демонтаж звеньев производят с помощью гусеничного крана грузоподъемностью 3—5 *т* (трубоукладчик).

Способом безэстакадной подачи пульпы замывают и карьерную выработку. Распределительный пульповод при этом укладывают непосредственно на намы-

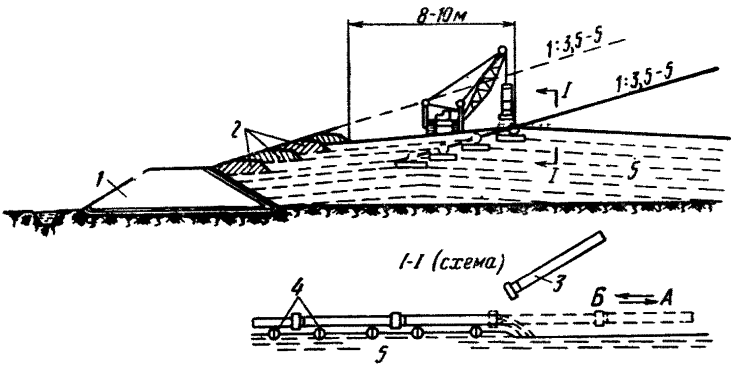


Рис. 63. Схема замыва шламохранилища сосредоточенным безэстакадным способом

1 — дамба первичного обвалования, отсыпанная из грунта; *2* — дамбы вторичного обвалования, отсыпанные из шламов; *3* — наращиваемое звено пульповода; *4* — деревянные подкладки; *5* — отложения шламов

тые шламы, постепенно наращивая его отдельными звеньями, начиная от магистрального пульповода, уложенного вдоль выработки.

4. Раскладка шламов в хранилище

119. Различают естественную и искусственную раскладку шламов в хранилище. Естественная раскладка происходит при подаче пульпы в хранилище без каких-либо специальных устройств. Искусственную раскладку шламов осуществляют с помощью специальных устройств для раскладки шламов по фракциям.

Искусственную раскладку шламов применяют для возможности возведения дамб вторичного обвалования из наиболее крупных частиц шламов, а также для возможности промышленного использования шламов с повышенным содержанием ценных компонентов.

Искусственная раскладка шламов может осуществляться тремя способами:

1) намывом шламов в два прудка;

2) делением потока пульпы в пульповоде с помощью гидроциклона, если шламы мелкие и сильно разжижены, или с помощью

пульподелителя, если шламы средней крупности подаются большим расходом, на две части — нижняя с преобладающим содержанием крупных фракций направляется на пляж, а верхняя с мелкими фракциями — в прудок-отстойник;

3) отбором крупных фракций из пульпы с помощью специально устроенных донных отверстий в пульповоде в зоне пляжа.

120. Выбор способа замыва при раскладке фракций зависит от состава шламов:

Содержание в шламах частиц диаметром 0,25 *мм* и более в %	Способ замыва хранилища с раскладкой фракций шламов
>30	Поперечный
>20	Продольный
Любое	Продольно-поперечный

Поперечный способ замыва хранилища с раскладкой фракций шламов

Для организации этого способа замыва магистральный пульповод укладывают на опорах по гребню дамбы первичного обвалования. Через 30—40 *м* по длине магистрального пульповода устраивают выпуски из труб диаметром 150—300 *мм* или из лотков, направляя их к прудку-отстойнику шламохранилища. Длина выпусков зависит от высоты и заложения откосов ограждающих дамб.

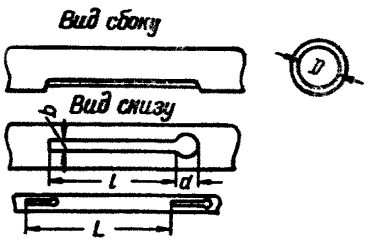


Таблица 17

Размеры в *мм* отверстий в выпусках

Диаметр выпуска *D*	Длина отверстий *l*	Ширина отверстий *b*	Диаметр круглой части отверстий *d*
150	120	50	100
200	500	50	100
300	900	50	130

Примечание. *L* — шаг отверстий.

По длине выпусков на расстоянии 5 *м* друг от друга делают отверстия (табл. 17). Число отверстий в поперечном сечении выпусков назначают в зависимости от высоты дамбы:

Высота дамбы в *м*	1,5	3	4,5
Число отверстий в поперечном сечении	1	2	3

Пульпу выдают через торец пульповода и последовательно открываемое одно отверстие в трубе выпуска. Остальные отверстия в трубе выпуска должны быть закрыты.

Продольный способ замыва хранилища с раскладкой фракций шламов

Для организации этого способа замыва магистральный пульповод укладывают по верховому откосу ограждающей дамбы на опорах высотой до 5 *м*. В трубах выпусков устраивают отверстия (табл. 18).

При замыве шламохранилища одновременно работают два-три отверстия в выпуске и торец пульповода.

По окончании замыва одного яруса шламохранилища устраивают эстакаду и монтируют пульповод на дамбе следующего яруса.

Таблица 18

Размеры в *мм* отверстий в выпусках

Диаметр выпуска	Длина отверстий	Ширина отверстий	Расстояние между отверстиями по длине выпуска в *м*
150	50	50	3
200	50	50	4
300	50	50	6

Продольно-поперечный способ замыва хранилища с раскладкой фракций шламов

Этот способ обеспечивает наилучшее распределение фракций для дальнейшего возведения дамб из шламов. Его применяют при разнообразных составах шламов.

Магистральный пульповод с выпусками из него в сторону прудка-отстойника шламохранилища, сделанными из труб диаметром 150—300 *мм*, укладывают по гребню дамбы первичного обвалования. В конце каждого выпуска устраивают отверстие диаметром от 80 до 120 *мм*. Расстояние между выпусками принимают в зависимости от величины их диаметра:

Диаметр выпуска в *мм*	150	200	300
Расстояние между выпусками в *м*	2	3	5

Под отверстием выпуска вдоль дамбы устанавливают приемный лоток с отверстиями (табл. 19). Из приемного лотка пульпу выдают в распределительные лотки, направляемые в обе стороны от приемного лотка по пляжу.

Таблица 19

Размеры в *мм* отверстий в распределительных лотках

Диаметр выпуска	Количество отверстий с каждой стороны приемного лотка	Ширина отверстий	Длина отверстий	Расстояние между отверстиями в *м*
150	3	50	70	2—3
200	4	50	100	2—4
300	6	50	150	3—5

121. Фактическую раскладку шламов в эксплуатируемом шламохранилище устанавливают путем определения зернового состава специально отобранных из отвала шламов проб.

Прогноз раскладки шламов в проектируемом шламохранилище следует производить по аналогам — эксплуатировавшимся и эксплуатируемым шламохранилищам.

122. Уклоны поверхности шламов, намываемых без применения специальных мероприятий для их раскладки по фракциям, приведены в табл. 20.

Применяя при выпуске пульпы в атмосферу мероприятия, предназначенные для раскладки шламов по фракциям, можно по-

Таблица 20

Уклоны поверхности намытых шламов

Условия выпуска пульпы	Место отложения шламов	Уклон
В атмосферу	У выпуска	0,33—0,2
То же	Между выпуском и прудком-отстойником	0,05—0,02
Под воду	У выпуска и в прудке-отстойнике	0,1—0,05

лучить и более дифференцированные уклоны поверхности намытых шламов.

5. Замыв шламохранилища в зимних условиях

123. При неустановившейся отрицательной температуре до минус 10° С шламохранилище следует замывать в соответствии с указаниями, изложенными в настоящих рекомендациях, при этом толщина намываемого слоя не должна превышать половины глубины промерзания.

124. При установившейся отрицательной температуре ниже минус 5° С шламохранилище можно замывать только при наличии специально составленного проекта, инструкции по проведению замыва шламохранилища в зимних условиях и графика замыва шламохранилища и возведения дамб.

Подготовка к замыву шламохранилища в зимних условиях заключается в следующем:

1) вблизи обогатительной фабрики выделяют участок шламохранилища с наименьшим количеством задвижек и шиберов на трубопроводах;

2) заблаговременно, при положительных температурах, возводят ограждающие дамбы такой высоты, чтобы создаваемая ими емкость с учетом льдообразования обеспечивала надлежащее осветление воды и складирование шламов на весь сезон;

3) шламохранилище заполняют водой до отметки, установленной расчетом для ледостава;

4) инструктируют обслуживающий персонал и готовят материальную часть к условиям зимнего замыва шламохранилища.

Примечание. Емкость, подготовленную к зимней эксплуатации, запрещается использовать по другому назначению, например заполнять стоками, на которые она не рассчитана.

125. Для нормальной эксплуатации шламохранилища в зимних условиях необходимо соблюдать следующее:

1) подачу пульпы в шламохранилище и отбор воды из прудка-отстойника проводить таким образом, чтобы сохранять положение отметки льда, установленной расчетом для ледостава;

2) на все время замыва шламохранилища в зимних условиях обеспечивать сосредоточенную подачу пульпы через торец пуль-

повода и только под воду; надводный намыв пляжа в зимних условиях не разрешается;

3) не допускать выхода конуса шламов выше поверхности воды и подачи пульпы на лед;

4) поддерживать в надлежащем состоянии проруби, своевременно скалывая и удаляя намерзший лед и шламы;

5) закрывать неработающие выпуски пульпы и окна водосбросных колодцев и по возможности утеплять задвижки и шиберы,

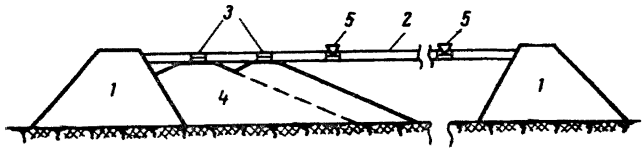


Рис. 64. Схема зимнего замыва шламохранилища

1 — ограждающие дамбы; *2* — поверхность льда; *3* — проруби; *4* — отвал шламов; *5* — уровень воды

эксплуатируемые зимой. Утеплять выход коллектора и систематически расчищать его устье от намерзающего льда;

6) скалывать лед вокруг водосбросных колодцев, не допуская его попадания в коллектор.

126. Замыв шламохранилища в зимних условиях проводят по схеме, изображенной на рис. 64.

После установления ледостава в слое льда устраивают прорубь, подводят к ней торец пульповода и подают пульпу под воду.

При подходе конуса шламов к поверхности воды пульповод наращивают, подводят его к следующей, заранее заготовленной проруби и подают пульпу в нее. Расстояние между прорубями устанавливают с учетом полноты использования объема шламохранилища и трудоемкости работ по устройству новой точки приема пульпы.

Работы по устройству прорубей, наращиванию пульповода и подаче пульпы продолжают до конца полосы замываемого участка. Затем переходят на соседнюю полосу, замывая ее в обратном направлении. При этом устраивают проруби и подводят к ним пульповод, постепенно разбирая его звенья.

6. Контрольные наблюдения при эксплуатации шламохранилищ

127. Основной целью контрольных наблюдений при намыве шламов в хранилища и ограждающие дамбы является проверка соответствия технологии намыва инструкции по намыву шламов для данной обогатительной фабрики, оценка качества намыва шламов в ограждающие дамбы, а также получение данных, необходимых для усовершенствования технологии намыва шламов.

128. Контрольные наблюдения при эксплуатации шламохранилищ осуществляет контрольный пост, входящий в состав штата шламового хозяйства обогатительной фабрики. В штат контрольного поста (полевой лаборатории) входят инженер и техник, которые находятся в непосредственном подчинении начальника шламохранилища.

Обязанности контрольного поста заключаются в нивелировке профиля шламохранилища и ограждающих дамб, в замерах осадки дамб и фильтрации через них, в наблюдениях за качеством осветления воды в прудке-отстойнике, а также в определении основных характеристик шламов и грунтов по отобранным образцам. К основным контрольным характеристикам грунтов и шламов, определяемым в лаборатории контрольного поста, которая должна быть оборудована необходимой аппаратурой и приспособлениями, относятся: 1) удельный вес; 2) объемный вес и влажность; 3) зерновой состав; 4) консистенция пульпы; 5) коэффициент фильтрации.

Результаты наблюдений контрольный пост ежесуточно передает начальнику шламохранилища. В случае неудовлетворительного выполнения работ по возведению дамб и намыву шламов в хранилище об этом немедленно докладывают начальнику обогатительной фабрики.

129. Контрольные наблюдения за возведением и эксплуатацией плотинных шламохранилищ должны соответствовать указаниям следующих глав СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования» и II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования».

130. В состав контрольных наблюдений (геотехнических и гидрогеологических) входят следующие наблюдения:

1) за разработкой грунта в карьере;

2) за технологией намыва шламов в упорную призму ограждающей дамбы и за состоянием последней;

3) за технологией намыва шламов в хранилище и за сбросом воды из него;

4) за фильтрацией воды через ограждающие дамбы в процессе намыва шламохранилища.

Контрольные наблюдения за разработкой грунта в карьере

Контрольные наблюдения за разработкой грунта в карьере проводят с целью установления пригодности его для использования в теле ограждающей дамбы.

Примечание. Для возможности контроля за разработкой грунта в карьере контрольный пост должен иметь план карьера с указанием его границ, а также проект разработки грунта в карьере.

К контрольным наблюдениям за разработкой грунта в карьере относятся наблюдения за положением забоя и размещением его в пределах карьера, предусмотренных проектом, а также за правильностью разработки проектной толщи грунта.

В случае, если разработка грунта ведется вне пределов карьера, предусмотренных проектом, а также в случае поступления на дамбу грунта, не соответ-

ствующего принятому в проекте, работники лаборатории ставят об этом в известность начальника шламохранилища.

При проведении контрольных наблюдений за разработкой грунта в карьере следует руководствоваться указаниями главы СНиП III-Б.1-62 «Земляные сооружения. Общие правила производства и приемки работ».

Контрольные наблюдения за технологией намыва шламов

Контрольные наблюдения за намывом шламов в хранилище проводят с целью проверки соблюдения проектной технологии намыва и принятых схем и способов заполнения шламохранилища.

Контрольные наблюдения за намывом шламов в ограждающие дамбы проводят с целью проверки соблюдения проектной технологии намыва ограждающих дамб и принятых способов намыва шламов.

О замеченных отклонениях от проектных данных следует немедленно докладывать начальнику шламохранилища.

К контрольным наблюдениям за технологией намыва относятся наблюдения за характером стекания пульпы по карте намыва: она должна стекать без образования сосредоточенных потоков, промоин и застойных зон (особенно при намыве шламов в ограждающие дамбы), а также за уклоном откоса намываемой дамбы (с помощью реек).

Примечание. В случае необходимости могут быть замерены скорости течения воды в прудке-отстойнике (с помощью поплавков), а также расход осветленной воды, сбрасываемой из шламохранилища (с помощью мерных реек на водосбросных колодцах).

В целях максимального использования производительности насосных станций (в случае подачи пульпы в шламохранилища под напором), а также для контроля правильности технологии намыва шламов рекомендуется замерять консистенцию подаваемой пульпы консистометром с самописцем.

Примечание. В настоящее время для измерения консистенции пульпы применяют консистометры двух типов: понтонные и с использованием гамма-лучей, «просвечивающих» трубопровод.

Для определения наличия взвеси в осветленной воде, сбрасываемой из шламохранилища, берется проба воды у водосбросного колодца.

Для контроля за качеством намыва шламов в ограждающие дамбы проводят проверку соблюдения раскладки шламов по крупности в ограждающей дамбе проекту, а также установление зернового состава проб шламов, взятых для определения объемного веса и влажности.

Примечание. Отбор проб шламов производят из нескольких мест дамбы в поперечном и продольном ее направлении. При отборе проб, а также при определении физических свойств шламов необходимо пользоваться «Инструкцией по определению полевых контрольных характеристик грунта, уложенного или намытого в земляные сооружения» [4].

Для контроля за возведением ограждающих дамб используют деревянные рейки, устанавливаемые по всей длине дамбы по поперечникам.

При необходимости более полной оценки качества возведенных ограждающих дамб проводят дополнительные наблюдения, включающие определение коэффициента фильтрации и сопротивления сдвигу намытых шламов (одна проба на 100—150 тыс. $м^3$ намытых шламов). Эти характеристики определяют в лаборатории на образцах ненарушенной структуры. В случае невозможности получения образцов ненарушенной структуры используют образцы нарушенной структуры, загружая их в прибор при той плотности, которая соответствует плотности шламов в натуре.

Взятие для контроля образцов намытых шламов и лабораторные определения их характеристик должны сопровождаться записями в соответствующих журналах.

Наблюдение за уплотнением с течением времени намытых в ограждающие дамбы шламов рекомендуется проводить с помощью глубинных реперов телескопического типа, фиксирующих осадку намытых шламов, а следовательно, изменение их плотности.

Реперы устанавливают в процессе намыва шламов в местах, где наблюдение за изменением их плотности представляет наибольший интерес.

Примечание. Для наблюдения за осадкой шламов во времени при объеме намываемой ограждающей дамбы не менее 500 тыс. $м^3$ ориентировочно назначают по 2—3 репера в одном или в двух створах.

Контрольные наблюдения за фильтрацией воды через ограждающие дамбы

Для контроля за фильтрацией воды через ограждающие дамбы в течение всего периода намыва шламов в хранилища и ограждающие дамбы следует вести визуальные наблюдения за состоянием откосов дамбы с фиксацией в специальном журнале мест выклинивания фильтрационных вод. Если в этих местах наблюдаются деформации откосов, то для возможности систематического наблюдения за ними путем нивелирования здесь устанавливают реперы. О результатах таких наблюдений ставят в известность начальника шламохранилища.

Размывы откосов дождевыми и талыми водами должны немедленно ремонтироваться эксплуатационным персоналом шламохранилища.

131. Во всех случаях при проведении контрольных наблюдений за качеством возведения ограждающих дамб следует руководствоваться главами СНиП: II-И.4-62 «Плотины земляные насыпные. Нормы проектирования» и II-И.5-62 «Плотины земляные намывные. Нормы проектирования», а также «Временной инструкцией по производству работ гидромеханизации в зимнее время» и «Инструкцией по определению полевых контрольных характеристик грунта, уложенного или намытого в земляные сооружения» [4].

132. Натурные исследования тела и откосов гидроотвала позволяют решать следующие задачи:

а) осуществлять постоянный контроль за состоянием сооружения в целом и работой его отдельных элементов;

б) проверять правильность проведенных расчетов и новых конструктивных решений, принятых в проекте;

в) получать и накапливать данные, обобщение которых дает возможность решать вопросы, имеющие значение для других сооружений.

133. Контрольные наблюдения проводят для оценки состояния сооружения, надежности его работы, своевременного выявления имеющихся дефектов и назначения ремонтных мероприятий, предотвращения возможных аварий и улучшения условий эксплуатации.

Специальные исследования проводят для проверки и уточнения отдельных проектных положений и решения задач научно-исследовательского характера.

134. Натурные исследования сооружений осуществляют:

а) в период возведения сооружений — для проверки соответствия натурных данных проектным и прогноза конечных величин деформаций в целях уточнения строительных запасов и т. д.;

б) в период сдачи сооружений в эксплуатацию — для получения данных, характеризующих состояние сооружений в предпусковой период;

в) в процессе постоянной эксплуатации — для контроля за состоянием сооружений.

Для проведения натурных исследований сооружений их оборудуют контрольно-измерительной аппаратурой, установку которой осуществляют в соответствии с проектом.

135. Состав, объем и сроки проведения контрольных наблюдений определяются в зависимости от класса капитальности сооружения, его конструкции и размеров, инженерно-геологических условий, методов возведения сооружения и условий его эксплуатации.

136. Основные вопросы, изучаемые на всех сооружениях, связаны с фильтрационными процессами и деформациями, происходящими в теле гидроотвала и его основании.

137. Фильтрационные исследования заключаются в наблюдении за характером движения фильтрационного потока в теле сооружения, его основании и в сопряжениях с сооружениями из других материалов и с берегами (в обход сооружения).

При фильтрационных исследованиях сооружений определяют:

а) положение депрессионной кривой;

б) пьезометрические напоры в основании и в наиболее характерных местах шламохранилища (в сопряжениях с берегами и другими сооружениями);

в) расходы и мутность фильтрующейся воды;

г) скорость течения и направление фильтрационного потока.

138. Размещение пьезометров для фильтрационных исследований зависит от конструкции сооружения, его размеров, изменения геологической структуры основания, наличия и протяженности противофильтрационных устройств, а также ответственности сооружения. Обычно рекомендуется располагать пьезометрические створы через 200—300 *м*, а для наиболее ответственных сооружений — через 50—100 *м*.

Для наблюдения за фильтрацией в обход сооружений также используют пьезометрическую сеть. Пьезометрические створы располагают непосредственно по контакту сооружения с берегами, а также в берегах выше и ниже сооружения.

139. В дамбах, плотинах и гидроотвале применяют пьезометры точечные, глубинные и шахтные (рис. 65). *Точечные* пьезометры устанавливают в теле плотины в зоне расположения противофильтрационных и дренажных устройств, а также в сопряжениях с сооружениями из других материалов и с берегами. *Глубинные* пьезометры устанавливают в основании для определения пьезометрических напоров в водоносных пластах. *Шахтные* пьезометры устанавливают в теле плотины для определения положения депрессионной кривой.

Пьезометр в собранном виде, т. е. со смонтированным фильтром и отстойником, опускают в скважину диаметром 150—200 *мм*, пробуренную в теле или основании дамбы или плотины.

Водоприемник пьезометра (рис. 66) представляет собой перфо-

рированную трубу, обвернутую винипластовой гофрированной сеткой и стеклотканью. Отверстия диаметром 6—10 *мм* сверлятся в шахматном порядке рядами по периметру трубы. Расстояние между рядами принимается равным 100—150 *мм*. Количество отверстий должно обеспечивать скважность трубы 10—15%. Длина водоприемной части пьезометра зависит от его назначения. В то-

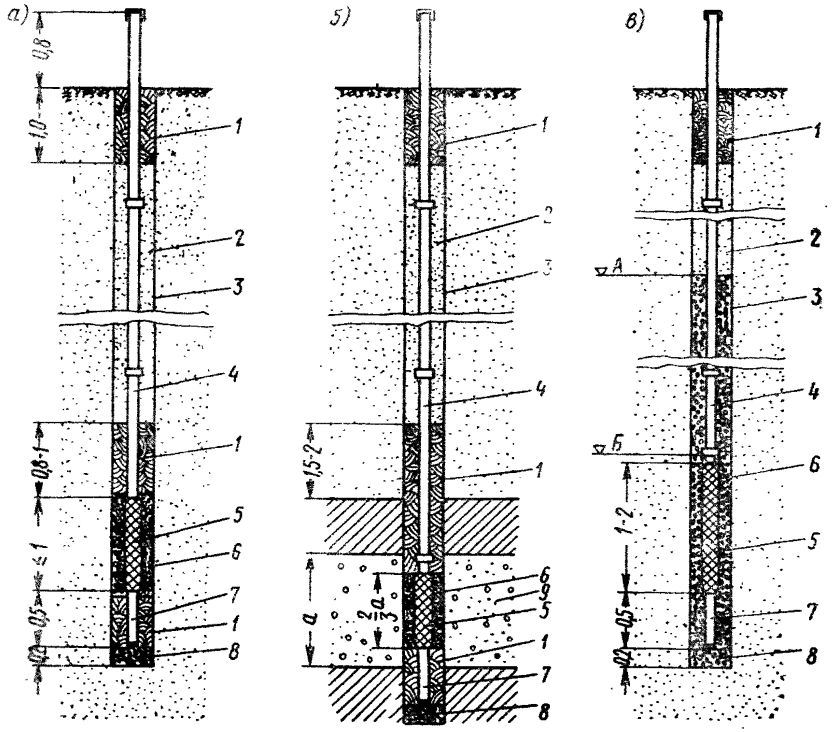


Рис. 65. Конструкции пьезометров

а — точечный; *б* — глубинный; *в* — шахтный; *1* — забивка суглинком или глиной; *2* — засыпка местным грунтом; *3* — скважина; *4* — пьезометрическая труба; *5* — водоприемник; *6* — фильтровая обсыпка; *7* — отстойник; *8* — гравийная подушка; *9* — напорный водоносный пласт (*А* — наивысшее положение кривой депрессии; *Б* — наинизшее положение кривой депрессии)

чечных пьезометрах водоприемник делается длиной 0,5—1 *м*, в глубинных — $^2/_3$ мощности пласта, в котором он устанавливается, в шахтных — 1—2 *м*. Пространство между пьезометрической трубой и стенкой скважины в точечных и глубинных пьезометрах засыпают по всей длине водоприемника просеянным и промытым крупнозернистым песком. Выше и ниже фильтровой обсыпки затрубное пространство забивают глиной или суглинком.

140. Исследование деформаций сооружений заключается в определении общих и местных деформаций, возникающих под действием внешних и внутренних сил.

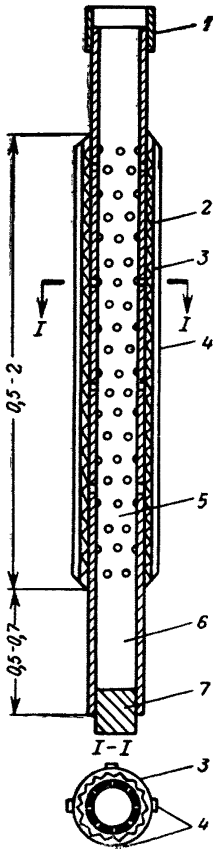


Рис. 66. Конструкция водоприемника пьезометра

1 — муфта; *2* — винипластовая сетка; *3* — стеклоткань; *4* — деревянная рейка; *5* — перфорированный участок трубы; *6* — отстойник; *7* — пробка

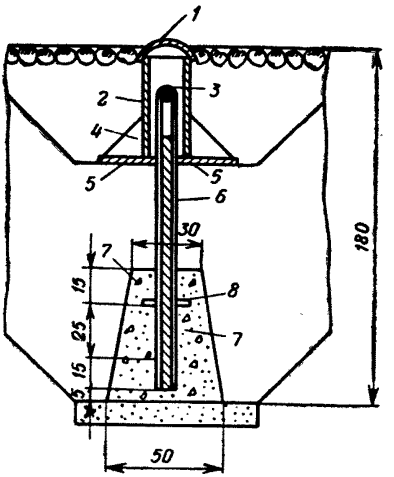


Рис. 67. Конструкция поверхностной марки для наблюдения за осадкой земляных сооружений (размеры в *см*)

1 — крышка люка; *2* — труба диаметром 150 *мм*; *3* — головка марки; *4* — косынки; *5* — фланец; *6* — труба марки; *7* — бетонная призма; *8* — коротыши

К общим деформациям относятся вертикальные перемещения (осадки), горизонтальные перемещения (сдвиги), наклоны сооружений и взаимные перемещения их элементов.

Осадки измеряют нивелированием контрольных реперов (марок), устанавливаемых непосредственно на сооружениях и в их основании. Нивелирование осуществляется от специальных опорных точек, называемых фундаментальными реперами.

Горизонтальные перемещения измеряют геодезическими методами (створными и комбинированными), а также с помощью отвесов и методом натянутой нити.

К местным (локальным) деформациям относятся обрушения незначительных масс, не приводящие к потере работоспособности сооружений. Особенно часто такие деформации проявляются в местах выхода фильтрационного потока на откос.

141. Осадка гидроотвала, дамбы или плотины складывается из осадки основания под действием веса материала, укладываемого в тело сооружения, и осадки самого тела сооружения вследст-

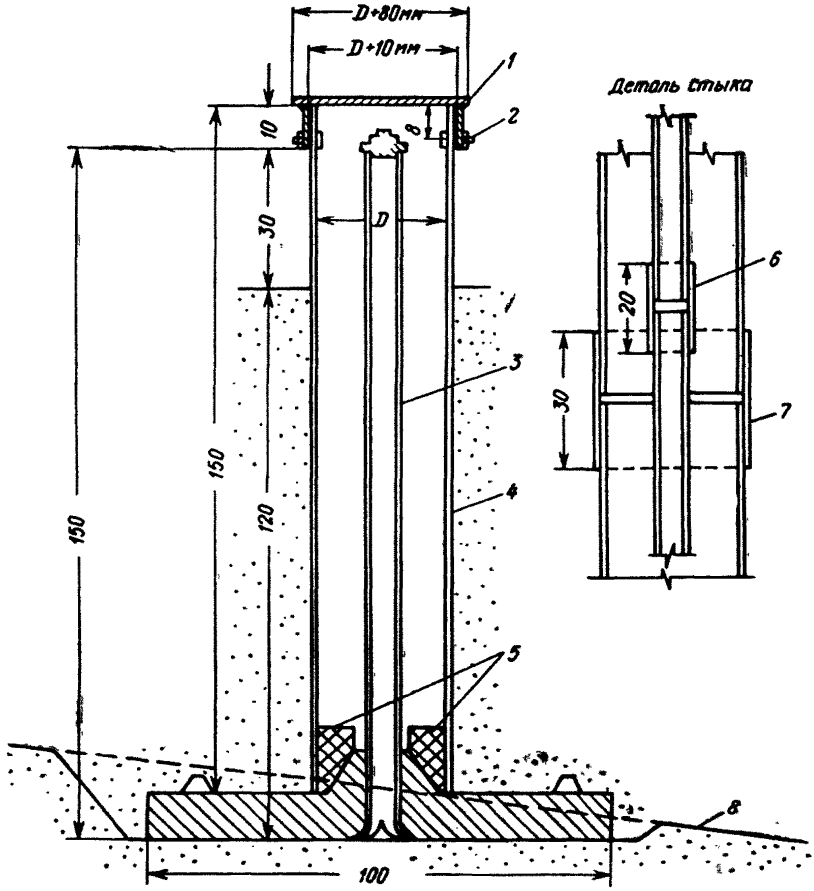


Рис. 68. Конструкция марки, устанавливаемой на пляже гидроотвала (размеры в *см*)

1 — крышка металлическая, δ =6 *мм*, Ст.3; *2* — болты диаметром 10 *мм*, длиной 100 *мм*, Ст. 3; *3* — контрольный знак; *4* — фанерная труба диаметром 300 *мм*, длиной 1500 *мм*; *5* — пробки деревянные; *6* — муфта соединительная с резьбой, Ст.3; *7* — муфта соединительная фанерная; *8* — поверхность пляжа гидроотвала к моменту установки плиты контрольного знака (первоначальная). Примечание. При установке плиты глубже 120 *см* трубы стыкуют с помощью муфт по прилагаемому чертежу

вие уплотнения материала. Поэтому при организации наблюдений за вертикальными деформациями дамб или плотин проводят измерения осадки отдельно тела сооружения и основания. Кроме измерения общей осадки дамбы или плотины определяется также послойная осадка (сжатие) тела дамбы или плотины.

142. Для определения суммарной осадки тела и основания плотины, дамбы или гидроотвала на их гребне и откосах устанавливают *постоянные поверхностные марки.*

Для определения осадки основания и послойной осадки тела дамбы, плотины или гидроотвала на подготовленное основание перед началом возведения сооружения устанавливают *глубинные марки.*

143. Постоянные поверхностные марки для измерения осадок плотины (рис. 67) устанавливают в створах, нормальных к оси плотины. Расстояние между марками обычно принимают равным 10—20 *м.* Глубина заложения марок должна быть больше глубины промерзания шламов.

Для наблюдения за осадкой тела гидроотвала на его пляже устанавливают марки (контрольные знаки) с уширенной опорной частью (рис. 68). При значительной высоте намываемой толщи стержень контрольного знака, а также фанерную трубу наращивают.

Глубинные марки для определения осадки основания и послойной осадки тела гидроотвала, дамбы или плотины устанавливают в тех же створах, что и поверхностные.

7. Указания по текущему ремонту сооружений при эксплуатации шламохранилищ

Ограждающие дамбы. С момента поднятия напора ведут систематические наблюдения за шламохранилищем и ограждающими его дамбами, выполняя при обнаружении повреждений необходимые ремонтные и восстановительные работы.

Рекомендуется следить за общим состоянием поверхностей откосов и гребня ограждающих дамб, замеряя их осадки и просадки, фиксируя появление и развитие трещин, а также деформации в сопряжениях дамбы с берегами. Места, где поверхность дамбы оседает ниже проектной отметки, засыпают грунтом, появляющиеся трещины заделывают.

Места выходов на низовой откос фильтрационного потока со значительным и увеличивающимся расходом расчищают и прикрывают наслонным фильтром. При возникновении оползня откос уполаживают, предварительно удалив оползший массив, и укладывают наслонный фильтр. Толщину фильтра можно принимать равной 0,3—0,5 *м.*

При обнаружении на низовом откосе сосредоточенного выхода воды следует установить положение входной воронки и заделать ее, сбросив в нее мешки с соломой и камнем или устроив «пластырь» из глинистого грунта.

Если сосредоточенный выход воды находится выше дренажа, проверяют состояние канав, отводящих дренажную воду, промывают дренаж или частично разбирают его и заменяют новым.

Заделка сплошной промоины может потребовать спуска воды из шламохранилища и устройства перемычки из каменной наброски, шпунтового ряда или другой конструкции. Под защитой перемычки промоину замывают шламами или засыпают грунтом.

Необходимо наблюдать за устойчивостью откосов, особенно верхового откоса. Места размыва его ветровой волной укрепляют каменной наброской, плетнями по слою соломы с пригрузкой камнем, мешками с соломой и камнем с последующим намывом шламов на место вымоины.

При обнаружении размывов ограждающих дамб и поднятия кривой депрессии в теле гидроотвала перекрывают соответствующие выпуски и засыпают промоину шламами.

Количество одновременно работающих выпусков и толщину намываемого из них слоя шламов устанавливают в зависимости от их крупности согласно местной инструкции. При появлении на откосе размыва выпуск, находящийся напротив, отключают.

Если заболачивание нижнего бьефа, обусловленное напором воды в шламохранилище, ухудшает ценные сельскохозяйственные угодия или нарушает деятельность цехов промышленного предприятия, следует запроектировать и осуществить необходимые мероприятия по осушению заболоченной территории.

Прудок-отстойник и гидроотвал. В процессе заполнения шламохранилища рекомендуется вести постоянные наблюдения за прудком-отстойником и гидроотвалом.

По установленной в прудке рейке нужно следить за поверхностью воды в нем, поддерживая ее с помощью шандор на водосбросе на уровне, соответствующем требованиям местной инструкции. Поверхность воды в прудке должна находиться на уровне, безопасном с точки зрения переплескивания воды через гребень и с точки зрения разрушения верхового откоса ветровой волной. При этом глубина воды в прудке должна быть достаточна для осветления воды в соответствии с санитарными требованиями, а также для забора воды при оборотном водоснабжении.

Укладку шламов следует проводить в соответствии с проектом и теми улучшениями, которые были внесены в него на основе опыта эксплуатации шламохранилища. Заполнение шламохранилища (яруса) можно начинать только после возведения на полную высоту дамбы первичного обвалования или соответствующего яруса ограждающих дамб вторичного обвалования.

Особого внимания требует реализация мероприятий по раскладке шламов, если она необходима для последующего использования шламов в промышленных целях и при возведении ограждающих дамб вторичного обвалования. Наблюдения за раскладкой шламов должны сопровождаться отбором проб и их анализом в соответствии с указаниями п. 2 главы III.

Если шламы подлежат последующему промышленному использованию, следует наблюдать за их сохранностью и чистотой, а также за поддержанием необходимых условий для удобного подхода к отвалу, его разработки и транспортирования вынутых шламов.

Пульпу, намерзающую под местами протечек, нужно убирать.

Водосбросные сооружения. При эксплуатации водосбросных сооружений следует наблюдать за их состоянием, выполняя необходимые ремонтные мероприятия, а также обеспечивать постепенность поднятия напора и безотказный сброс расчетных расходов воды из прудка, маневрируя затворами и шандорами.

Наблюдая за подходами к водосбросным сооружениям, нужно своевременно принимать меры против забивки водосливных отверстий шугой, льдом, древесиной и другим плавающим мусором, очищать решетки, устраивать запани и пр.

Не следует допускать образования перед водосбросом и водозабором большой полыньи, которая может вызвать переохлаждение воды и способствовать возникновению шуги.

После паводка состояние всех гидротехнических сооружений шламохранилища должно быть проверено с составлением акта о повреждениях и перечислением рекомендаций по ремонтным мероприятиям.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Ориентировочный расход сточных вод на 1 *т* перерабатываемой руды

Фабрики	Расход воды в $м^3$	Коэффициент неравномерности
Молибдено-вольфрамовые	4—6	1,25—1,35
Свинцово-цинковые	4,5—6,5	1,5—1,7
Оловянные	8—16	—
Золотообогатительные	16,5—17,5	1,2—1,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Характеристики стока обогатительных фабрик цветной металлургии

Показатели	Единица измерения	Фабрики			
		молибдено-вольфрамовые	свинцово-цинковые	оловянные	золото-обогатительные
Цвет	—	Желтый, темно-серый	Бесцветный	Бесцветный	—
Запах	—	Терпинеола, керосина	Флотореагента	Ксантогената	—
pH	—	8,4—10,4	7—11	7	9,9—11,6
Взвешенные вещества	*мг/л*	18 000—415 000	20 000—140 000	9200	—
Цианиды CN^-	»	19,9	2,5	2,3	281—326
Роданиды CNS^-	»	—	2,5	—	30
Медь в пересчете на Cu^{2+}	»	17,5—100	0,4—8	—	—
Свинец Pb^{2+}	»	2—12	5—10	—	—
Ксантогенаты (или дитиофосфат)	»	1,3—5	0,07—0,6	1,5—6	Следы
Сосновое масло	»	—	2,3	—	—
Крезол	»	—	До 30	6,3	—
Мышьяк	»	0,2—1,5	—	—	—
Олеиновая кислота	»	15—33	—	—	—
Терпинеол	»	5—50	—	—	—
Керосин	»	12,5—50	—	—	—
Окисляемость	»	10,9	17—170	370	59,4

Таблица для определения коэффициента устойчивости K откоса заложением $m=2$ при обрушении призмы в сторону от ядра

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	K
	При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0{,}6$			
15	1,9	—14°22′	—14°22′	1,045
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,099
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,366
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	3,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	3,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	3,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	4,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	4,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	4,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	4,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	4,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	5,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	5,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	5,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,9	—19°1′	—19°1′	1,056
	1,1	—17°52′	—17°52′	1,128
	1,3	—16°51′	—16°51′	1,201
	1,5	—15°56′	—15°56′	1 274
	1,7	—15°7′	—15°7′	1,347
	1,9	—14°22′	—14°22′	1,42
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,492
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	2,7	—12°1′	—12°1′	1.711
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	3,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	0,3	—23°29′	—23°29′	1,073
	0,5	—21°48′	—21°48′	1,166
	0,7	—20°19′	—20°19′	1,259
	0,9	—19°1′	—19°1′	1,352
	1,1	—17°52′	—17°52′	1,446
	1,3	—16°51′	—16°51′	1,539
	1,5	—15°56′	—15°56′	1,632
	1,7	—15°7′	—15°7′	1,725
	1,9	—14°22′	—14°22′	1,819
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,912
	2,3	—13°5′	—13°5′	2,005

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
30	0,3	—4°40′	—25°7′	1,231
	0,5	—12°20′	—20°28′	1,547
	0,7	—20°19′	—20°19′	1,559
	0,9	—19°1′	—19°1′	1,674
	1,1	—17°52′	—17°52′	1,79
	1,3	—16°51′	—16°51′	1,905
	1,5	—15°56′	—15°56′	2,021
35	0,3	—4°35′	—31°23′	1,148
	0,5	0°5′	—24°8′	1,562
	0,7	—6°31′	—19°22′	1,991
	0,9	—19°1′	—19°1′	2,031
40	0,5	7°20′	—28°33′	1,541
	0,7	2°24′	—22°15′	2,049
При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0,7$				
15	1,9	—14°22′	—14°22′	1,045
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,099
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,367
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	3,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	3,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	3,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	4,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	4,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	4,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	4,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	4,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	5,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	5,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	5,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,9	—19°1′	—19°1′	1,056
	1,1	—17°52′	—17°52′	1,128
	1,3	—16°51′	—16°51′	1,201
	1,5	—15°56′	—15°56′	1,247
	1,7	—15°7′	—15°7′	1,347
	1,9	—14°22′	—14°22′	1,42
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,492
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,711

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
20	2,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	3,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	0,7	—5°13′	—21°9′	1,204
	0,9	—1°27′	—18°23′	1,304
	1,1	—4°8′	—16°11′	1,426
	1,3	—16°51′	—16°51′	1,539
	1,5	—15°56′	—15°56′	1,632
	1,7	—15°7′	—15°7′	1,725
	1,9	—14°22′	—14°22′	1,819
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,912
	2,3	—13°5′	—13°5′	2,005
30	0,7	14°16′	—26°34′	1,154
	0,9	9°39′	—20°20′	1,557
	1,1	5°27′	—17°14′	1,86
	1,3	2°9′	—15°35′	2,069
35	0,9	17°32′	—26°51′	1,382
	1,1	12°37′	—20°1′	1,922
	1,3	8°10′	—16°36′	2,347
40	1,1	19°48′	27°47′	1,593
При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0,8$				
15	1,3	2°18′	—14°28′	1,038
	1,5	1°108′	—13°48′	1,09
	1,7	—15°7′	—15°7′	—
	1,9	—14°22′	—14°22′	1,045
	2,1	—13°42′	—13°42′	1,099
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,367
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	3,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	3,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	3,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	4,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	4,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	4,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	4,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	4,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	5,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	5,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	5,5	—7°35′	—7°35′	2,01

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	K
20	1,1	18°6′	—18°22′	1,095
	1,3	13°47′	—14°58′	1,361
	1,5	10°0′	—13°5′	1,564
	1,7	6°55′	—12°1′	1,71
	1,9	4°25′	—11°22′	1,808
	2,1	2°21′	—11°1′	1,869
	2,3	0°36′	—10°50′	1,901
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,711
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	3,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	1,3	23°24′	—22°47′	1,109
	1,5	18°57′	—17°3′	1,52
	1,7	15°40′	—13°23′	1,959
	1,9	11°55′	—11°47′	2,254
30	1,3	27°30′	—27°4′	1,129
	1,5	21°48′	—19°49′	1,601
	1,7	—15°7′	—15°7′	2,136
35	1,3	27°30′	—27°4′	1,37
	1,5	21°48′	—19°49′	1,942
	1,7	—15°7′	—15°7′	2,591
40	1,3	27°30′	—27°4′	1,641
	1,5	21°48′	—19°49′	2,327
При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0,9$				
15	2,1	13°5′	—14°48′	1,014
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	3,1	—11°5′	—11°5′	1,367
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	3,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	3,7	—5°29′	—5°49′	2,623
20	1,9	15°7′	—18°14′	1,104
	2,1	13°5′	—14°48′	1,377
	2,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	2,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	2,7	—12°1′	—12°1′	1,711
	2,9	—11°32′	—11°32′	1,783

Продолжение прил. 3

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
20	3,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	3,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	3,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	1,7	17°52′	—23°10′	1,089
	1,9	15°7′	—18°14′	1,415
	2,1	13°5′	—14°48′	1,764
	2,3	—13°5′	—13°5′	2,005
30	1,7	17°52′	—23°10′	1,349
	1,9	15°7′	—18°14′	1,752
	2,1	13°5′	—14°48′	2,184
35	1,5	21°48′	—30°19′	1,197
	1,7	17°52′	—23°10′	1,636
	1,9	15°7′	—18°14′	2,124
40	1,5	21°48′	—30°19′	1,435
	1,7	17°52′	—23°10′	1,96
	1,9	15°7′	—18°14′	2,546

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица для определения коэффициента устойчивости K откоса заложением $m=3$ при обрушении призмы в сторону от ядра

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	K
		При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0{,}6$		
15	0,9	—14°22′	—14°22′	1,045
	1,1	—13°42′	—13°42′	1,099
	1,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	1,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	1,7	—12°1	—12°1′	1,259
	1,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	2,1	—11°5′	—11°5′	1,367
	2,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	2,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	2,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	2,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	3,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	3,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	3,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	3,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	3,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	4,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	4,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	4,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,3	—16°51′	—16°51′	1,201
	0,5	—15°56′	—15°56′	1,274
	0,7	—15°7′	—15°7′	1,347
	0,9	—14°22′	—14°22′	1,42
	1,1	—13°42′	—13°42′	1,492
	1,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	1,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	1,7	—12°1′	—12°1′	1,711
	1,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	2,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	2,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	2,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	0,3	—16°51′	—16°51′	1,539
	0,5	—15°56′	—15°56′	1,632
	0,7	—15°7′	—15°7′	1,725
	0,9	—14°42′	—14°42′	1,819
	1,1	—13°42′	—13°42′	1,919
	1,3	—13°5′	—13°5′	2,005
30	0,3	—16°51′	—16°51′	1,905
	0,5	—15°56′	—15°56′	2,021
35	0,3	—3°21′	—17°18′	2,247
	0,5	—15°56′	—15°56′	2,451

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
40	0,3	4°47′	—19°51′	2,323
	0,5	0°27′	—16°39′	2,803
		При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0,7$		
15	0,9	—14°22′	—14°22′	1,045
	1,1	—13°42′	—13°42′	1,099
	1,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	1,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	1,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	1,9	—11°32′	—11°32′	1 313
	2,1	—11°5′	—11°5′	1,367
	2,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	2,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	2,7	—9°57′	— 9°57′	1,527
	2,9	—9°37′	— 9°37′	1,581
	3,1	—9°18′	— 9°18′	1,634
	3,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	3,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	3,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	3,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	4,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	4,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	4,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,3	— 4°12′	—16°44′	1,21
	0,5	—15°56′	—15°56′	1,274
	0,7	—15°7′	—15°7′	1,347
	0,9	—14°22′	—14°22′	1,419
	1,1	—13°42′	—13°42′	1,492
	1,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	1,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	1,7	—12°1′	—12°1′	1,711
	1,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	2,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	2,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	2,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	0,3	8°33′	—19°49′	1,293
	0,5	4°26′	—16°21′	1,588
	0,7	1°3′	—14°35′	1,792
	0,9	—4°11′	—13°6′	2,003
30	0,3	18°42′	—27°17′	1,119
	0,5	14°11′	—19°29′	1,632
	0,7	9°14′	—15°35′	2,069
35	0,5	21°0′	—28°14′	1,304
	0,7	17°19′	—19°26′	1,984
	0,9	12°26′	—15°5′	2,598
40	0,7	23°15′	—29°15′	1,498
	0,9	18°51′	—19°57′	2,312

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
		При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0{,}8$		
15	0,7	9°33′	—14°9′	1,062
	0,9	6°11′	—12°35′	1,199
	1,1	3°23′	—11°43′	1,291
	1,3	1°3′	—11°16′	1,345
	1,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	1,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	1,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	2,1	—11°5′	—11°5′	1,367
	2,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	2,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	2,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	2,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	3,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	3,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	3,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	3,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	3,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	4,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	4,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	4,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,9	—12°43′	—16°49′	1,204
	1,1	—13°42′	—13°42′	1,492
	1,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	1,5	7°56′	—9°45′	2,116
25	1,1	15°5′	—20°55′	1,219
	1,3	13°3′	—16°5′	1,616
	1,5	11°30′	—12°50′	2,045
30	1,3	18°26′	—26°48′	1,143
	1,5	15°31′	—19°51′	1,599
	1,7	13°23′	—15°19′	2,106
35	1,7	19°9′	—25°20′	1,478
	1,9	16°2′	—18°51′	2,051
40	1,7	25°27′	—36°5′	1,151
	1,9	20°19′	—25°53′	1,729
	2,1	16°51′	—19°10′	2,414
		При $\lambda = \gamma_я/\gamma_{пр} = 0{,}9$		
15	2,3	9°56′	—13°30′	1,115
	2,5	9°1′	—11°28′	1,319

Продолжение прил. 4

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
15	2,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	2,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	3,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	3,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	3,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	3,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	3,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	4,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	4,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	4,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	2,5	12°31′	—19°1′	1,057
	2,7	11°5′	—15°28′	1,315
	2,9	9°57′	—12°55′	1,586
	3,1	9°1′	—11°1′	1,868
	3,3	8°14′	—9°34′	2,158
25	2,3	14°22′	—24°4′	1,044
	2,5	12°31′	—19°1′	1,354
	2,7	11°5′	—15°28′	1,685
	2,9	9°57′	—12°55′	2,032
30	2,3	14°22′	—24°4′	1,292
	2,5	12°31′	—19°1′	1,676
	2,7	11°5′	—15°28′	2,086
35	2,1	16°51′	—31°30′	1,142
	2,3	14°22′	—24°4′	1,567
	2,5	12°31′	—19°1′	2,033
40	2,1	16°51′	—31°30′	1,369
	2,3	14°22′	—24°4′	1,878
	2,5	12°31′	—19°1′	2,436

Таблица для определения коэффициента устойчивости K откоса заложением $m=4$ при обрушении призмы в сторону от ядра

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	K
		При $\lambda=\gamma_я \cdot \gamma_{пр}=0,6$		
15	0,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	0,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	0,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	0,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	1,1	—11°5′	—11°5′	1,366
	1,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	1,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	1,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	1,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	2,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	2,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	2,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	2,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	2,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	3,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	3,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	3,5	—7°35′	—7°35′	2,009
20	0,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	0,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	0,7	—12°1′	—12°1′	1,71
	0,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	1,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	1,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	1,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	0,3	—13°5′	—13°5′	2,005
	0,5	—12°31′	—12°31′	2,098
30	0,3	—13°5′	—13°5′	2,482
	0,5	—12°31′	—12°31′	2,598
35	0,3	—13°5′	—13°5′	3,011
	0,5	—12°31′	—12°31′	3,151
40	0,3	—3°28′	—13°9′	3,588
	0,5	—12°31′	—12°31′	3,776
		При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,7$		
15	0,3	—13°5′	—13°5′	1,152
	0,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	0,7	—12°1′	—12°1′	1,259
	0,9	—11°32′	—11°32′	1,313
	1,1	—11°5′	—11°5′	1,366
	1,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	1,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	1,7	—9°57′	—9°57′	1,527

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
15	1,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	2,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	2,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	2,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	2,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	2,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	3,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	3,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	3,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,3	—13°5′	—13°5′	1,565
	0,5	—12°31′	—12°31′	1,638
	0,7	—12°1′	—12°1′	1,71
	0,9	—11°32′	—11°32′	1,783
	1,1	—11°5′	—11°5′	1,856
	1,3	—10°41′	—10°41′	1,929
	1,5	—10°18′	—10°18′	2,002
25	0,3	2°15′	—13°37′	1,925
	0,5	1°09′	—12°15′	2,145
30	0,3	11°35′	—16°5′	2,001
	0,5	7°39′	—13°5′	2,483
35	0,3	14°1′	—22°45′	1,669
	0,5	12°15′	—16°36′	2,347
40	0,3	17°44′	—34°47′	1,208
	0,5	15°1′	—23°48′	1,902
	0,7	13°	—17°10′	2,715
При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,8$				
15	0,5	—12°31′	—12°31′	1,206
	0,7	6°	—10°56′	1,386
	0,9	3°23′	—10°10′	1,493
	1,1	1°15′	—9°45′	1,559
	1,3	—10°41′	—10°41′	1,42
	1,5	—10°18′	—10°18′	1,474
	1,7	—9°57′	—9°57′	1,527
	1,9	—9°37′	—9°37′	1,581
	2,1	—9°18′	—9°18′	1,634
	2,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	2,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	2,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	2,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	3,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	3,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	3,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,5	10°	—15°47′	1,06
	0,7	9°45′	—15°2′	1,38
	0,9	6°18′	—12°11′	1,68
	1,1	—11°6′	—11°6′	2

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
25	0,7	12°30′	—23°30′	1,072
	0,9	11°4′	—18°5′	1,428
	1,1	9°56′	—14°25′	1,813
	1,3	9°0′	—11°50′	2,223
30	0,9	14°2′	26°46′	1,01
	1,1	12°51′	—22°54′	1,42
	1,3	11°21′	—17°37′	1,84
35	1,3	15°12′	—29°17′	1,248
	1,5	13°9′	—21°43′	1,757
	1,7	11°35′	—16°47′	2,319
40	1,5	17°35′	34°6′	1,07
	1,7	15°54′	28°54′	1,58
	1,9	13°40′	21°24′	2,18
При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,9$				
15	2,1	8°1′	—12°29′	1,21
	2,3	7°23′	—10°46′	1,407
	2,5	6°52′	—9°27′	1,61
	2,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	2,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	3,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	3,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	3,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	2,5	9°59′	—17°50′	1,131
	2,7	9°2′	—14°46′	1,38
	2,9	8°16′	—12°30′	1,64
	3,1	7°36′	—10°47′	1,91
	3,3	7°3′	—9°26′	2,188
25	2,9	12°	—24°6′	1,042
	3,1	10°41′	—19°11′	1,34
	3,3	9°37′	—15°43′	1,656
	3,5	8°44′	—13°11′	1,988
	3,7	8°1′	—11°18′	2,333
30	2,9	12°	—24°6′	1,291
	3,1	10°41′	—19°11′	1,659
	3,3	9°37′	—15°43′	2,051
35	2,7	13°42′	—31°16′	1,152
	2,9	12°	—24°6′	1,565
	3,1	10°41′	—19°11′	2,012
40	2,7	13°42′	—31°16′	1,381
	2,9	12°	—24°6′	1,875
	3,1	10°41′	—19°11′	2,411

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица для определения коэффициента устойчивости K откоса заложением $m=5$ при обрушении призмы в сторону от ядра

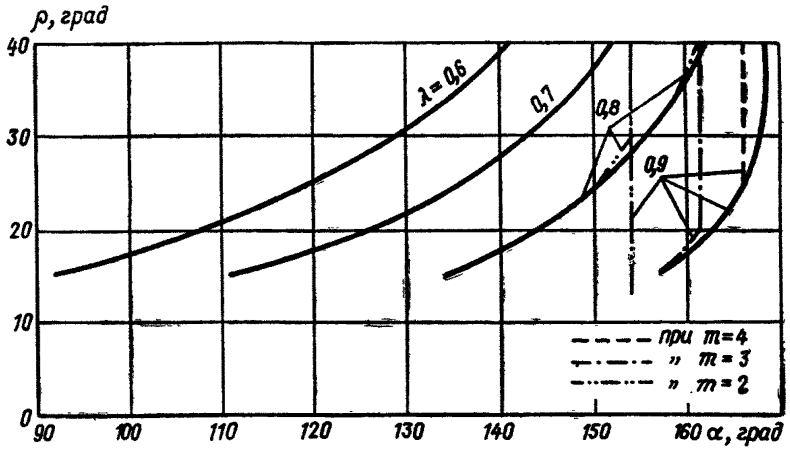
ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	K .
		При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,6$		
15	0,3	—10° 41′	—10° 41′	1,42
	0,5	—10° 18′	—10 °18′	1,474
	0,7	—9° 57′	—9° 57′	1,527
	0,9	—9° 37′	—9° 37′	1,581
	1,1	—9° 18′	—9° 18′	1,634
	1,3	—9° 1′	—9° 1′	1,688
	1,5	—8° 44′	—8° 44′	1,742
	1,7	—8° 29′	—8° 29′	1,795
	1,9	—8° 14′	—8° 14′	1,849
	2,1	—8° 1′	—8° 1′	1,902
	2,3	—7° 48′	—7° 48′	1,956
	2,5	—7° 35′	—7° 35′	2,01
20	0,3	—10° 41′	—10° 41′	1,929
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	2,002
25	0,3	—10° 41′	—10° 41′	2,471
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	2,565
30	0,3	—10° 41′	—10° 41′	3,06
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	3,176
35	0,3	—10° 41′	—10° 41′	3,711
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	3,851
40	0,3	—10° 41′	—10° 41′	4,447
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	4,615
		При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,7$		
15	0,3	—10° 41′	—10° 41′	1,42
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	1,474
	0,7	—9° 57′	—9° 57′	1,527
	0,9	—9° 37′	—9° 37′	1,581
	1,1	—9° 18′	—9° 18′	1,634
	1,3	—9° 1′	—9° 1′	1,688
	1,5	—8° 44′	—8° 44′	1,742
	1,7	—8° 29′	—8° 29′	1,795
	1,9	—8° 14′	—8° 14′	1,849
	2,1	—8° 1′	—8° 1′	1,902
	2,3	—7° 48′	—7° 48′	1,956
	2,5	—7° 35′	—7° 35′	2,01
20	0,3	—10° 41′	—10° 41′	1,929
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	2,002

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
25	0,3	—3° 47′	—10° 27′	2,526
	0,5	—10° 18′	—10° 18′	2,565
30	0,3	5° 31′	—11° 24′	2,861
	0,5	2° 27′	—10° 13′	3,2
35	0,3	9° 27′	—14° 7′	2,781
	0,5	8° 36′	—11° 15′	3,516
40	0,3	11° 2′	—19° 8′	2,417
	0,5	9° 54′	—14° 34′	3,225
		При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,8$		
15	0,1	7°42′	—13°21′	1,129
	0,3	7°7′	—11°13′	1,351
	0,5	5°15′	—9°51′	1,542
	0,7	2°50′	—9°9′	1,663
	0,9	0°54′	—8°45′	—
	1,1	—9°18′	—9°18′	—
	1,3	—9°1′	—9°1′	1,688
	1,5	—8°44′	—8°44′	1,742
	1,7	—8°29′	—8°29′	1,795
	1,9	—8°14′	—8°14′	1,849
	2,1	—8°1′	—8°1′	1,902
	2,3	—7°48′	—7°48′	1,956
	2,5	—7°35′	—7°35′	2,01
20	0,3	8°34′	—16°3′	1,265
	0,5	7°52′	—13°10′	1,555
	0,7	7°16′	—11°4′	1,86
	0,9	—9°37′	—9°37′	2,147
25	0,5	9°36′	—19°33′	1,313
	0,7	8°43′	—15°37′	1,667
	0,9	8°0′	—12°50′	2,045
30	0,7	10°53′	—24°29′	1,267
	0,9	9°46′	—18°56′	1,683
	1,1	8°42′	—15°9′	2,131
35	0,9	12°35′	—31°55′	1,124
	1,1	11°8′	—23°45′	1,591
	1,3	9°59′	—18°23′	2,105

ρ, *град*	$\frac{a}{H_{пр}}$	ξ	ψ	*K*
40	1,3	12°59′	—31°12′	1,385
	1,5	11°27′	—23°13′	1,956
	1,7	10°14′	—17°59′	2,583
		При $\lambda=\gamma_я/\gamma_{пр}=0,9$		
15	1,7	7°12′	—13°17′	1,135
	1,9	6°42′	—11°28′	1,32
	2,1	6°16′	—10°2′	1,512
	2,3	5°53′	—8°54′	1,709
	2,5	5°32′	—7°59′	1,91
	2,7	—7°23′	—7°23′	2,063
20	2,1	8°46′	—19°3′	1,054
	2,3	8°2′	—15°46′	1,288
	2,5	7°25′	—13°21′	1,533
	2,7	6°53′	—11°30′	1,787
	2,9	6°25′	—10°4′	2,049
25	2,7	10°2′	—24°1′	1,047
	2,9	9°5′	—19°18′	1,331
	3,1	8°18′	—15°56′	1,633
	3,3	7°38′	—13°27′	1,948
	3,5	7°4′	—11°34′	2,276
30	3,5	10°18′	—23°42′	1,314
	3,7	9°18′	—19°3′	1,671
	3,9	8°29′	—15°44′	2,049
35	3,3	11°32′	—30°27′	1,191
	3,5	10°18′	—23°42′	1,594
	3,7	9°18′	—19°3′	2,027
40	3,3	11°32′	—30°27′	1,427
	3,5	10°18′	—23°42′	1,91
	3,7	9°18′	—19°3′	2,429

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

График для определения угла наклона α внутренней грани упорной призмы при заложении откосов $m=2 \div 5$



ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов С. С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. Изд. АН СССР, 1959.
2. Евдокимов П. Д. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. Госгортехиздат, 1960.
3. Зорин А. С. Проектирование хвостового хозяйства обогатительных фабрик. Госстройиздат, 1960.
4. Инструкция по определению полевых контрольных характеристик грунта, уложенного или намытого в земляные сооружения. Изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1969.
5. К вопросу установления расчетных физико-механических характеристик хвостов. Сб. трудов ВНИИ ВОДГЕО, вып. 5, 1963.
6. Материалы для проектирования хранилищ отходов обогатительных фабрик. Сб. трудов ВНИИ ВОДГЕО. Госстройиздат, 1962.
7. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик. Металлургиздат, 1952.
8. Тихомиров А. П. Расчет раскладки шламов при намыве плотин. Труды Горьковского инженерно-строительного института им. В. П. Чкалова, вып. 25, 1956.
9. Тихомиров А. П. Определение длины прудков-отстойников при намыве ядерных плотин. Труды Горьковского инженерно-строительного института им. В. П. Чкалова, вып. 37, 1961.
10. Федоров И. В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. ВНИИ ВОДГЕО. Госстройиздат, 1962.
11. Федоров И. В. Оценка устойчивости намывных земляных сооружений. Доклады к VI Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. Стройиздат, 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Глава I. **Общие положения** 4
1. Область применения 4
2. Основная терминология 4
3. Классификация шламохранилищ 6
4. Требования к ограждающим дамбам 6
Глава II. **Топографические, гидрологические, инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания и исследования** 9
1. Топографические и гидрологические изыскания 9
2. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания . . 10
3. Требования к изысканиям для проектирования менее ответственных шламохранилищ 11
4. Оценка грунтов оснований чаши шламохранилища и его сооружений 12
Глава III. **Проектирование шламохранилищ** 14
1. Общие вопросы 14
2. Выбор расчетных физико-механических характеристик шламов 24
3. Выбор расчетных физико-механических характеристик мерзлых и оттаявших шламов 41
4. Выбор класса капитальности шламохранилища 44
5. Выбор места расположения площадки для шламохранилища . 46
6. Расчет отвала и прудка-отстойника 46
7. Выбор способа замыва шламохранилища 48
8. Защита территории, прилегающей к шламохранилищу, от подтопления и заболачивания 53
Глава IV. **Проектирование и возведение гидротехнических сооружений шламохранилищ** 54
1. Выбор типа ограждающих дамб 54
2. Дренажные устройства 55
3. Проектирование ограждающих дамб 58
4. Возведение ограждающих дамб первичного обвалования . . 68
5. Оборотное водоснабжение и сброс осветленной воды 71
Глава V. **Эксплуатация шламохранилищ** 75
1. Организация эксплуатации шламохранилища 75
2. Возведение ограждающих дамб вторичного обвалования . . . 77
3. Организация подачи пульпы в шламохранилище 78
4. Раскладка шламов в хранилище 82
5. Замыв шламохранилища в зимних условиях 85
6. Контрольные наблюдения при эксплуатации шламохранилищ 86
7. Указания по текущему ремонту сооружений при эксплуатации шламохранилищ 94
Приложения 96
Литература 112

gost.e-ecolog.ru