ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И НОРМЫ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНЫХ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

ПРОЕКТ

ГОССТРОЙИЗДАТ — 1959

gost.e-ecolog.ru

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И НОРМЫ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ ЗЕМЛЯНЫХ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

ПРОЕКТ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ, АРХИТЕКТУРЕ
И СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ
Москва—1959

В проекте технических условий и норм излагаются указания по новейшим методам проектирования и строительства намывных плотин из песчаных и супесчаных грунтов.

Эти указания составлены на основе обобщения большого отечественного опыта проектирования и строительства намывных плотин.

В проекте ТУиН учтены результаты научно-исследовательских работ, проведенных в СССР в последние годы на строительствах, в проектных и научно-исследовательских институтах, а также натурные данные по исследованию отдельных намывных плотин, находящихся в эксплуатации.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последние 25 лет характеризуются широким применением методов гидромеханизации в различных областях строительной техники. В частности, гидромеханизация оказалась во многих случаях наиболее рациональным способом возведения земляных плотин на равнинных реках. Земляные плотины, возведенные таким способом, получили наименование намывных.

В СССР построено большое количество намывных плотин. Особое развитие гидромеханизация получила в послевоенный период. Были построены намывным способом земляные плотины Цимлянского гидроузла, Волго-Донского канала имени В. И. Ленина, Мингечаурского, Горьковского, Волжской ГЭС им. В. И. Ленина, Каховского, Сталинградского и других гидроузлов.

Практика проектирования и возведения этих плотин в последнее время весьма интенсивно совершенствовалась. Наряду с решением сложных инженерных вопросов, как, например, намыв в зимних условиях, намыв плотин с достаточно обжатым профилем, намыв с отощенным ядром, намыв в воду, использование для возведения плотин подводных карьеров и пр., разработана новая рациональная технология производства работ — безэстакадный намыв.

При возведении земляных плотин методом гидромеханизации были достигнуты рекордные темпы как по суточной кубатуре укладываемого грунта (например, при возведении Цимлянского гидроузла и Волжской ГЭС им. В. И. Ленина в отдельные периоды укладывалось в тело земляной плотины до 200 тыс. $м^3$ в 1 сутки), так и по быстроте наращивания высоты (до 2 $м$ в 1 сутки).

Прогрессу в области намыва плотин в значительной мере способствовали: необходимость возведения ряда сооружений в короткие сроки, выпуск нашей промышленностью землесосных установок большой производительности, большое количество весьма ценных предложений по рационализации техники намыва и отводу осветленной воды, а также интенсивная исследовательская работа, проводимая как на строительствах, так и в многочисленных проектных и научно-исследовательских организациях (ВНИИГ, ВНИИГИМ, МИСИ, ВНИИ ВОДГЕО, Гидропроект, Гидроэнергопроект и пр.).

Несмотря на успехи в области гидромеханизации и кажущуюся простоту технологии намыва плотин, при их возведении и проектировании возникает много самых разнообразных вопросов, требующих иногда весьма углубленных и тщательных разработок применительно к каждому конкретному объекту.

К ним относятся вопросы оценки грунта для возведения плотины, выбора схемы намыва, расчета плотин для предотвращения нарушения ее устойчивости в процессе намыва и эксплуатации и т. д. Разрешение этих вопросов часто затрудняется отсутствием единых общепринятых указаний и методов, которые бы учитывали не только опыт строительства и проектирования, но также и достижения всех смежных областей науки: механики грунтов, гидромеханики, статики, теории фильтрации и пр.

Настоящий проект Технических условий и норм имеет целью по возможности восполнить этот пробел, а также обобщить большой опыт проектирования и строительства намывных плотин, накопленный за последние годы.

В проект ТУиН, однако, не вошли многие вопросы, связанные с технико-экономическим обоснованием схем, разработкой грунта в карьере и транспортированием его к месту намыва, особенно в части механического оборудования, характеристик работы механизмов, монтажа пульповодов, защиты их от гидравлических ударов и пр.

В проекте ТУиН рассматриваются намывные плотины лишь из грунтов песчаных, песчано-гравелистых и супесчаных.

При составлении настоящих указаний был использован как опыт возведения целого ряда объектов, так и основные исследовательские работы, проводимые в этой области в проектных, производственных и научно-исследовательских организациях, в том числе и в лаборатории гидротехнических сооружений института ВОДГЕО.

Использованы были также и натурные данные по исследованию отдельных объектов, находящихся в эксплуатации.

Работа по составлению настоящего проекта технических условий и норм проводилась в лаборатории гидротехнических сооружений бригадой под руководством и при непосредственном участии проф. д-ра техн. наук А. А. Ничипоровича, в составе: ст. научн. сотрудников кандидатов техн. наук С. И. Мигина, В. С. Истоминой и мл. научн. сотрудника В. С. Бычкова, с привлечением для проработки отдельных вопросов ст. научн. сотрудников кандидатов техн. наук В. И. Титовой, Н. Я. Хрусталева, В. П. Недрига, А. В. Романова, В. М. Шестакова, мл. научн. сотрудника Т. И. Цыбульник и инж. А. И. Огурцова.

В окончательной обработке проекта ТУиН активное участие принимали следующие организации: ВНИИГ имени Веденеева (ст. научн. сотр. В. А. Мелентьев), НИС Гидропроекта (канд. техн. наук И. Н. Щербина и инж. И. Н. Гудаев), Гидроэнергопроект (канд. техн. наук Б. А. Волнин), трест Гидромеханизация МЭС (инженеры С. П. Владимирцев и В. В. Ерофеев) и ГПИ Спецстрой-

проект (инженеры А. Д. Лабза и А. И. Лашев). В процессе проработки ТУиН названными организациями были выполнены следующие работы.

1. Все вышеуказанные организации просмотрели первую редакцию текста всех разделов ТУиН и дали свои замечания.

2. Этими организациями были представлены институту ВОДГЕО для ознакомления и использования следующие материалы:

а) технический отчет по работе «Участие в разработке нормативных документов МЭС, проработки к проекту ТУиН на намывные плотины» (Гидроэнергопроект и Гидропроект совместно с ВНИИГ, 1956 г.);

б) фракционирование частиц грунта в теле земляной плотины при возведении ее двусторонним способом намыва (НИС Гидропроекта, 1954 г.);

в) методические указания по фильтрационным расчетам при проектировании земляных плотин (НИС Гидропроекта, 1956 г.);

г) проект технических условий на возведение намывных и полунамывных плотин (ленинградский филиал Гидропроекта, 1956 г.);

д) графики для выбора расчетных величин объемного веса скелета намывных грунтов (инж. В. В. Ерофеев, трест Гидромеханизация);

е) временная инструкция по подбору обратных фильтров дренажей гидротехнических сооружений (И 23-56) (НИС Гидропроекта);

ж) материалы по технологии работы гидромеханизации зимой (инж. Огурцов А. И.).

Отдельными исполнителями составлены следующие разделы проекта ТУиН.

Сотрудниками ВНИИ ВОДГЕО:

А. А. Ничипоровичем — ч. I, ч. III, разделы 1, 3, 7; ч. IV, разделы 1, 2 и приложения I, VI и VII; ч. III, раздел 12 и приложение V составлены А. А. Ничипоровичем совместно с Н. Я. Хрусталевым; ч. III, раздел 13 и приложение VI — совместно с Т. И. Цыбульник;

С. И. Мигиным — ч. II; ч. III, раздел 4; ч. IV, разделы 3, 4 и 5 (ч. IV, раздел 4 составлен С. И. Мигиным совместно с А. И. Огурцовым);

В. С. Истоминой — ч. III, раздел 5, § 1—7 и 11—15; раздел 8; раздел 9, § 33—39; раздел 10, § 1—10; раздел 11; приложение IV, А (пп. 1—9);

В. И. Титовой — ч. III, разделы 2, 6 и раздел 9, § 1—32; приложения II и III;

В. М. Шестаковым — ч. III, раздел 10, § 11 и приложения IV, Б;

А. В. Романовым — приложение IV, А, пп. 10—12;

В. П. Недрига — ч. III, раздел 10, § 12 и приложение IV, В.

Сотрудниками других организаций составлены: В. А. Мелентьевым (ВНИИГ) — ч. III, раздел 5, § 8; В. В. Ерофеевым (трест Гидромеханизация) — ч. III, раздел 5, § 9 и приложение VIII; Б. А. Волниным (ГПИ Гидроэнергопроект) — ч. III, раздел 5, § 10.

Проект ТУиН рассмотрен на Научно-техническом совете института ВОДГЕО при участии представителей других заинтересованных организаций, получил одобрение и рекомендован для опубликования.

Вместе с тем некоторые отдельные вопросы не получили единого решения и отражены в проекте ТУиН в соответствии с предложением основного составителя — института ВОДГЕО. К таким вопросам, в частности, относятся:

а) целесообразность включения в текст ТУиН отдельных разделов, имеющих общее значение при проектировании земляных плотин (ч. III);

б) степень подробности изложения рекомендаций по изысканиям и возведению намывных плотин (ч. II и IV);

в) методика расчета на фильтрацию в процессе возведения плотин;

г) методика учета разжижения при расчете устойчивости откосов и др.

Институт ВОДГЕО полагает, что дискуссионность отдельных положений при первом составлении подобного документа неизбежна, в связи с этим и опубликовывается проект ТУиН.

Кроме того, учитывая, что по вопросам, связанным с намывом плотин, каких-либо руководящих пособий в литературе не имеется, настоящая работа в значительной мере восполнит пробел и даст возможность проектным организациям использовать ее уже в настоящее время в своей практической деятельности.

Весь текст ТУиН и приложения были подвергнуты научному редактированию ст. научн. сотр. канд. техн. наук Олешкевичем Л. В.

ЧАСТЬ I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Раздел 1

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТУиН

§ 1. Настоящие ТУиН могут применяться для намывных плотин, возводимых из песчаных, песчано-гравелистых и супесчаных грунтов, характеризуемых кривыми гранулометрического состава,

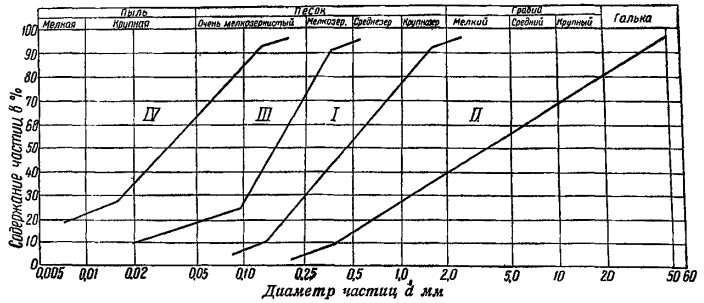


Рис. 1. Категории грунтов, используемых для намыва земляных плотин

приведенными на рис. 1 (I, II, III и IV категории грунтов, см. ч. I, разд. 6, § 3).

Примечание. Настоящие ТУиН не относятся к сооружениям, намываемым из золо-шлаковых материалов и хвостов.

§ 2. ТУиН могут применяться для плотин любого класса и любой высоты.

§ 3. ТУиН рассчитаны на проектирование и возведение плотин из грунтов, разрабатываемых в карьерах землесосами или гидромониторами с последующей подачей пульпы (гидромассы) по напорным или безнапорным пульповодам.

§ 4. В части разработки грунта в карьере и подачи пульпы к месту намыва сооружения, помимо указаний в ТУиН, следует пользоваться различными указаниями и руководствами по гидромеханизации.

§ 5. В случае смешанного способа возведения плотин (сухой способ и гидромеханизация) при сухом способе следует использовать указания ТУиН по земляным работам, а также указания по проектированию и возведению насыпных земляных плотин[1].

Раздел 2

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛОТИН

§ 1. При проектировании намывных плотин следует различать их по конструкции профиля и способу намыва.

§ 2. Плотины по конструкции профиля могут быть:

а) с ядром — тип ядерный;

б) без ядра — тип безъядерный.

Примечание. Кроме того, могут быть применены плотины с диафрагмой, с экраном и понуром и др.

§ 3. Способы намыва плотины могут быть:

а) с прудком и без прудка;

б) с подводным и надводным намывом;

в) с намывом односторонним и двусторонним;

г) с фракционированием грунта (раскладкой фракций) при намыве и без такового (без раскладки фракций);

д) с намывом части профиля[2].

Примечание. Более подробно о способах и схемах намыва см. ч. IV, разд. 2.

Раздел 3

ВЫБОР ТИПА ПЛОТИНЫ

§ 1. Выбор типа плотины производится в зависимости от наличия тех или иных грунтов в карьере и основании сооружения, а также общей схемы организации работ по возведению гидроузла в целом и обосновывается соответствующими технико-экономическими проработками по ряду вариантов.

§ 2. Безъядерный тип намывной плотины применяется в тех случаях, когда грунты для возведения плотин достаточно однородны (с коэффициентом неоднородности $\eta < 3$—4) или в случае подводного намыва из любых грунтов.

§ 3. Плотина с ядром может быть принята в том случае, если грунт для намыва по гранулометрическому составу разнороден ($\eta > 3$—4) и плотина возводится в поперечном профиле с фракционированием, т. е. надводным двусторонним способом.

---

[1] ВНИИ ВОДГЕО, Указания по проектированию, возведению и эксплуатации насыпных земляных плотин, Стройиздат, 1944, или (ВНИИГ) Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений, Земляные насыпные плотины, Стройиздат, 1941.

[2] При намыве части профиля последний может быть самой разнообразной конструкции. В настоящих ТУиН такие плотины не рассматриваются.

Примечание. Длина откоса намыва, при которой обеспечивается фракционирование, должна быть не менее 10—20 *м*.

§ 4. Тип плотины с диафрагмой или с экраном и понуром может приниматься при грунтах достаточно однородных (без фракционирования) в следующих случаях:

а) при необходимости уменьшения фильтрационного расхода через тело и основание плотины;

б) при необходимости или целесообразности снижения кривой депрессии в пределах низовой части плотины.

Примечание. Целесообразность снижения кривой депрессии должна быть доказана сопоставлением ряда вариантов при различных заложениях низового откоса плотины.

Плотины с диафрагмой можно также устраивать:

а) при необходимости пересечения сильно проницаемых прослоек в основании;

б) на участках сопряжения плотин с бетонными сооружениями.

§ 5. Возведение плотин намывом грунта под воду рекомендуется для плотин русловых, намываемых в тиховодь, после перекрытия русла каменной наброской или когда материал невлекомой крупности намывается в текущую воду при соответствующих скоростях потока.

§ 6. В плотинах всех типов на низовом откосе предусматриваются дренажные устройства в соответствии с указаниями ч. III, разд. 7.

Раздел 4

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

§ 1. Ядро — часть профиля плотины (обычно средняя), образующаяся в результате осаждения наиболее мелких частиц грунта в прудке-отстойнике.

§ 2. Боковые призмы — части профиля, выполненные из наиболее крупнозернистых грунтов.

§ 3. Промежуточные зоны — зоны между ядром и боковыми призмами.

§ 4. Диафрагма — вертикальная стенка, выполненная из какого-либо строительного материала (не грунта): бетона, железобетона, металла, дерева и др., — располагаемая преимущественно в центральной части поперечного профиля плотины.

§ 5. Прудок-отстойник — водоем, в котором происходит осветление воды в процессе намыва (выпадение частиц грунта).

§ 6. Пульпа (гидромасса) — смесь грунта с водой, подаваемая из карьера на место сооружения плотины.

Консистенция пульпы может быть весовая и объемная:

весовая консистенция равна

$$k_в = \frac{\text{вес грунта}}{\text{вес воды}} = \frac{\gamma_п - \Delta}{\gamma - \gamma_п} \cdot \frac{\gamma}{\Delta}; \qquad (1)$$

объемная консистенция равна

$$k_0 = \frac{\text{объем грунта}}{\text{объем воды}} = \frac{\gamma_п - \Delta}{\gamma - \gamma_п}, \qquad (2)$$

где γ и Δ — удельный вес грунта и воды в $т/м^3$;
$\gamma_п$ — объемный вес пульпы в $т/м^3$.

Примечание. Рекомендуется пользоваться показателями весовой консистенции и выражать ее или в долях от 1, или в % — $k_в \cdot 100$.

На рис. 2 приведен график, отражающий связь между объемным весом пульпы $\gamma_п$, который обычно колеблется от 1,02 до 1,1 $т/м^3$, и весовой консистенцией $k_в$ при γ =2,64—2,7 $т/м^3$ и Δ =1 $т/м^3$.

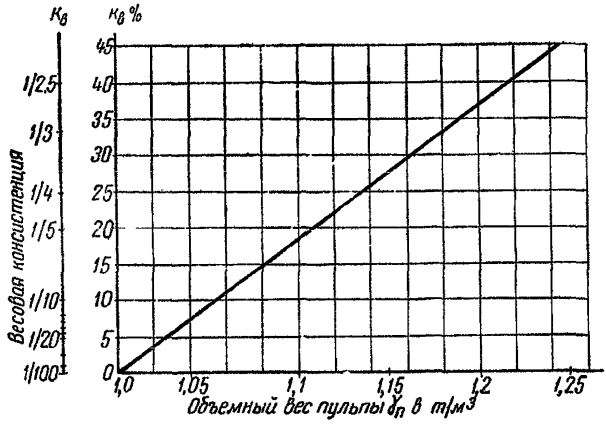


Рис. 2. График зависимости весовой консистенции от объемного веса пульпы

§ 7. Раскладка фракций — разделение грунта на фракции различной крупности при движении пульпы в пределах намываемого профиля (по откосу намыва).

§ 8. Плотность грунта (объемный вес скелета грунта без воды) в теле плотины рекомендуется определять из выражения

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_{вл}}{1 + w}, \qquad (3)$$

где $\gamma_{вл}$ — объемный вес скелета грунта с водой в $т/м^3$;
w — влажность в долях единицы.

§ 9. Мутность воды — содержание грунта по весу в единице объема осветленной воды, сбрасываемой из тела плотины (в $г/м^3$):

$$\rho = \frac{G_{пр} \cdot 10^6}{V_{пр}}, \qquad (4)$$

где $G_{пр}$ — вес наносов в пробе в $г$;
$V_{пр}$ — объем пробы в $см^3$.

Примечание. Содержание грунта в осветленной воде может выражаться также и через весовую консистенцию.

§ 10. Дамба обвалования — земляная дамба небольшой высоты, ограждающая карту намыва от вытекания пульпы за пределы сооружения.

§ 11. Карта намыва — участок плотины, на котором производится намыв.

§ 12. Пульповоды — устройства, служащие для транспортировки пульпы.

§ 13. Внешние (магистральные) пульповоды, — прокладываемые от карьера до карты намыва.

§ 14. Внутренние (разводящие) пульповоды, — прокладываемые в пределах карты намыва.

§ 15. Напорные пульповоды — по ним осуществляется транспортирование пульпы под напором (имеют вид труб).

§ 16. Безнапорные пульповоды — по ним осуществляется транспортирование пульпы без напора (имеют вид лотка или труб).

§ 17. Гидромонитор — снаряд, предназначенный для размыва грунта водой, подводимой под напором.

§ 18. Землесосы — центробежные насосы, служащие для перекачки гидромассы.

§ 19. Интенсивность намыва — высота слоя грунта в сантиметрах, намываемого за 1 сутки.

Раздел 5

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПЛОТИНЕ

§ 1. Требования, предъявляемые к намывным плотинам в процессе производства работ и в процессе эксплуатации, различны.

§ 2. Основные требования в процессе производства работ сводятся к обеспечению качества намываемого грунта, плотности укладки его в тело плотины, а также устойчивости откосов; под этим подразумевается устойчивость их в отношении как оползания, так и оплывания под действием выклинивающихся на откос фильтрационных вод.

§ 3. Особое внимание обоснованию устойчивости откосов намывной плотины должно уделяться в следующих случаях:

а) при устройстве ядерных плотин;

б) при наличии в основании плотины грунтов слабопроницаемых;

в) при наличии высокого стояния уровня грунтовых вод в основании сооружения;

г) при большой интенсивности намыва и слабых малопроницаемых грунтах основания (илы, грунты стариц и пр.);

д) при строительстве плотин в сейсмических районах.

Раздел 6

ТРЕБОВАНИЯ К ГРУНТАМ

§ 1. При проектировании намывных плотин предъявляются главным образом требования к гранулометрическому составу (крупности) грунта и в отдельных случаях к его минералогическому составу — содержанию в нем растительных примесей и водорастворимых солей.

§ 2. Гранулометрический состав карьерных грунтов является основной характеристикой для оценки технико-экономической целесообразности (а не возможности) использования их для возведения плотины.

§ 3. Практика строительства намывных плотин указывает на то, что наиболее целесообразными для использования грунтами при применяемом в настоящее время оборудовании и технологии намыва, следует считать грунты песчаные (I категория) и песчано-гравелистые (II категория). Супеси (III категория), а также суглинки и глины (IV категория) допускаются в тело плотин при отсутствии вблизи створа грунтов I и II категорий и при соответствующем технико-экономическом обосновании целесообразности их применения.

Примечание. Приведенные категории грунтов специально предложены для настоящих ТУиН на основании анализа кривых гранулометрического состава возведенных плотин и не связаны с классификацией грунтов по СНиП.

§ 4. Для плотин безъядерных следует отдавать предпочтение среднезернистым пескам с наименьшим коэффициентом неоднородности, с минимальным (не более 10%) содержанием глинистых и пылеватых фракций ($d<0{,}05$ *мм*).

§ 5. Для плотин ядерных следует отдавать предпочтение песчано-гравелистым, песчаным и супесчаным грунтам с максимальным коэффициентом неоднородности:

а) из песчано-гравелистых грунтов целесообразно применять грунты, в которых отсутствуют слишком крупные фракции (больше максимального предела для данного типа землесоса) и в которых содержатся глинистые фракции ($d<0{,}005$ *мм*) в количестве не больше 15%;

б) из песчаных и супесчаных грунтов целесообразно применять грунты с максимальным содержанием песчаных фракций при содержании фракций глинистых и пылеватых ($d<0{,}05$ *мм*) не больше 20%.

§ 6. По содержанию органических и водорастворимых примесей ограничений никаких не ставится, так как в грунтах, рассматриваемых данными ТУиН, этих примесей, как правило, содержится незначительное количество и влияние их на физико-механические свойства грунтов ничтожно мало.

Примечание. Допустимое количество отдельных включений в грунтах (ракушки, окатыши и пр.) должно в каждом отдельном случае специально обосновываться.

§ 7. По минералогическому составу следует отдавать предпочтение грунтам, состоящим преимущественно из минералов более твердых, тяжелых и стойких (например, кварц). В отдельных случаях, при известном обосновании, могут быть различного рода отклонения от этого правила, которые в настоящих ТУиН не рассматриваются.

§ 8. При оценке песчаных и песчано-гравелистых грунтов следует отдавать предпочтение грунтам, у которых частицы окатаны, перед грунтами с формой зерен неокатанной и угловатой.

Примечание. При всех прочих равных условиях грунты с окатанными зернами укладываются при намыве плотнее.

ЧАСТЬ II

ИЗЫСКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ ГРУНТОВ

Раздел 1

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАРЬЕРАМ

§ 1. Помимо требований, предъявляемых непосредственно к грунтам, используемым для возведения плотин и дамб намывным способом (см. ч. I, разд. 6), при выборе карьера следует также руководствоваться рекомендациями общего характера, изложенными в § 2—9 настоящего раздела.

§ 2. Для разработки карьеров грунта гидравлическим способом необходимо близкое расположение водных источников, способных обеспечить водой снаряды, используемые для названной цели. При этом следует также учитывать возможность работы на оборотной воде.

Примечание. Необходимое количество воды для обеспечения работы земснарядов можно ориентировочно установить по их производительности и предполагаемому объему работ (приложение VII, табл. 1 и 3).

§ 3. Карьеры используемых грунтов должны располагаться по возможности ближе к намываемому сооружению, что уменьшает длину трубопроводов и гидравлические потери в них при транспортировании гидросмеси.

В случае расположения карьера на значительном расстоянии от сооружения (порядка 1,5 *км* и более) требуется устройство перекачивающих землесосных станций, что в значительной мере удорожает подачу грунта к сооружению.

Примечания. 1. Одна дополнительная перекачка увеличивает стоимость 1 $м^3$ намытого грунта примерно на 25%.

2. В отдельных случаях, при расположении карьера крупнозернистого грунта на большом расстоянии от сооружения, может оказаться экономически целесообразным осуществление подачи грунта к сооружению с помощью механических транспортных средств (автосамосвалов, по железной дороге и т. п.).

§ 4. Минимальное расстояние от карьера до сооружения определяется геологическими условиями и устойчивостью сооружения после разработки карьера, а также условиями фильтрации в осно-

вании и в сопряжениях сооружения, но во всех случаях оно не должно быть меньше (12÷15) H *м* (считая от контура сооружения), где H — максимальный напор, действующий на сооружение.

§ 5. При выборе карьеров предпочтение следует отдавать тем, которые расположены на незаболоченных участках со спокойным рельефом и открытой поверхностью.

§ 6. При выборе карьера следует также учитывать мощность полезного слоя, которая должна обеспечить стабильную работу применяемого оборудования. Предпочтение следует отдавать пластам полезного грунта большей мощности. Минимальная мощность полезного пласта, разработка которого экономически целесообразна, определяется типом оборудования, предполагаемого к использованию для разработки карьера.

Примечание. При подводной разработке грунта земснарядом за минимальную мощность полезного пласта ориентировочно можно принять:

для земснаряда	100-35	2—3 *м*
» »	300-40	3—4 »
» »	500-60	4—5 »
» »	1 000-80	5—6 »

§ 7. Допустимую мощность прослоек грунта, отличного от используемого в сооружении (в частности, грунта глинистого), определяют путем подсчетов средневзвешенного гранулометрического состава всего грунта, включая фракции прослоек, в результате чего устанавливают возможность его для намыва в сооружение (см. ч. I, разд. 6, § 4—6).

Процент прослоек глинистого грунта в разрабатываемом уступе ориентировочно допускается следующим: при возведении плотин без ядра — порядка до 10%, а при возведении плотин с ядром — порядка до 20%.

§ 8. Как правило, мощность вскрыши не должна превышать 15% от мощности разрабатываемого слоя грунта. Использование малопригодных грунтов вскрыши допустимо только в том случае, если включение их в разработку незначительно влияет на средневзвешенный гранулометрический состав всей полезной толщи.

Примечание. В отдельных случаях, обоснованных экономическими расчетами, может оказаться целесообразным вскрыша и более мощных слоев грунта, чем указано в настоящем параграфе.

§ 9. Грунты котлованов, пригодные для намыва в проектируемое сооружение, надлежит использовать в первую очередь. При этом следует учитывать, что разработку котлованов нужно осуществлять с недобором, в зависимости от мощности земснаряда, выше проектной отметки дна котлована на величину 1—3 *м*, считая от низа разрыхлителя.

Примечание. Исследование грунтов полезных выемок с целью установления возможности их использования при намыве сооружения, как правило, производится в стадии разработки проектного задания и технического проекта.

Раздел 2

ОБЪЕМ И СОСТАВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ[1]

Классификация запасов грунта в карьере по степени изученности месторождений

§ 1. В соответствии с постановлением СНК СССР от 14/II 1941 г. за № 299 запасы твердых полезных ископаемых по степени изученности месторождений подразделяют на категории, начиная с менее точных: C_2; C_1; B; A_2 и A_1. На эти же категории могут быть разбиты и запасы грунта в карьере, намечаемом для использования при возведении плотин и дамб намывным способом.

К категории C_2 относятся запасы, определяемые по общим геологическим соображениям, и только для новых районов и месторождений, по которым нет сведений, требуется испытание единичных проб грунта. Запасы категории C_2 служат для перспективного планирования строительства и составления программ геологоразведочных работ.

К категории C_1 относятся запасы, определяемые на основании геологического изучения естественных и небольшого количества искусственных обнажений и геофизических данных. При этом производятся испытания небольшого количества проб грунта. К категории C_1 относятся также предполагаемые запасы, примыкающие к разведанным участкам более высоких категорий.

К категории B относятся запасы, количественно и качественно в достаточной мере точно установленные по результатам предварительной разведки, с проведением исследований проб грунта в количестве, достаточном для суждения о литологических разностях, слагающих карьер, намечаемый к использованию.

К категории A_2 относятся запасы, выявленные посредством горных выработок, детально разведанные и опробованные в количестве, достаточном для намыва сооружения, с учетом удаления мелких фракций грунта по проекту.

Примечание. В гидротехническом строительстве запасы карьерного грунта, как не требующие более подробной изученности, по категории A_1 не подсчитываются.

§ 2. В зависимости от стадии проектирования запасы грунта для намыва в сооружение устанавливаются по следующим категориям: при составлении технико-экономического доклада — по кате-

---

[1] При составлении настоящего раздела использована следующая основная литература:

Гидроэнергопроект и МГРИ имени Орджоникидзе, Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства, Госгеолиздат, 1950, ч. I и II.

Гидроэнергопроект, Изыскания естественных строительных материалов при гидротехническом строительстве (инструкция), Госэнергоиздат, 1950.

Главэнергопроект МЭС, Инструкция по разведке и опробованию грунтов для намыва плотин и дамб, Госэнергоиздат, 1956.

Б. А. Волнин, Исследование карьеров для намывных плотин и дамб, Госэнергоиздат, 1956.

гории C_1, при составлении проектного задания — по категории B и при составлении технического проекта — по категории A_2.

Запасы полезного грунта в карьере исчисляются с превышением проектируемой потребности: для категории C_2 — в 2—3 раза, для категории B — в 1,5 раза и для категории A_2 — в 1,2 раза.

Стадия разработки технико-экономического доклада

§ 3. При составлении технико-экономического доклада грунты, пригодные для намыва сооружения (по категории C_2), устанавливаются путем изучения литературных и архивных материалов, освещающих месторождение естественных строительных материалов в районе проектируемой плотины или дамбы, и последующего проведения рекогносцировочной и маршрутной инженерно-геологической съемки района строительства. При этом оценку пригодности грунтов для намыва производят на основании визуального изучения литологических разностей.

§ 4. На участках, подлежащих первоочередному изучению в соответствии с требованиями по категории C_1, оценку грунтов осуществляют в результате проходки одиночных выработок, послойного отбора проб грунта и определения его гранулометрического состава.

§ 5. На стадии технико-экономического доклада намечается также программа инженерно-геологических исследований карьеров грунта для последующей стадии проектирования.

Стадия проектного задания

§ 6. Инженерно-геологические исследования на стадии проектного задания выполняют в два этапа. На первом этапе инженерно-геологических исследований в результате изучения геологического строения геоморфологических элементов района строительства выбирают участки залегания пригодного для намыва грунта наиболее благоприятные в эксплуатационном отношении, устанавливают границы и способы последующей разведки.

На втором этапе на основе результатов предшествующих поисков и разведки устанавливают запасы по категории B.

§ 7. Вопросы, подлежащие освещению на первом этапе инженерно-геологических исследований в стадии проектного задания, решаются с помощью первоочередных поперечников разведочных выработок, которые рекомендуется располагать на каждом участке поперек и вдоль предполагаемой залежи, с охватом участков сопряжения террас и учетом макро- и микрорельефа. Расстояние между выработками на первоочередных поперечниках принимается 25—50 *м*.

§ 8. На втором этапе инженерно-геологических исследований в стадии проектного задания для установления запасов по категории B разведочные выработки чаще всего располагают по квадратной или ромбической сетке 200×200 *м*, разбиваемой для каж-

дого геолого-геоморфологического участка отдельно. В зависимости от условий залегания и степени неоднородности литологического состава исследуемого месторождения сетка разведочных выработок может быть уменьшена иногда до 100×100 *м*.

Примечание. В случае разведки аллювиальных отложений, вытянутых вдоль долины, может оказаться целесообразным располагать разведочные выработки не по сетке, а по линиям, направленным вкрест простирания долины.

§ 9. Основным типом разведочных выработок являются скважины, проходимые ударно-вращательным бурением. По мере надобности, где это возможно, скважины дополняются шурфами и дудками, позволяющими получить более подробное и полное представление о характере и условиях залегания пород, проходимых выработкой.

Примечание. Диаметр скважин зависит от гранулометрического состава грунта. В тонко- и мелкозернистых грунтах бурение осуществляется при диаметре 127 *мм*, в более крупнозернистых грунтах диаметр скважин увеличивается. При значительном содержании валунов бурение скважин производится диаметром не менее 273 *мм*.

§ 10. Проходка выработок осуществляется на полную мощность полезного слоя с заглублением на 1 *м* в подстилающую породу, но на глубину не более 15 *м*, если считать от среднего меженнего уровня воды в реке.

Примечание. Для ознакомления с общими условиями формирования отложений единичные выработки могут быть заложены и на глубину, бо́льшую, чем указана в настоящем параграфе.

§ 11. При наличии грунтовых вод разведка производится бурением. Но при установлении запасов высокой категории (*В* и A_2), если результаты разведки бурением вызывают сомнение или если разведка бурением затруднительна, требуется устройство горнопроходческих выработок или опытной выработки экскаватором.

§ 12. Разведка месторождений, покрытых водой, где это возможно, производится зимой бурением со льда. В районах, где такая возможность отсутствует, разведку осуществляют с применением наплавных средств.

§ 13. Разведочные выработки закрепляют на месте отличительными знаками и привязывают в плановом и высотном отношении к общей планово-высотной сети района строительства.

§ 14. Как правило, пробы грунта из разведочных выработок отбирают послойно через каждые 0,5—1 *м* в зависимости от неоднородности и мощности слоев отдельных литологических разностей.

При значительной мощности (более 6—8 *м*) и однородности (в отношении постоянства гранулометрического состава по высоте слоя) полезной толщи карьерного грунта интервалы между пробами могут быть увеличены до 2 *м* и даже более.

При проходке чередующихся мелких прослоек различного литологического состава мощностью менее 0,5 *м* отбор проб следует осуществлять бороздовым способом.

§ 15. В зависимости от вида грунта, крупности частиц и коэффициента неоднородности пробы, отобранные из разведочных выработок, направляют в лабораторию в следующем количестве:

грунты связные и песчаные мелкозернистые	0,5—1	*кг*
грунты песчаные, крупно-и среднезернистые	2—4	„
гравилистый песок	5—10	„
дресвяный грунт (гравийный)	20—40	„

Примечание. Пробы грунтов, включающих валуны, берутся в количестве 50—100 *кг* и более в зависимости от размеров валунных включений.

§ 16. По обработанным материалам предварительной разведки устанавливают качество разведанных полезных грунтов и запасы (по категории *B*) отдельных месторождений, пригодных для использования при намыве сооружения.

В результате сопоставления полученных данных по отдельным месторождениям наиболее благоприятные из них намечают для проведения детальной разведки.

Стадия технического проекта

§ 17. На стадии технического проекта производят детальную разведку месторождений, намеченных к использованию в результате изысканий, проведенных в предшествующих стадиях проектирования. Детальная разведка имеет целью выявить запасы по категории A_2 и все данные об условиях залегания, составе и качестве полезных пластов грунта, количестве полезных запасов и условиях их разработки, необходимые при составлении технического проекта.

§ 18. Разведка полезных месторождений на стадии технического проекта осуществляется по сетке 100×100 *м*, а при наличии резких изменений — по сетке 50×50 *м* и в отдельных случаях — даже по сетке 25×25 *м*, при этом ранее заложенные выработки включают в сеть выработок, закладываемых на стадии составления технического проекта.

Примечания. 1. Густота сетки разведочных выработок в известной мере зависит от размеров месторождений, особенно при разведке флювиогляциальных месторождений.

2. Для более точного определения вскрыши, помимо глубоких выработок, могут быть назначены дополнительные, более мелкие.

§ 19. На стадии технического проекта детальная разведка осуществляется при помощи разведочных выработок, как указано в § 9—13 настоящего раздела.

Глубина выработок определяется мощностью полезного пласта и способом его разработки и назначается геологом совместно с проектировщиками.

§ 20. На стадии технического проекта отбор проб осуществляется из слоев, которые подлежат разработке при возведении сооружения, в количестве, указанном в § 14 настоящего раздела.

Результаты детальной разведки после соответствующей обработки служат исходным материалом для составления технического проекта сооружения и организации производства работ.

Раздел 3

ОБЪЕМ, СОСТАВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ КАРЬЕРА

§ 1. Взятые из разведочных выработок пробы грунта подвергают лабораторным испытаниям с целью получения следующих характеристик грунта[1]: гранулометрического состава; удельного веса; объемного веса скелета; коэффициента фильтрации; сопротивления сдвигу; химического состава (количества водорастворимых солей и органических веществ); минералогического состава и формы частиц (а для грунтов гравелистых и щебенистых производят также петрографическое описание); границ пластичности (для связных грунтов).

Примечание. В настоящем разделе приведен перечень только общих характеристик грунта. Определение специальных характеристик грунта (коэффициентов разжижения песка и порового давления) приведено в ч. III, разд. 5.

§ 2. Основной характеристикой грунта, используемого для возведения плотин намывным способом, является гранулометрический состав, определяемый вне зависимости от класса сооружения и стадии проектирования для всех проб, отбираемых в количестве, указанном в § 14 и 15 настоящего раздела.

Для всех проб связного грунта определяют также границы пластичности.

§ 3. Удельный вес и химический состав определяют вне зависимости от класса сооружения и стадии проектирования; для этого следует использовать 0,5—1,0% от общего количества отбираемых проб грунта.

§ 4. Минералогический состав и форму частиц устанавливают только для сооружений I и II классов на основании нескольких определений, достаточных для освещения минералогического состава всех входящих в карьер разновидностей грунта.

§ 5. Объемный вес, коэффициент фильтрации и сопротивление сдвигу на стадии проектного задания определяют для средневзвешенного гранулометрического состава по всем выработкам или ориентировочно производят одно определение на каждые 100—200 тыс. $м^3$ полезного карьерного грунта. На стадии технического проекта, если вновь заложенными выработками вскрываются грунты, по гранулометрическому составу близкие к грунтам, вскрытым в карьерах при составлении проектного задания, определение названных характеристик производят примерно в том же количестве, что и при проектном задании (например, при увеличении сети выработок в 4 раза определение характеристик производят для одной выработки из трех дополнительно заложенных). На участках же, где грунты по своему гранулометрическому составу отличны

[1] Труды Научно-исследовательского института оснований и фундаментов, Руководство по лабораторному определению физико-механических характеристик грунтов при устройстве оснований сооружений, Госстройиздат, 1956, и другие источники.

от грунтов, вскрытых выработками на стадии проектного задания, количество определений может быть увеличено в 2 раза.

§ 6. Методика определения объемного веса, коэффициента фильтрации и сопротивления сдвигу зависит от однородности грунта, класса сооружения и стадии проектирования.

Для грунтов однородных $\left(\frac{d_{60}}{d_{10}} < 3\text{—}4\right)$, намываемых без фракционирования, для сооружений I и II классов на стадиях проектного задания и технического проекта определение названных характеристик осуществляется опытным путем, с предварительным удалением мелких фракций, подлежащих отмыву в условиях производства работ, а для сооружений III и IV классов — косвенными методами, по гранулометрическому составу, но также с учетом отмыва мелких фракций грунта (ч. III, разд. 5).

Если грунты по гранулометрическому составу разнородны $\left(\frac{d_{60}}{d_{10}} > 3\text{—}4\right)$, вследствие чего центральная часть или ядро плотины будут сложены из более мелких фракций, чем боковые призмы, названные характеристики грунта определяются:

а) при составлении проектного задания вне зависимости от класса сооружения и при составлении технического проекта для сооружений III и IV классов — косвенными методами, по гранулометрическому составу, с учетом отмыва мелких фракций и раскладки фракций грунта (ч. III, разд. 4 и 5);

б) при составлении технического проекта для сооружений I и II классов — опытным путем по образцам, отобранным в различных зонах поперечного сечения при проведении опытного намыва.

Примечания. 1. Опытным путем определяется также объемный вес песка, находящегося в предельно плотном и предельно рыхлом состоянии.

2. Для определения сопротивления сдвигу мелкозернистых пылеватых грунтов косвенным методом предварительно производят определение границ пластичности.

3. Если грунты разнородны, то для сооружений I класса и на стадии проектного задания объемный вес скелета грунта и сопротивление сдвигу целесообразно определять опытным путем, но при условии возможности организации опытного намыва на этой стадии проектирования.

4. При возведении плотин из разнородного грунта расчетные характеристики грунта, отлагающегося в центральной части профиля плотины, рекомендуется определять при его начальном состоянии и после завершения консолидации.

§ 7. Определение гранулометрического состава проб производится с выделением следующих фракций грунта: более 100 *мм*; 100—60 *мм*; 60—40 *мм*; 40—20 *мм*; 20—10 *мм*; 10—5 *мм*; 5—2 *мм*; 2—1 *мм*; 1—0,5 *мм*; 0,5—0,25 *мм*; 0,25—0,1 *мм*; 0,1—0,05 *мм*; 0,05—0,01 *мм*; 0,01—0,005 *мм* и менее 0,005 *мм*.

Примечание. В зависимости от процентного содержания отдельных фракций количество подразделений может быть уменьшено за счет объединения смежных подразделений с малым процентным содержанием соответствующих фракций грунта.

§ 8. Согласно строительным нормам и правилам (ч. II-Б.6, § 2), крупнообломочные и песчаные грунты в зависимости от грануло-

метрического состава подразделяются на виды, перечисленные в табл. 1.

Таблица 1

Наименование видов грунта	Распределение частиц грунта по крупности в % от веса сухого грунта
Крупнообломочные грунты	
Щебенистый грунт (при преобладании окатанных частиц—галечниковый)	Вес частиц крупнее 10 *мм* составляет более 50 %
Дресвяный грунт (при преобладании окатанных частиц—гравийный)	Вес частиц крупнее 2 *мм* составляет более 50 %
Песчаные грунты	
Гравелистый песок	Вес частиц крупнее 2 *мм* составляет более 25 %
Крупный песок	Вес частиц крупнее 0,5 *мм* составляет более 50 %
Средней крупности песок	Вес частиц крупнее 0,25 *мм* составляет более 50 %
Мелкий песок	Вес частиц крупнее 0,1 *мм* составляет более 75 %
Пылеватый песок	Вес частиц крупнее 0,1 *мм* составляет менее 75 %

Примечание. Для установления наименования грунта последовательно суммируется процент частиц исследуемого грунта: сначала крупнее 10 *мм*, затем крупнее 2 *мм*, далее крупнее 0,5 *мм* и т. д. Наименование грунта принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

Раздел 4

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИЗЫСКАНИЙ

§ 1. Результаты определений гранулометрического состава взятых проб грунта заносят в ведомость (табл. 2).

По занесенным в ведомость значениям гранулометрического состава отдельных проб (пластов) грунта подсчитывают итоговую строку — средневзвешенный гранулометрический состав для всей разведочной выработки. При этом на первом этапе предварительной разведки средневзвешенный гранулометрический состав грунта подсчитывают на всю глубину выработки. В последующей же стадии предварительной разведки и на стадии детальной разведки средневзвешенный гранулометрический состав грунта подсчитывается для толщи, которую намечается использовать по проекту. При разработке карьера в два уступа средневзвешенный гранулометрический состав подсчитывают для каждого уступа в отдельности.

§ 2. По каждой разведочной выработке результаты определений гранулометрического состава для отдельных пластов и средневзвешенного изображают графически на полулогарифмической сетке.

Кроме того, для большей наглядности и удобства сравнения кривые средневзвешенного гранулометрического состава наносят на общий график для всего карьера или его части.

§ 3. После окончательного установления (проектировщиками совместно с геологами-изыскателями) видов грунта, которые могут быть использованы при намыве в проектируемое сооружение, составляют план карьера в горизонталях и указывают на нем расположение разведочных выработок. В соответствии с результатами лабораторных исследований на плане наносят зоны грунта, которые могут быть использованы для возведения сооружения, а также зоны, грунты которых считаются для данного объекта непригодными.

Примечание. При установлении годности грунта для намыва в сооружение выделяют также грунты условно годные, т. е. годные только после улучшения их гранулометрического состава путем обогащения мелкими фракциями или, наоборот, путем отощения, если грунт в достаточной мере неоднороден.

§ 4. Результаты всех прочих лабораторных исследований, а именно: определения удельного веса, минералогического состава, количества водорастворимых соединений, органических веществ и др., заносят в отдельную ведомость.

§ 5. На основе результатов разведки и лабораторных исследований грунтов карьера составляют также колонки по буровым скважинам и горным выработкам, геологические профили и прочие графические материалы, характеризующие условия залегания полезных пластов грунта в используемом карьере.

§ 6. На каждой стадии проектирования с постепенно возрастающей точностью производят подсчет запасов грунта, пригодного для возведения сооружения.

На стадии разработки технико-экономического доклада запасы полезного грун-

Таблица 2

Лабораторный №	Наименование и № выработки	Абсолютная отметка устья выработки	Глубина залегания от устья выработки: проба	Глубина залегания от устья выработки: характерного слоя от — до	Абсолютная отметка залегания слоя	Наименование грунта	Гранулометрический состав (диаметр частиц в *мм*): более 100	100—60	60—40	40—20	20 10	10—5	5—2	2—1	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	менее 0,005	Действующий диаметр	Контролирующий диаметр	Коэффициент неоднородности	Примечание

та (по категории С) устанавливают на основании общих геологических данных о распространении и мощности залегания различных видов грунта.

На стадии разработки проектного задания полезные запасы (по категории *В*) определяют по методу среднего арифметического по каждому геолого-геоморфологическому элементу как произведение площади элемента на среднюю высоту полезной толщи грунта.

При составлении технического проекта величина запасов (по категории A_2) определяется по методу ближайшего района, как сумма объемов, характеризуемых отдельными выработками, каждый из которых соответственно равен произведению площади на мощность годных для намыва грунтов, которые по условиям производства работ будут использованы при намыве проектируемого сооружения.

При подсчете запасов выделяются:

а) геолого-геоморфологические элементы и участки;

б) литологические типы грунтов, слагающих полезную толщу и вскрышу;

в) подводные и надводные запасы;

г) категории запасов.

Примечание. При составлении технического проекта для проверки могут быть использованы и другие методы подсчета запасов полезного грунта.

§ 7. Результаты и применявшаяся методика поисково-разведочных работ и лабораторных исследований отобранных проб грунта излагают в специальной записке, в которой должна быть дана качественная и количественная характеристика полезных месторождений, пригодных для использования при возведении проектируемых сооружений, а также указаны условия их разработки.

Записка с приложениями (указанными в § 1—5 настоящего раздела) входит составной частью в сводный отчет по инженерно-геологическим изысканиям, проведенным на данной стадии проектирования.

ЧАСТЬ III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОТИН

Раздел 1

ШИРИНА ПЛОТИНЫ ПО ГРЕБНЮ

§ 1. Ширину плотины по гребню следует назначать в зависимости от предполагаемого использования его для того или иного вида транспорта, а также в соответствии со специальными требованиями.

§ 2. При прокладке по гребню плотины шоссейной или железной дороги его ширину следует назначать в зависимости от категории дороги, руководствуясь соответствующими нормами габаритов (Н 112-53 и ВКС-6435).

§ 3. При отсутствии по гребню проезда минимальную его ширину рекомендуется принимать: для плотин I и II класса — до 10 *м*; для плотин III и IV класса — до 6 *м*.

§ 4. Ширина по гребню во всех случаях должна быть проверена с учетом специальных требований. Эту проверку производят при отметке воды в водохранилище, не превышающей НПГ.

§ 5. На ширину гребня помимо указанного в § 1—4 настоящего раздела может влиять также способ возведения плотины.

Примечание. Может оказаться целесообразным уширение гребня исключительно по производственным соображениям; такое уширение должно быть в каждом отдельном случае специально обосновано.

Раздел 2

ПРЕВЫШЕНИЕ ГРЕБНЯ НАД НПГ И МПГ

§ 1. Отметку гребня плотины устанавливают в зависимости от условий пропуска максимальных расходов воды, положения нормального подпорного горизонта, высоты форсировки и рекомендуемых запасов превышения гребня плотины над отметкой ветровой волны.

Расчет производят для нормальных и чрезвычайных условий эксплуатации; принимается более высокая отметка гребня.

§ 2. Превышение гребня плотин над НПГ (нормальным подпорным горизонтом) или над МПГ (максимальным подпорным горизонтом) устанавливают для периода пропуска максимального расхода воды расчетной обеспеченности с учетом ветрового волнения по формуле

$$h = h_в + a_0 + a, \qquad (5)$$

где h — высота превышения гребня плотины над расчетной отметкой волны, гарантирующей отсутствие перелива или переплеска воды через гребень;

$h_в$ — высота вскатывания волны, определяемая по формулам, приведенным в ч. III, разд. 9, § 10—13;

a_0 — ветровой нагон, определяемый согласно ч. III, разд. 9, § 24. Ориентировочно для малых водохранилищ a_0=0,5 *м*, для больших a_0=1 *м*;

a — возвышение гребня плотины над расчетной отметкой волны, т. е. над отметкой $h_в + a_0$, берется по табл. 3.

Таблица 3

Условия эксплуатации	Возвышения гребня плотины над расчетной отметкой волны в *м*				
	Класс капитальности плотины				
	I	II	III	IV	V
Нормальные	1	0,7	0,5	0,4	0,3
Чрезвычайные	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2

§ 3. Если на гребне плотины устраивается водонепроницаемый, достаточно прочный и устойчивый парапет, надлежит данные табл. 3 относить к гребню парапета (а не к гребню плотины) с тем лишь ограничением, чтобы в нормальных условиях эксплуатации превышение гребня самой плотины независимо от ее класса над статическим уровнем воды было не менее 0,3 *м*, а в чрезвычайных условиях эксплуатации гребень плотины был не ниже соответствующего статического уровня.

Раздел 3

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ОЧЕРТАНИЯ ПРОФИЛЯ

§ 1. Очертание профиля земляной плотины зависит от грунтов, из которых намывается плотина, типа и высоты плотины, а также от характера грунтов основания плотины; назначается оно вначале ориентировочно, а затем проверяется расчетом в соответствии с рекомендациями ч. III, разд. 12.

§ 2. При предварительном назначении среднего заложения откосов безъядерной намывной плотины из песчаных грунтов на основании, сложенном из грунтов, более прочных и менее водопроницаемых, чем грунт тела плотины, рекомендуется пользовать-

ся ориентировочными данными, приведенными в табл. 4, а также графиком (см. приложение I, рис. I—1 и I—2).

Таблица 4

Высота в м	Плотина безъядерная				Плотина с ядром	
	откос верховой		откос низовой		откос верховой и низовой	
	сработка верхнего бьефа	заложение	вода в нижнем бьефе	заложение	грунт внешней призмы	заложение
<10	Большая	1:2,5	Имеется	1:3	Мелкозернистый песок	1:3
					Среднезернистый песок	1:2,75
	Малая	1:2	Не имеется	1:2,5	Крупнозернистый песок	1:2,5
					Гравий	1:2
10—20	Большая	1:2,75	Имеется	1:3,5	Мелкозернистый песок	1:3,5
					Среднезернистый песок	1:3
	Малая	1:2,25	Не имеется	1:3	Крупнозернистый песок	1:2,75
					Гравий	1:2,25
>20	Большая	1:3	Имеется	1:4	Мелкозернистый песок	1:4
					Среднезернистый песок	1:3,5
	Малая	1:2,5	Не имеется	1:3,5	Крупнозернистый песок	1:3
					Гравий	1:2,5

Примечание. Рекомендации не распространяются на плотины, возводимые в сейсмических районах.

§ 3. При предварительном назначении среднего заложения откосов плотины с ядром, намываемой из песчано-гравелистых или песчаных грунтов, откосы следует принимать, ориентируясь на данные табл. 4.

§ 4. При наличии в основании плотины слабых грунтов с показателями сопротивления сдвигу меньшими, чем имеют грунты тела плотины, предварительное заложение откосов производят, основываясь на аналогах, или откосы принимают более пологими, чем указано в табл. 4.

§ 5. В ряде случаев заложение откосов (как верхового, так и низового) может назначаться не из условий их статической устойчивости, а из условий производства работ и принятой технологии намыва (односторонний намыв, намыв под воду) или с целью облегчения креплений верхового откоса (см. ч. III, разд. 9). Такие реше-

ния должны быть специально обоснованы технико-экономическими проработками.

§ 6. Для удобства производства работ и эксплуатации сооружения рекомендуется устраивать бермы:

а) на верховом откосе — в конце нормального крепления[1];

б) на низовом откосе — через каждые 10—15 *м* по высоте.

Ширину берм следует назначать не менее 3 *м*.

По бермам низового откоса допускается проведение дорог. В этом случае их ширина назначается в соответствии с классом и типом дороги, с использованием соответствующих норм габаритов.

§ 7. В ядерных плотинах ширина ядра назначается в соответствии с указаниями ч. III, разд. 4, § 4.

Раздел 4

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ ГРУНТА ПРИ НАМЫВЕ

§ 1. При возведении земляных плотин и дамб намывным способом за счет перераспределения фракций грунта при их осаждении в процессе намыва формируется грунт иного гранулометрического состава, чем исходный карьерный. Так как расчетные характеристики грунта в большой мере зависят от его гранулометрического состава, то и прогнозирование состава намытого грунта имеет весьма важное значение при проектировании намываемого сооружения.

§ 2. При отложении и формировании намываемого грунта одновременно происходит и его фракционирование, которое зависит от следующих факторов.

При надводном намыве:

1) от гранулометрического состава;

2) от способа и технологических условий намыва;

3) от длины откоса намыва.

При подводном намыве:

1) от гранулометрического состава;

2) от размеров отстойного прудка (или водоема), где происходит намыв;

3) от скорости течения воды в отстойном прудке (или водоеме).

§ 3. В наибольшей мере фракционирование грунта при возведении плотин намывным способом зависит от разнозернистости грунта. Если грунт в достаточной мере однороден, т. е. $\eta_{60} = \frac{d_{60}}{d_{10}} <$ < 3—4 или $\eta_{90} = \frac{d_{90}}{d_{10}} < 4$—$5$, фракционирование мало заметно и его можно не учитывать.

---

[1] Ниже бермы проектируется облегченное крепление.

Наоборот, если $\eta_{60} = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 3—4$ или $\eta_{90} = \frac{d_{90}}{d_{10}} > 4—5$, то при намыве будет происходить раскладка фракций грунта, проявляющаяся тем в большей мере, чем больше значение коэффициента неоднородности.

§ 4. При намыве неоднородного грунта ($\eta_{60} > 3—4$ или $\eta_{90} > 4—5$) в средней части профиля плотины образуется центральная зона (при беспрудковом намыве) или ядро (при наличии прудка). Ширина ядра назначается в пределах 15—20% от ширины плотины на данной высоте, а центральная зона — 20—30%.

§ 5. С целью ускорения консолидации намытого грунта, а также во избежание образования линз и прослоек из более мелкозернистого материала в боковых призмах сооружения (при возведении плотины из однородного грунта) производится сброс мелких частиц грунта за пределы сооружения вместе с неуспевшей профильтроваться в сооружение водой пульпы (см. ч. IV, разд. 3).

На основании имеющегося опыта рекомендуется: при возведении плотин без ядра — сбрасывать частицы грунта с $d < 0{,}01$ *мм*, обеспечивая полное их удаление из сооружения, а при возведении плотин с ядром — сбрасывать только частицы с $d < 0{,}005$ *мм*.

Диаметр сбрасываемых частиц грунта уточняется с учетом типа плотины, гранулометрического состава грунта, темпов и схемы возведения данного сооружения.

§ 6. Существующие методы расчета фракционирования грунта: а) осредненного состава грунта по зонам поперечного профиля плотины (Г. Н. Роер, В. Н. Маслов, З. И. Константная, И. Н. Щербина); б) состава грунта в пределах откоса надводного намыва (А. Е. Гаврошенко, В. А. Мелентьев, И. Я. Русинов) и в) состава грунта в зоне подводного намыва (ТУиН 24-1 10-48 «Отстойники гидроэлектростанций», В. А. Мелентьев, Д. Я. Соколов) условны и приближенны вследствие непостоянства режима намыва грунта и многообразия действующих при намыве факторов.

Принимая во внимание отмеченное обстоятельство, при установлении раскладки фракций грунта с коэффициентом неоднородности $\eta_{60} > 3—4$ или $\eta_{90} > 4—5$, намываемого в плотины с ядром, надлежит руководствоваться следующими рекомендациями:

а) при проектировании намывных плотин I и II классов на стадии технического проекта раскладка фракций устанавливается путем проведения опытного намыва по возможности с соблюдением условий, которые будут иметь место при производственном намыве, и взятия проб в различных точках намываемого профиля[1];

б) при составлении проектного задания сооружений всех классов и технического проекта сооружений III и IV классов раскладка фракций грунта определяется по аналогии с сооружениями, возведенными из карьерных грунтов, по гранулометрическому составу

[1] Пример опытного намыва из песчано-гравелистого грунта приведен в статье В. А. Мелентьева «Результаты опытного намыва сооружения из гравелистых грунтов», «Гидротехническое строительство» № 8, 1952.

близких к грунтам проектируемого сооружения, и таким же способом намыва, какой проектируется при возведении данного сооружения (приложение VIII).

При отсутствии аналогов расчет раскладки фракций грунта можно производить, используя приближенные методы, рекомендуемые В. Н. Масловым, Г. Н. Роером, З. И. Константной и др.

Примечание. В соответствии с имеющимся опытом намыва плотины с ядром при расчете раскладки фракций грунта по способу В. Н. Маслова целесообразно (рис. 3):

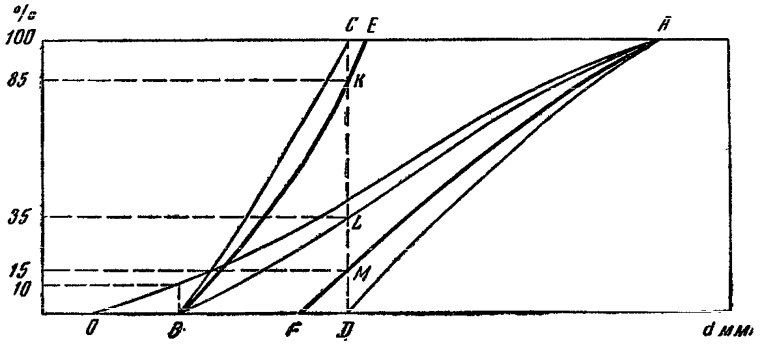


Рис. 3. График к расчету раскладки фракций грунта

1) принимать за кривую гранулометрического состава грунта по оси ядра не *BC* (по В. Н. Маслову), а *BE*, получаемую в результате вращения кривой *BA*, изображающей карьерный грунт после отмыва мелких фракций, вокруг точки *B* до пересечения с вертикалью *CD*, в точке *K*;

2) аналогично этому за кривую гранулометрического состава на бровке упорных призм следует принимать не *AD* (по В. Н. Маслову), а кривую по *AF*, получаемую в результате вращения кривой *AB* вокруг точки *A* до пересечения с вертикалью *CD* в точке *M*.

§ 7. При возведении плотин из однородного грунта с $\eta_{60}<3$—4 и $\eta_{90}<4$—5 (без ядра) для определения расчетных характеристик используется осредненный гранулометрический состав грунта карьера (или участка карьера) без мелких фракций, намечаемых проектом к удалению из сооружения.

§ 8. При возведении плотин с ядром расчетный состав грунта принимается с учетом отмыва мелких фракций и постепенного изменения гранулометрического состава от бровки внешних откосов до оси ядра плотины.

Для практических расчетов фракционирования грунта рекомендуется производить разбивку поперечного профиля плотины на нижеуказанные зоны в зависимости от высоты плотины и вида грунта (табл. 5).

Ширина ядра и центральной зоны принимается в соответствии с рекомендациями, изложенными в § 4 настоящего раздела, а зон промежуточных и боковых — суммарно в пределах 30—50% от ширины проектного профиля плотины.

Таблица 5

Вид грунта и высота плотины	Поперечный профиль разбивается на зоны
Вне зависимости от вида грунта, $H_{пл} < 15$ м	Центральную (ядро) и боковые
Вне зависимости от вида грунта, $H_{пл} = 15—40$ м	Центральную (ядро), промежуточные и боковые
Грунт песчаный, $H_{пл} > 40$ м	Центральную (ядро), промежуточные и боковые
Грунт песчано-гравелистый, $H_{пл} > 40$м	Центральную (ядро); промежуточные, прилегающие к ядру и к боковым зонам; боковые

§ 9. В случае отсутствия или недостаточности в грунте используемого карьера мелких фракций повышение водонепроницаемости грунта может быть достигнуто путем добавления грунта из другого карьера, сложенного из более мелкозернистых грунтов, включающих мелкопесчаные, пылеватые и глинистые фракции.

Место и порядок смешивания грунтов определяются местными конкретными условиями строительства и организацией производства работ.

Раздел 5

ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

§ 1. Для расчетов намывных плотин при их проектировании необходимо выбрать следующие характеристики грунтов тела плотины (после того, как будет запроектирован гранулометрический состав грунта, см. ч. III, разд. 4) и грунтов основания плотины:

1) объемный вес скелета грунта или нескольких грунтов $\gamma_{ск}$;
2) удельный вес γ;
3) коэффициент фильтрации k;
4) коэффициент внутреннего трения грунтов tg φ (угол внутреннего трения φ);
5) сцепление для глинистых грунтов основания C;
6) коэффициент разжижения песчаного грунта α'' (см. сноску 1 к § 3 настоящего раздела);
7) сжимаемость основания;
8) коэффициент порового давления α' в слабых глинистых и илистых грунтах (см. сноску 1 к § 3 настоящего раздела).

§ 2. Выбор расчетных характеристик грунтов тела плотины делается на основе их опытного определения, которое для различных классов сооружений и стадий проектирования выполняется в соответствии с указаниями ч. II, разд. 3, § 1—8 ТУиН.

§ 3. Расчетные характеристики намытых грунтов тела плотины I и II классов на стадии проектного задания, а также грунтов основания и грунтов тела плотин III класса на стадиях технического проекта и проектного задания могут приниматься по аналогии с характеристиками возведенных сооружений, а при их отсутствии — в соответствии с рекомендациями § 7—15 настоящего раздела.

Расчетные характеристики грунтов основания плотин I и II классов на стадиях технического проекта и проектного задания определяются опытным путем.

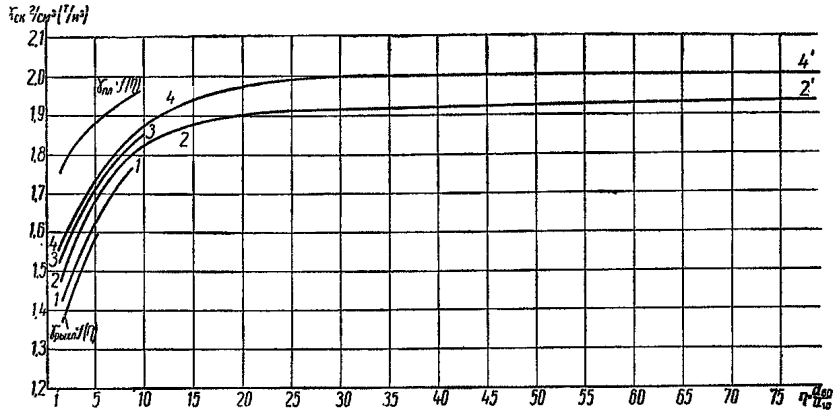


Рис. 4. График зависимости $\gamma_{ск} = f(\eta)$

Коэффициент разжижения[1] грунта тела плотины, сжимаемость и коэффициент порового давления[2] грунта основания для плотин I и II классов на стадии технического проекта определяются опытным путем.

§ 4. Плотность намытых грунтов (объемный вес скелета $\gamma_{ск}$) зависит главным образом от гранулометрического состава, степени окатанности частиц и минералогического состава. В теле плотины плотность намытого грунта одного и того же гранулометрического состава колеблется в значительных пределах.

Примечание. Влияние технологии намыва сооружений на плотность укладки грунта в производственных условиях, по данным опытных намывов и геотехконтроля, не имеет существенного значения. Однако отмечается тенденция повышения плотности укладки грунта при торцовом намыве благодаря увеличенным удельным расходам на поверхности намыва, равномерному распределению грунта на площади и относительно невысокой фактической интенсивности намыва.

---

[1] Коэффициентом разжижения α'' песчаных грунтов называется отношение избыточного пьезометрического давления к действующей вертикальной нагрузке. Значения α'' определяют опытным путем в специальных приборах (сосудах емкостью не менее 0,2×0,2×0,2 *м*).

[2] Коэффициентом порового давления α' называется отношение наибольшего давления в порах грунта к приращению вертикальной нагрузки, вызывающей это давление при уплотнении грунта. Значения α' определяют опытным путем на специальных приборах (например, на приборе А. А. Ничипоровича и С. И. Мигина).

§ 5. В намытом сооружении расчетные величины объемного веса скелета грунта $\gamma_{ск}$ рекомендуется определять для его средних и среднеминимальных значений. Эти величины для различных групп грунтов и при различных, принятых за основные, характеристиках грунтов допускается определять по приближенным графикам и зависимостям, приведенным в § 7—9 настоящего раздела.

§ 6. Средние значения объемных весов скелетов грунтов рекомендуется принимать в расчете устойчивости и в расчете осадок при вычислении действующего веса сооружения; среднеминимальные значения $\gamma_{ск}$ — соответственно для выбора расчетных характеристик грунтов: коэффициента трения, коэффициента фильтрации и пр.

§ 7. Объемный вес скелета намытых грунтов $\gamma_{ск}$ (как песчаных всех видов, так и галечниковых и гравийных) с действующим диаметром частиц $d_{10} \geqslant 0{,}05$—$0{,}06$ *мм* в зависимости от коэффициента неоднородности $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ и вида грунта допускается определять по графику В. С. Истоминой (ВНИИ Водгео), приведенному на рис. 4.

Среднеминимальные значения $\gamma_{ск}$:

а) пылеватых и мелкозернистых песков с $\eta < 10$ — по кривой *1—1*;

б) среднезернистых, крупнозернистых и гравелистых песков с $\eta < 10$ — по кривой *2—2*;

в) песчано-гравелистых грунтов с $\eta > 10$ — по кривой *2—2'*.

Средние значения $\gamma_{ск}$:

а) пылеватых и мелкозернистых песков с $\eta < 10$ — по кривой *3—3*;

б) среднезернистых, крупнозернистых и гравелистых песков с $\eta < 10$ по кривой *4—4*;

в) песчано-гравелистых грунтов с $\eta > 10$ — по кривой *4—4'*.

Примечания. 1. Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ песчаных грунтов с ярко выраженной остроугранностью частиц диаметром $d_{50} > 0{,}1$—$0{,}2$ *мм* может оказаться ниже, чем веса, показанные на графике рис. 4 соответствующими кривыми.

2. Зависимость объемного веса скелета (осредненное значение) пылеватых и мелкозернистых песков с $d_{10} > 0{,}05$—$0{,}06$ *мм* в рыхлом сложении, полученная на основе лабораторных опытов[1], показана на рис. 4 кривой $\gamma_{рыхл} = f(\eta)$.

3. Зависимость объемного веса скелета (осредненное значение) пылеватых, мелкозернистых и среднезернистых песков $d_{10} > 0{,}05$—$0{,}06$ *мм* при плотном сложении, полученная на основе лабораторных опытов[1], показана на рис. 4 кривой $\gamma_{пл} = f(\eta)$.

---

[1] Для зависимостей $\gamma_{рыхл} = f(\eta)$ и $\gamma_{пл} = f(\eta)$ использованы данные ВНИИ ВОДГЕО и Днепропетровского института инженеров транспорта, приведенные в статьях Н. В. Костылевой «Определение сопротивления сдвигу и критической пористости песка на стабилометре» и В. П. Вихарева «Исследование плотности намывных песчаных грунтов», опубликованных в сб. № 1 «Вопросы геотехники», Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953.

§ 8. Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ песчаных и песчано-гравелистых грунтов по их гранулометрическому составу и форме частиц допускается определять по графику В. А. Мелентьева (ВНИИГ)[1]:

$$\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}} = f\left(d_{50}\frac{d_{90}}{d_{10}}\right),$$

используя шкалу балльности окатанности А. В. Хабакова[2].

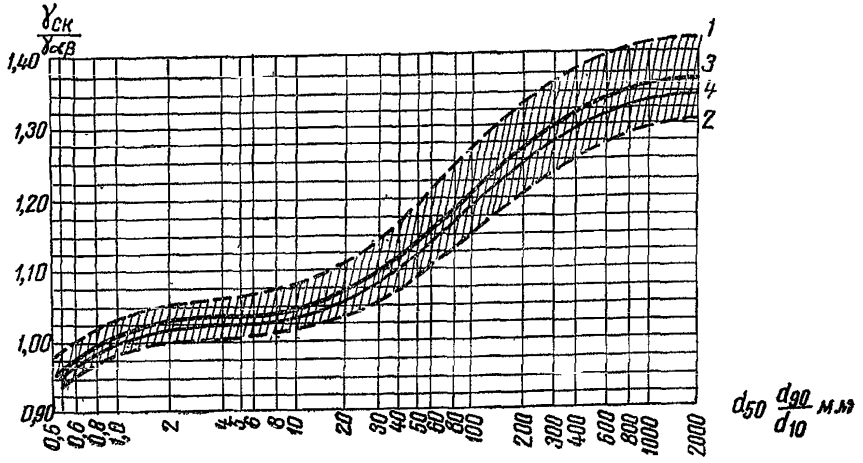


Рис. 5. График зависимости $\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}} = f\left(d_{50}\frac{d_{90}}{d_{10}}\right)$

1 и *2* — границы разброса опытных точек; *3* — осредненная линия; *4* — среднеминимальное значение

Примечание. Определение производится в следующей последовательности:

а) вычисляется параметр заданного гранулометрического состава грунта $П_l = d_{50}\frac{d_{90}}{d_{10}}$ при $d_{10} \geqslant 0{,}1$ *мм*;

б) по кривой 3 графика (рис. 5) для вычисленного $П_l$ определяется среднее отношение $\left(\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}}\right)_0$ и по кривой *4* — среднеминимальное отношение $\left(\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}}\right)_{ср.\,мин}$;

в) в зависимости от балльности окатанности частиц грунтов по шкале А. В. Хабакова принимается значение *объемного веса* $\gamma_{\alpha\beta}$ для условной крупности $П_0 = 0{,}8$ *мм* по табл. 6;

г) значения объемного веса скелета грунта определяются умножением соответствующих отношений $\left(\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}}\right)$ на принятое значение $\gamma_{\alpha\beta}$, т. е. среднее

$$\gamma_{ср} = \left(\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}}\right)_0 \gamma_{\alpha\beta};$$

[1] В. А. Мелентьев, Объемный вес скелета грунта намывных плотин, «Гидротехническое строительство» № 7, 1956.

[2] Л. Б. Рухин, Основы литологии, Гостоптехиздат, 1953.

Таблица 6

Тип песков и балл окатанности	Примерное районирование	$\gamma_{\alpha\beta}$ в $г/см^3$	
		среднее значение	пределы
Окатанные, 2—3	Равнинные реки	1,58	1,56—1,61
Слабоокатанные, 1—2	Верховье равнинных рек, горные реки	1,52	1,50—1,55
Остроугранные, 0—1	Горные реки	1,47	1,45—1,5

среднеминимальное

$$\gamma_{ср.\ мин} = \left(\frac{\gamma_{ск}}{\gamma_{\alpha\beta}}\right)_{ср.\ мин} \gamma_{\alpha\beta}.$$

§ 9. Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ при заданных гранулометрическом и минералогическом составах допускается определять по графикам В. В. Ерофеева (трест Гидромеханизация МЭС):

а) для песчаных грунтов при $\eta'_{90} = \frac{d_{90}}{d_{10}} < 20$—25 и d_{60} в интервале от 0,15 до 1 *мм* по кривым графика (рис. 6)

$$\gamma_{ск} = f\left(\frac{d_{90}}{d_{10}};\ d_{60}\right);$$

б) для песчано-гравелистых грунтов при содержании гравия более 10% по кривым графикам (рис. 7)

$$\gamma_{ск} = f\,[\Sigma\,(d > 2\ мм)].$$

Примечания. 1. Приведенные на графиках рис. 6 и 7 сведения о минералогическом составе используются как аналоги при сопоставлении с заданным грунтом. В случае, если заданный грунт по минералогическому составу отличается от приведенных на графиках описаний, рекомендуется производить интерполяцию.

2. Графики рис. 6 и 7 построены на основании данных геотехконтроля намывных плотин гидроузлов СССР, а минералогический состав приведен по данным инженерно-геологических изысканий.

§ 10. Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$ песчаных, супесчаных и суглинистых грунтов, имеющих $d_{10} < 0{,}05$ *мм*, для строительного периода и первых лет эксплуатации допускается принимать по графику Б. А. Волнина (институт Гидроэнергопроект МЭС) (рис. 8) в области, ограниченной сплошными линиями: по кривой *1* — для среднеминимальных значений; по кривой *2* — для средних значений.

§ 11. Удельный вес песчаных грунтов, от мелкозернистых до гравелистых[1], а также грунтов галечниковых и гравийных в рас-

[1] Д. Е. Польшин, О средних значениях удельного веса частиц основных видов грунтов, сб. трудов № 11 «Основания и фундаменты». Вопросы механики грунтов, Стройвоенмориздат, 1948 и В. П. Ушкалов, Средние значения удельного веса грунтов, сб. № 26 «*Деформации грунтов при замерзании и оттаивании*», Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955.

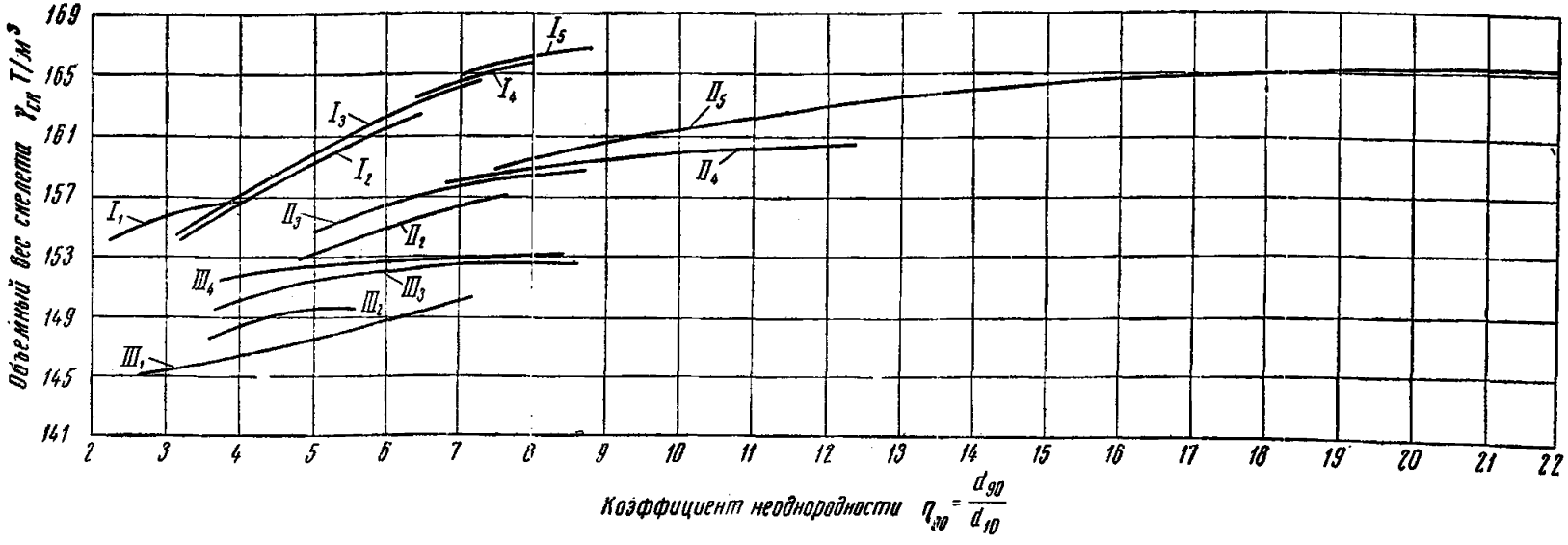


Рис. 6. График зависимости $\gamma_{ск} = f\left(\frac{d_{90}}{d_{10}}; d_{60}\right)$ для песчаных грунтов (средние значения)

При построении графика учтены пробы с содержанием фракций > 2 *мм* до 10%; с влажностью от 5 до 15%; $I_1 - d_{60} = 0{,}15 - 0{,}2$ *мм*; $I_2 - d_{60} = 0{,}21 - 0{,}25$ *мм*; $I_3 - d_{60} = 0{,}26 - 0{,}35$ *мм*; $I_4 - d_{60} = 0{,}36 - 0{,}5$ *мм*; $I_5 - d_{60} = 0{,}5 - 1$ *мм* ($I_1 - I_5$ — группа песков равнинных рек в среднем и нижнем течении. Пески в основном кварцевые с угловато-окатанной формой зерен). $II_2 - d_{60} = 0{,}21 - 0{,}25$ *мм*; $II_3 - d_{60} = 0{,}26 - 0{,}35$ *мм*; $II_4 - d_{60} = 0{,}35 - 0{,}5$ *мм*; $II_5 - d_{60} = 0{,}5 - 1$ *мм* ($II_2 - II_5$ — пески содержат 70% зерен полевого шпата и кварца угловатой формы и 15—20% зерен слабых пород неправильной формы). $III_1 - d_{60} = 0{,}15 - 0{,}2$ *мм*; $III_2 - d_{60} = 0{,}21 - 0{,}25$ *мм*; $III_3 - d_{60} = 0{,}26 - 0{,}35$ *мм*; $III_4 - d_{60} = 0{,}36 - 0{,}5$ *мм* ($III_1 - III_4$ — пески содержат зерна угловатой формы кварца и полевого шпата до 35%, около 60% составляют зерна остроугранной и неправильной формы обломков разных пород)

четах можно принимать в среднем $\gamma = 2{,}66$ *г/см*^{3} (*т/м*^{3}); пылеватых песков и супесей — $\gamma = 2{,}70$ *г/см*^{3} (*т/м*^{3}); суглинков — $\gamma = 2{,}71$ *г/см*^{3} (*т/м*^{3}); глин — $\gamma = 2{,}74$ *г/см*^{3} (*т/м*^{3}).

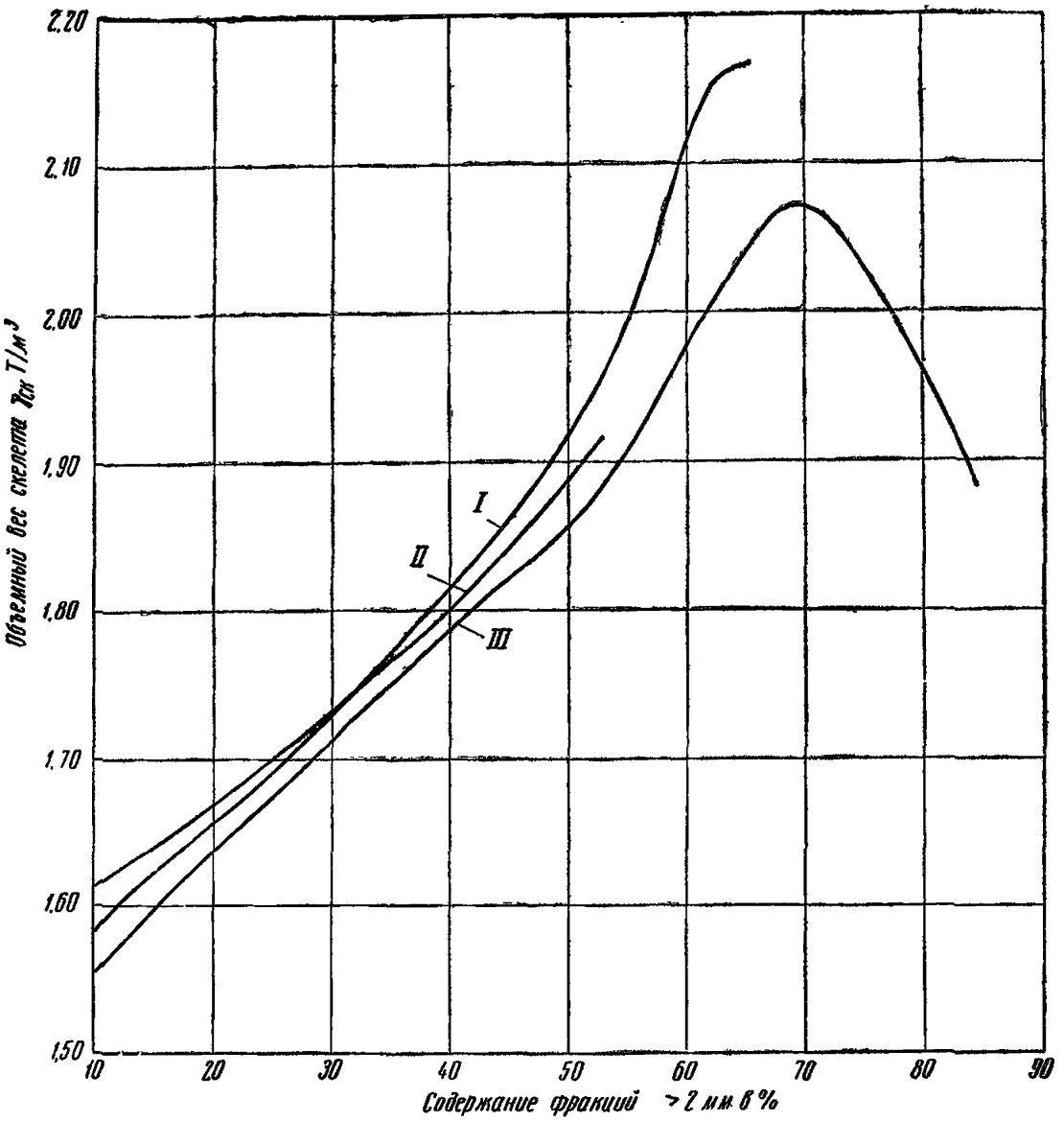


Рис. 7. График зависимости $\gamma_{ск} = f\,[\Sigma\,(d > 2\,мм)]$ (средние значения)

I — грунты: гравийно-галечниковые фракции—преимущественно разнообразных крепких пород, хорошо окатанные; песчаные фракции—угловатые зерна полевого шпата с малым содержанием кварца и значительной примесью (15—20%) зерен слабых пород неправильной формы; *II* — грунты: гравийно-галечниковые фракции—в основном кремневых, кварцевых и кварцитовых пород средней окатанности; песчаные фракции—в основном угловато-округлые зерна кварца и кремня; *III* — грунты: гравийно-галечниковые фракции кремневых, песчаниковых и известняковых пород средней окатанности; песчаные фракции—угловато-округлые зерна кварца с большой примесью карбонатов в виде мелких обломков неправильной формы

§ 12. Коэффициенты внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ (углы внутреннего трения φ) намытого песчаного и гравелистого грунта зависят в основном от его гранулометрического состава, плотности и степени окатанности частиц и независимо от способа и условий намыва их можно приближенно принимать в расчетах в соответствии с

видом грунта (табл. 1) и объемным весом скелета $\gamma_{ск}$ по зависимости $\varphi = f(\gamma_{ск})$ или $\operatorname{tg}\varphi = f(\gamma_{ск})$ (рис. 9)[1].

Примечание. Ввиду того, что систематическое изучение зависимости $\operatorname{tg}\varphi$ для песчаных грунтов от степени окатанности частиц в настоящее время лишь начато[2], в расчетах устойчивости при проектировании плотин влияние формы частиц вводить не рекомендуется.

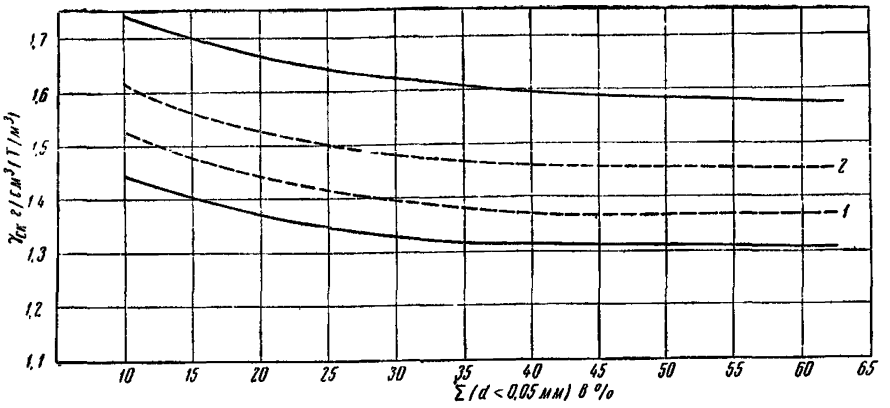


Рис. 8. График зависимости $\gamma_{ск} = f[\Sigma\,(d < 0{,}05\,мм)]$

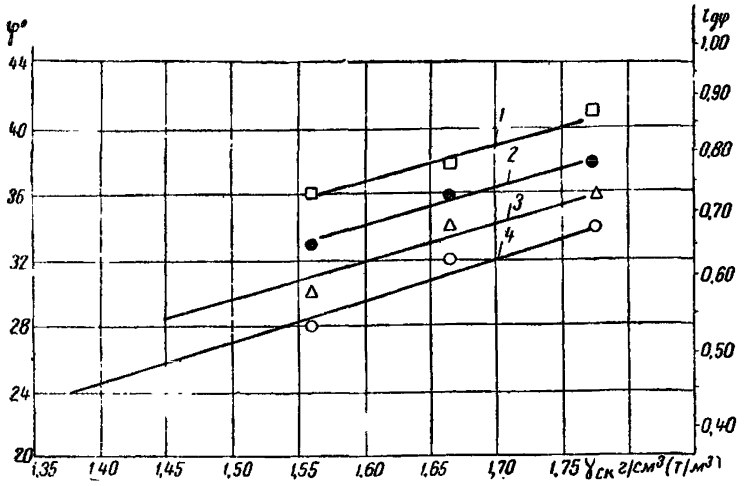


Рис. 9. График зависимости $\varphi = f(\gamma_{ск})$; $\operatorname{tg}\varphi = f(\gamma_{ск})$

1 — пески гравелистые и крупные; *2* — пески средней крупности; *3* — пески мелкие; *4* — пески пылеватые; значения $\gamma_{ск}$ вычислены при $\gamma = 2{,}66$ *г/см*³

---

[1] Этот график получен для грунтов с $\gamma_{ск} \geqslant 1{,}565$ *г/см*³ на основе рекомендаций Д. Е. Польшина и С. И. Синельщикова, приведенных в работе «Об углах внутреннего трения песчаных грунтов», сб. № 21 «Механика грунтов», Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953, при принятии $\gamma = 2{,}66$ *г/см*³ и на основе опытных данных Водгео (сравнительно немногочисленных) для грунтов с $\gamma_{ск} < 1{,}5$ *г/см*³.

[2] По данным исследований В. А. Мелентьева (ВНИИГ), для некоторых песков влияние остроугранности частиц по сравнению с частицами окатанными дает увеличение угла внутреннего трения на величину порядка 4°.

Коэффициенты внутреннего трения песчано-гравелистых грунтов с коэффициентом неоднородности порядка $\eta > 10$, средним диаметром частиц $d_{50} = 5 \div 30$ *мм*, объемным весом скелета $\gamma_{ск} = 1{,}9 \div 2{,}1$ *г/см³* (*т/м³*) могут приниматься приближенно в пределах $\operatorname{tg}\varphi = 0{,}7 \div 0{,}8$.

§ 13. Ориентировочные значения коэффициентов фильтрации в соответствии с данными полевых исследований грунтов ненарушенной структуры, а также в соответствии с лабораторными данными для грунтов нарушенной структуры могут приниматься в расчетах

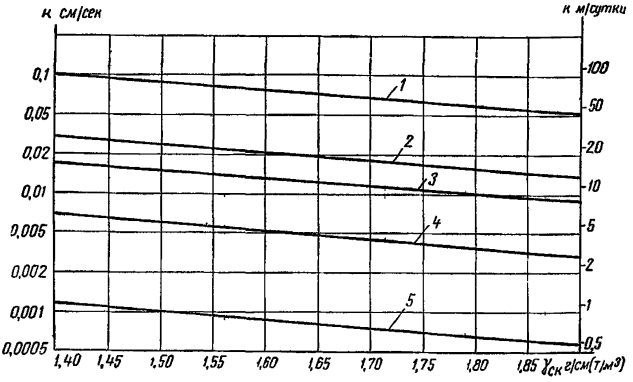


Рис. 10. График зависимости $k = f(d_{10};\ \gamma_{ск})$

1 — при $d_{10} = 0{,}2$ *мм*; *2* — при $d_{10} = 0{,}1$ *мм*; *3* — при $d_{10} = 0{,}08$ *мм*; *4* — при $d_{10} = 0{,}05$ *мм*; *5* — при $d_{10} = 0{,}02$ *мм*

из табл. 7* и для песков с η в пределах $2 < \eta < 10$—по графику рис. 10.

§ 14. Коэффициент разжижения α'' мелкозернистых песчаных грунтов с $d_{10} > 0{,}05$—$0{,}06$ *мм* и коэффициентом неоднородности $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leqslant 3$—4 в зависимости от вертикальной нагрузки p на грунт и его объемного веса $\gamma_{ск}$, как первое приближение, может приниматься в расчетах по зависимости (рис. 11), полученной опытным путем в лаборатории, или по рис. V—10 приложения V.

§ 15. Коэффициент порового давления α' в слабых глинистых грунтах, как первое приближение, может приниматься по графику В. М. Павилонского, приведенному на рис 12, полученному в лабораторных условиях для грунтов нарушенной структуры при загрузке их в прибор с влажностью на границе текучести $W = W_т$ и коэф-

---

* При составлении табл. 7 использованы данные Н. Н. Биндемана и Л. Д. Белого, Справочник по инженерно-геологическим расчетам при изысканиях для гидротехнического строительства, Госэнергоиздат, 1955, и данные лабораторных исследований ВНИИ ВОДГЕО и ВНИИГ.

Таблица 7

Наименование видов грунта	Коэффициенты фильтрации k	
	в *см/сек*	в *м/сутки*
Крупные галечниковые грунты без песчаного заполнителя	10^{-1}—1	10^{2}—10^{3}
Галечниковые грунты		
Гравелистые и крупные пески	10^{-2}—10^{-1}	10—10^{2}
Средней крупности песок	10^{-2}	10
Мелкий песок	10^{-3}—10^{-2}	1—10
Пылеватый песок	10^{-4}—10^{-3}	10^{-1}—1
Супесь	10^{-5}—10^{-3}	10^{-2}—1
Суглинок	10^{-7}—10^{-5}	10^{-4}—10^{-2}
Глина	$\leqslant 10^{-1}$	$\leqslant 10^{-4}$

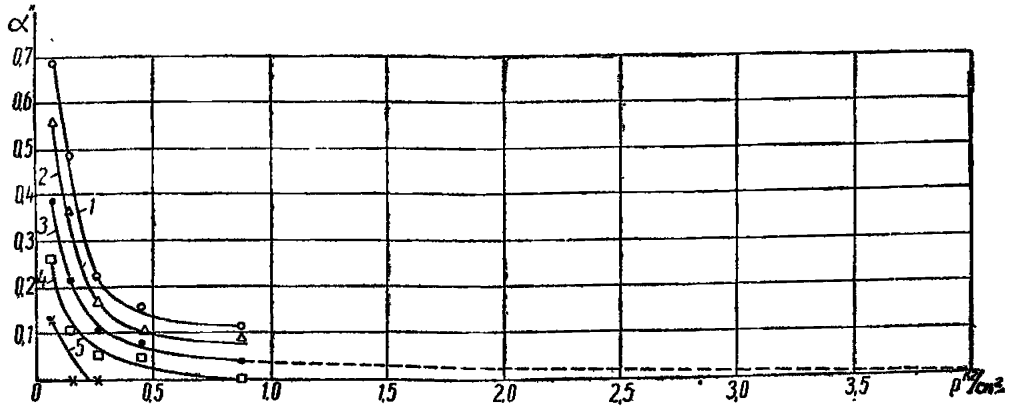


Рис. 11. График зависимости $\alpha'' = f(p; \gamma_{ск})$

1 — $\gamma_{ск}$ = 1,5 *г/см³*; *2* — $\gamma_{ск}$ = 1,53 *г/см³*; *3* — $\gamma_{ск}$ = 1,57 *г/см³*; *4* — $\gamma_{ск}$ = 1,6 *г/см³*; *5* — $\gamma_{ск}$ = 1,63 *г/см³* (опыты проведены при среднем значении сейсмического коэффициента k_c = 1 ÷ 1,1 с песком d_{60} = 0,17 *мм*; d_{10} = 0,058 *мм*; η = 2,93)

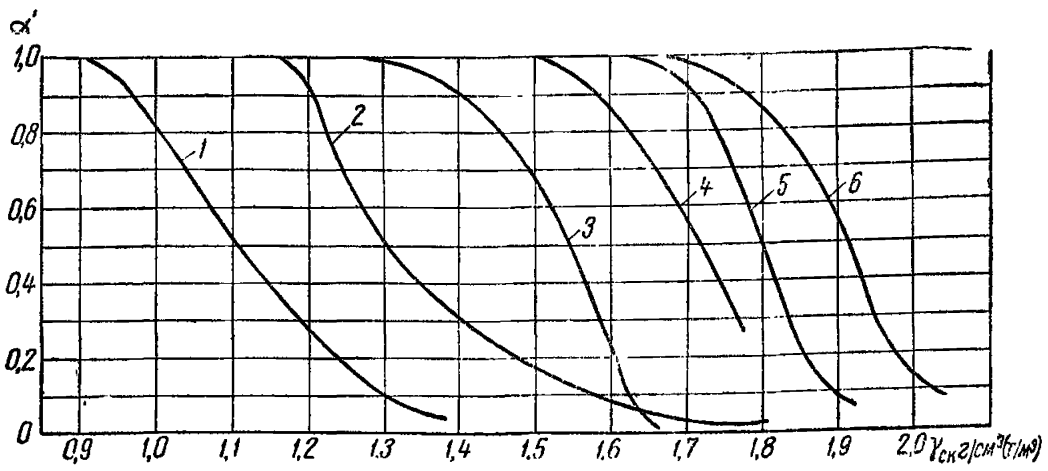


Рис. 12. График зависимости $\alpha' = f(\gamma_{ск}; W_т)$

1 — $W_т$ = 71%; $W_п$ = 26; *2* — $W_т$ = 40%; $W_п$ = 17; *3* — $W_т$ = 40%; $W_п$ = 13; *4* — $W_т$ = 29%; $W_п$ = 10; *5* — $W_т$ = 28%; $W_п$ = 8; *6* — $W_т$ = 20%; $W_п$ = 9

фициентом влажности G=0,92 ÷ 0,96 (использование коэффициента α' при расчетах на устойчивость приведено в приложении V).

Примечание. $W_п$ (рис. 12) — число пластичности.

Раздел 6

ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИНАХ

§1. Для гашения фильтрационного напора в теле земляных плотин весьма успешно применяются гибкие противофильтрационные диафрагмы.

§ 2. Гибкими диафрагмами (с точки зрения их статической работы) называют диафрагмы, легко деформируемые; их сопротивлением изгибу можно пренебречь.

Преимуществом гибких диафрагм перед жесткими является то, что они могут следовать за деформациями земляного тела плотины как в процессе его возведения, так и в процессе эксплуатации сооружения, не разрушаясь и не теряя своей прочности.

§ 3. Гибкие диафрагмы могут быть выполнены:

а) из пробитуминизированных материалов с деревянной обшивкой (из досок, положенных в двух взаимно-перпендикулярных направлениях);

б) из железобетонных тонких плит с соответствующим уплотнением швов по контуру при применении гибких связей для соединения плит;

в) из сплошной тонкой железобетонной плиты;

г) из металлического листового материала;

д) из металлического плоского шпунта.

Примечание. Перечисленные в § 3 гибкие диафрагмы могут комбинироваться, например: нижняя часть диафрагмы выполнена из металла (плоский металлический шпунт), а верхняя часть — из дерева (приложение II, рис. II—1) или из сборных железобетонных плит (рис. II—2 того же приложения).

Гибкая диафрагма, целиком выполненная из плоского шпунта, показана на рис. II—3 приложения II.

Возможны и другие комбинации различных видов гибких диафрагм.

§ 4. Гибкие диафрагмы по многолетним натурным наблюдениям гасят около 90% напора, так что для практических целей их можно считать водонепроницаемыми.

§ 5. Гибкие диафрагмы изгибу практически не сопротивляются, но при изгибе у таких конструкций возникают вертикальные растягивающие напряжения, в результате чего может произойти разрыв рабочего сечения диафрагмы.

Расчет прочности на разрыв рабочего сечения гибкой диафрагмы может быть произведен по формуле

$$\sigma_{разр} = \frac{N \operatorname{tg}\psi'}{F}, \qquad (6)$$

где $\operatorname{tg}\psi'$ — коэффициент трения грунта по диафрагме; ориентировочно $\operatorname{tg}\psi' \approx 0{,}5 \operatorname{tg}\varphi$,

F — площадь сечения диафрагмы или отдельных ее элементов, воспринимающих растягивающие усилия;

N — равнодействующая нормальных давлений, которыми диафрагма зажата в грунтах (рис. 13)

$$N = 2E_1 + (W_1 - W_2); \tag{7}$$

E_1 — активное давление грунта на диафрагму со стороны верхнего бьефа;

W_1 — давление воды на диафрагму со стороны верхнего бьефа;

W_2 — давление воды на диафрагму со стороны нижнего бьефа.

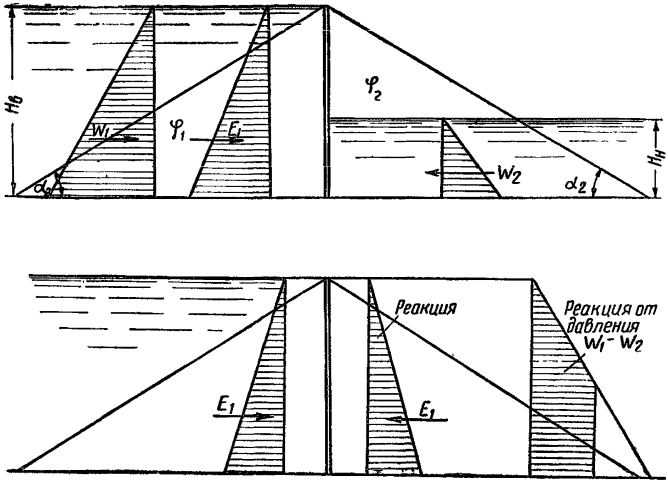


Рис. 13. Расчетная схема гибкой диафрагмы

Давление воды на диафрагму равно:
со стороны верхнего бьефа

$$W_1 = \frac{\Delta H_в^2}{2}; \tag{8}$$

со стороны нижнего бьефа

$$W_2 = \frac{\Delta H_н^2}{2}, \tag{9}$$

здесь Δ — объемный вес воды.

Давление грунта на диафрагму со стороны верховой призмы

$$E_1 = \frac{\gamma_{взв} H^2}{2} \cdot \frac{\cos^2 \alpha_1}{\cos^2 (\alpha_1 + \varphi_1)} \left[1 - \sqrt{\frac{\sin (\alpha_1 + \varphi_1) \sin \varphi_1}{\cos \alpha_1}} \right]^2, \tag{10}$$

где H — высота плотины, равная высоте диафрагмы и глубине воды в верхнем бьефе;

α_1 — угол, образованный поверхностью откоса верховой призмы плотины с горизонтом;

$\gamma_{взв}$ — объемный вес взвешенного грунта верховой призмы плотины;

φ_1 — угол внутреннего трения грунта верховой призмы плотины;

$\operatorname{tg}\varphi$ — коэффициент внутреннего трения грунта.

Примечание. При определении величины давления N следует учитывать лишь те давления, у которых коэффициент трения (от данного давления по диафрагме) не равен 0. Разность давлений воды W_1 и W_2 приложена со стороны верхнего бьефа и вызывает равное этой разности давлений реактивное давление грунта со стороны нижнего бьефа.

§ 6. Коэффициент устойчивости низовой призмы плотины при наличии в теле гибкой диафрагмы может быть проверен по формуле

$$K = \frac{E_п}{E_1 + (W_1 - W_2)}, \qquad (11)$$

где $E_п$ — пассивное давление грунта низовой призмы плотины на диафрагму.

Пассивное давление может быть определено графоаналитически. С достаточной для практических целей точностью на основании теоретических подсчетов пассивное давление может быть определено по формуле

$$E_п = Q \operatorname{tg}\varphi_2, \qquad (12)$$

где Q — вес низовой призмы плотины;

$\operatorname{tg}\varphi_2$ — коэффициент трения грунтов низовой призмы плотины.

Формула (12) справедлива, если грунты низовой призмы плотины и основания — пески, имеющие одинаковые углы внутреннего трения. Если в основании плотины залегают глинистые грунты, то следует взять $\operatorname{tg}\varphi_2$, соответствующий трению низовой призмы плотины по глине, и, кроме того, учесть силы сцепления по контакту между низовой призмой плотины и основанием.

При наличии широкого гребня плотины или широких берм по откосу плотины активное и пассивное давления грунта на диафрагму могут быть определены графоаналитическим способом Кульмана; для определения пассивного давления остается также в силе приближенная формула (12).

Примечание. Конструкции гибких диафрагм, принятых для намывных плотин в СССР, даны на рис. II—1, II—2 и II—3 приложения II.

Гибкие диафрагмы (рис. II—3 — верхняя часть), выполненные из досок, или гибкие диафрагмы (рис. II—2 — верхняя часть), выполненные из сборных железобетонных плит, имеют значительную степень свободы и на растягивающие напряжения не рассчитываются.

Раздел 7

ДРЕНАЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

§ 1. Дренажные устройства являются весьма ответственными элементами намывных плотин и им в проектах должно уделяться особое внимание.

§ 2. Основное назначение дренажных устройств — это предотвращение фильтрационных деформаций грунтов при выходе пото-

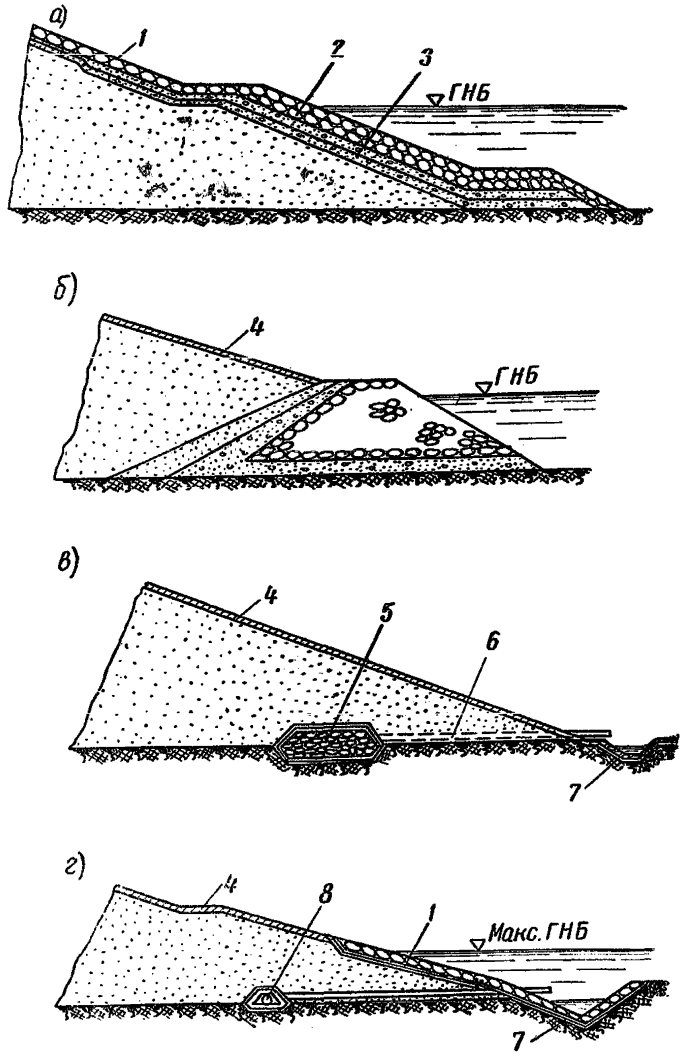


Рис. 14. Наружные и внутренние дренажные устройства намывных плотин

1 — мощение; 2 — наброска из камня; *3* — гравий; *4* — одерновка; *5* — ленточный дренаж; *6* — отводная труба; *7* — водосборная канава; *8* — трубчатый дренаж

ка на низовой откос или в нижний бьеф, а также снижение кривой депрессии в пределах низового откоса для защиты ее от промерзания.

§ 3. Основными типами дренажных устройств следует считать:

тип I — наружные дренажи—наслонный дренаж (рис. 14,*а*);

тип II — внутренние дренажи: дренажная призма (рис. 14,*б*), ленточный (рис. 14,*в*) или трубчатый дренаж (рис. 14,*г*);

тип III — комбинированные дренажи, состоящие обычно из комбинации внутренних и наружных дренажей (рис. 15,*а* и *б*).

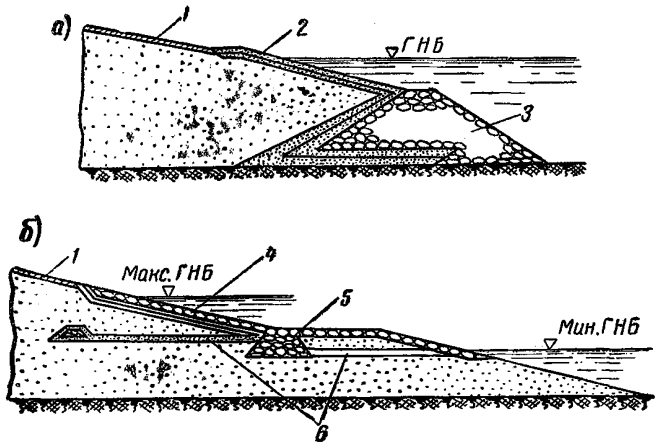


Рис. 15. Комбинированные дренажные устройства намывных плотин

1 — одерновка; *2* — наслонный дренаж; *3* — банкет; *4* — мощение; *5* — дренажная призма; *6* — отводящие дрены

§ 4. Дренажи типа II состоят из приемной части, выполняемой в виде обратного фильтра, и отводящей части, выполняемой в виде дренажных труб, коллекторов или призм из крупнозернистого материала; в дренажах типа I приемная и отводящая части совмещены.

§ 5. Выбор дренажа и расположение его в профиле плотины зависят от типа плотины, конструкции ее профиля, наличия или отсутствия воды в нижнем бьефе и условий производства работ. Расположение дренажа по длине плотины должно быть увязано с общей картиной пространственного движения фильтрационного потока в теле и основании сооружения.

§ 6. В русловых частях безъядерных плотин при наличии воды в нижнем бьефе можно рекомендовать дренажи типа II (рис. 14,*б*) или типа III (рис. 15,*а*), комбинированный из типов II и I (рис. 14,*а* и *б*).

Верх дренажной призмы или наслонного дренажа должен быть выше ВГНБ (высокого горизонта нижнего бьефа) не менее чем на 0,5 *м*.

Расположение и основные размеры дренажной призмы должны быть увязаны со схемой перекрытия реки.

В случае, если возведение русловой плотины производится без перемычек, а перекрытие русла выполняется каменным банкетом, последний может использоваться как составная часть дренажной призмы, с отсыпкой под воду на ее верховой откос обратного фильтра, а при необходимости — и с укладкой фильтра по ее подошве (способ 1). Этот способ может быть рекомендован на объектах со сравнительно небольшим объемом работ, при малых глубинах реки, при соответствующем обосновании.

Примечание. Такое решение было применено на ряде Верхне-Волжских гидроузлов.

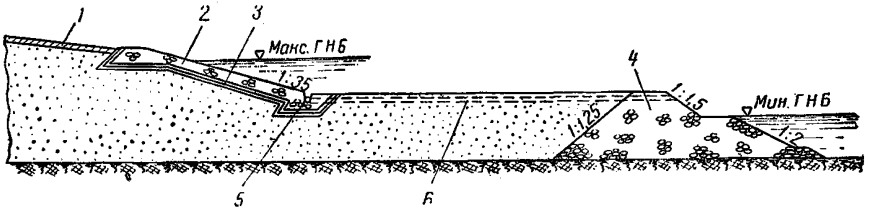


Рис. 16. Дренажная призма, расположенная отдельно от каменного банкета

1 — одерновка; *2* — пригрузка дренажа; *3* — обратный фильтр; *4* — каменный банкет, *5* — дренажная призма; *6* — водоотводная труба

Дренажная призма может быть отделена от каменного банкета, служащего для перекрытия, и выполнена насухо на отметках выше горизонта воды нижнего бьефа в момент перекрытия (способ 2) (рис. 16).

В большинстве случаев, при особо больших объемах работ, оказывается более целесообразным способ 2, а потому он и рекомендуется как основной, так как ведет к сокращению срока возведения русловой плотины, уменьшению объема материала обратного фильтра, повышению его качества и пр.

Примечание. Такое решение было применено на плотинах Цимлянского гидроузла и Волжской ГЭС им. В. И. Ленина и оказалось экономичным.

§ 7. В пойменных частях плотины следует применять дренажи:

а) при наличии воды в НБ — тип I;

б) при отсутствии воды в НБ — тип II (рис. 14,*б* и *в*);

в) при условии, что подъем горизонта воды со стороны НБ может быть редким и кратковременным (лишь в паводки редкой повторяемости) — тип III, комбинированный из типа I и II (рис. 14,*а*, *б* и *в*).

§ 8. Во внутренних дренажах типа II (рис. 14,*в* и *г*) при достаточно больших фильтрационных расходах ($q > 0{,}1$ *л/сек* на 1 *пог. м*) для отвода воды следует устраивать продольную галерею или трубу, размеры которых определяются расчетом. Предварительно рекомендуется назначать их диаметр не менее 0,3—0,4 *м*, а в сооружениях I класса — проходными с возможностью осмотра.

Поперечные отводы следует располагать не чаще чем через 50—100 *м*.

§ 9. При проектировании дренажных устройств в безъядерных плотинах, кроме основных требований, необходимо учитывать возможность использования дренажей для понижения выхода кривой депрессии на низовой откос в процессе возведения плотины.

§ 10. В плотинах ядерных и с диафрагмой роль дренажных устройств вследствие резкого снижения кривой депрессии невелика, и на участках отсутствия воды со стороны нижнего бьефа и выклинивания кривой депрессии на откос делать дренажные устройства не обязательно.

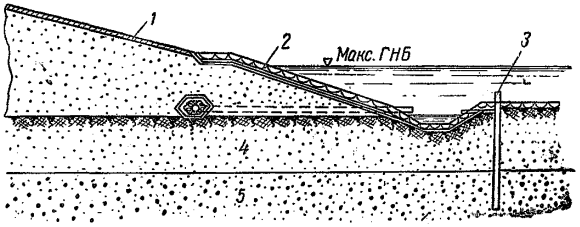


Рис. 17. Вертикальная разгрузочная скважина

1 — одерновка; *2* — мощение; *3* — вертикальная скважина; *4* — мелкозернистый песок; *5* — крупнозернистый песок

При наличии проницаемого основания, когда ядро или диафрагма не доведены до водоупора или воды со стороны нижнего бьефа, все требования к дренажным устройствам аналогичны требованиям к дренажным устройствам плотин безъядерных.

§ 11. При возможном появлении напорных вод в нижнем бьефе после заполнения водохранилища и опасениях возникновения фильтрационных деформаций выпора грунтов необходимо осуществить соответствующую пригрузку нижнего бьефа или устроить вертикальные разгрузочные скважины (рис. 17).

§ 12. Обратные фильтры дренажных устройств выполняют из слоев постепенно укрупняющегося материала. Толщина слоев может быть от 10 до 30 *см*, а при отсыпке в воду — доходить до 2—3 *м*.

Подбор крупности отдельных слоев производится по рекомендациям ч. III, разд. 8.

§ 13. С целью удешевления дренажных устройств, упрощения работ по их укладке и для максимальной индустриализации работ следует при проектировании всемерно предусматривать применение элементов из сборного бетона (например, звенья труб, коллекторов, колодцев), а также опробовать, хотя бы в опытном порядке, сборные элементы из пористого бетона взамен многослойных обратных фильтров.

Раздел 8

ПОДБОР ОБРАТНЫХ ФИЛЬТРОВ ДРЕНАЖЕЙ

§ 1. Обратные фильтры дренажей намывных плотин по характеру подхода к ним и движения в их слоях фильтрационного потока, а также и расположения грунтов разделяются на следующие типы.

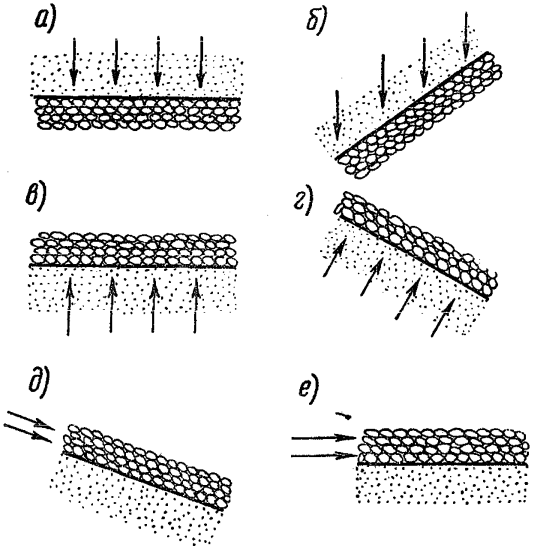


Рис. 18. Типы фильтров дренажей намывных плотин (стрелками показано направление фильтрационного потока при подходе его к дренажу)

Тип 1 (рис. 18,*а* и *б*) — фильтры выполняются во внутренних дренажах намывных плотин (ленточных, дренажной призме, в виде тюфяка, рис. 14); в них грунт мелкозернистый[1] находится на более крупнозернистом грунте первого слоя фильтра, подход фильтрационного потока к фильтру в основном происходит сверху вниз.

Тип 2 (рис. 18,*в* и *г*) — фильтры выполняются также во внутренних дренажах; в них мелкозернистый грунт находится под более крупнозернистым грунтом первого слоя фильтра, подход фильтрационного потока к фильтру в основном происходит снизу вверх.

Тип 3 (рис. 18,*д* и *е*) — фильтры выполняются в наружных дренажах (наслонных на низовом откосе плотины, в пригрузке низо-

[1] Мелкозернистыми и крупнозернистыми здесь названы грунты не в соответствии с их абсолютной крупностью, а по отношению друг к другу.

вого откоса плотины), в отводящих дренах, выполняемых из крупнозернистого материала; в них мелкозернистый грунт лежит под более крупнозернистым материалом, движение фильтрационного потока в фильтре происходит вдоль контакта двух смежных, различных по характеристикам грунтов.

Примечание. В обратных фильтрах дренажей основания плотины и в фильтрах наслонных дренажей, укладываемых на низовых откосах плотин, совмещаются фильтры двух типов — типа 2 и 3.

§ 2. Подбор материалов (или проверка выбора материалов) фильтра дренажа должен выполняться в соответствии с возможным возникновением того или иного вида фильтрационных деформаций основного грунта, в котором устраивается дренаж сооружения (выпор, суффозия, контактный выпор, контактный размыв)[1], а также в соответствии с типом фильтра и возможностью его выполнения.

§ 3. Подбор материалов фильтра дренажей плотин класса I и II на стадии технического проекта проверяется экспериментально для грунтов и условий работы, какие будут иметь место в сооружении (т. е. в соответствии с типами фильтров; см. § 1 настоящего раздела).

§ 4. Подбор материалов фильтра дренажей плотин класса I и II на стадии проектного задания и для плотин класса III на стадии технического проекта и проектного задания допускается проводить на основе приближенных приемов и графиков в соответствии с типом фильтра и характеристиками основного грунта, в котором устраивается дренаж, используя рекомендации § 7—14 настоящего раздела.

§ 5. Песчаные грунты и гравелистые (щебенистые) материалы для слоев фильтра дренажей намывных плотин рекомендуется применять с коэффициентом неоднородности[2] $H = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leqslant 10$.

Примечание. Песчаные грунты и гравелистые (щебенистые) материалы с $H > 10$ вследствие недостаточной ясности вопроса о степени неравномерности распределения в них частиц допускается применять в слои фильтра дренажей намывных плотин при наличии опытного доказательства отсутствия их рас-

---

[1] Градиенты фильтрационного потока, при которых происходит разрушение грунта из-за выпора, суффозии, контактного выпора, контактного размыва, в ТУиН обозначены $J^{в}_{разр}$, $J^{с}_{разр}$, $J^{к.в}_{разр}$, $J^{к.р}_{разр}$, а допускаемые их значения обозначены соответственно $J^{в}_{доп}$, $J^{с}_{доп}$, $J^{к.в}_{доп}$, $J^{к.р}_{доп}$. При этом коэффициенты запаса обозначены $K^{в} = \frac{J^{в}_{разр}}{J^{в}_{доп}}$, $K^{с} = \frac{J^{с}_{разр}}{J^{с}_{доп}}$, $K^{к.в} = \frac{J^{к.в}_{разр}}{J^{к.в}_{доп}}$, $K^{к.р} = \frac{J^{к.р}_{разр}}{J^{к.р}_{доп}}$.

[2] Коэффициент неоднородности более крупнозернистого грунта из двух смежных обозначен в ТУиН—$H = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, соответственно, более мелкозернистого грунта — $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$.

слаивания или при наличии специальных мер, обеспечивающих равномерность распределения частиц грунтов в слоях фильтра, а также при экспериментальном обосновании их пригодности (т. е. при отсутствии возможности возникновения в них суффозионных явлений при градиентах, меньших градиентов выпора).

§ 6. Окончательный выбор количества слоев и их состава для всех типов фильтров надлежит производить на основе технико-экономических расчетов с учетом однотипности материалов фильт-

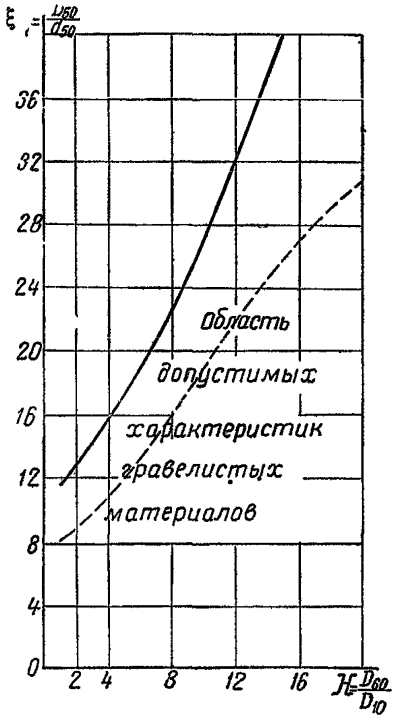


Рис. 19. График зависимости $\xi\downarrow = f(H)$ при окатанных частицах фильтра и при $h_{с.ф} \geqslant 8D_{50}$

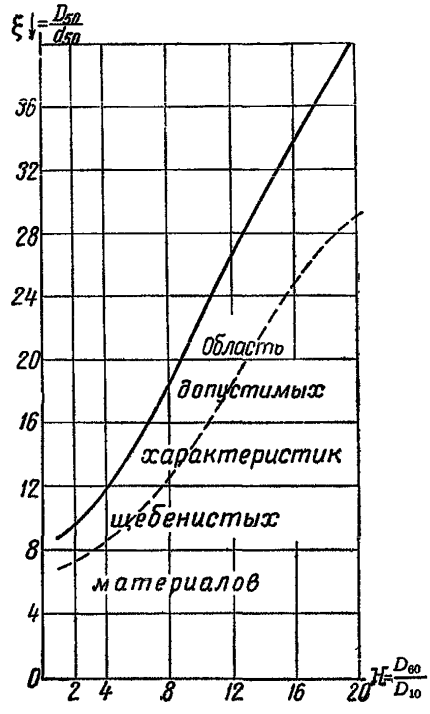


Рис. 20. График зависимости $\xi\downarrow = f(H)$ при угловатых частицах фильтра и при $h_{с.ф} \geqslant 6D_{50}$

ров с материалами других элементов сооружения, наличия потребных материалов на месте, удобства их разработки, доставки и укладки.

§ 7. Подбор (и проверка) крупности материалов слоев фильтра типа 1 в дренажах плотин из песчаных грунтов с коэффициентом неоднородности $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$ независимо от величин скоростей (или градиентов) фильтрационного потока, выходящего из основного грунта тела плотины в фильтр, должен быть выполнен из условия предотвращения возможности проникания мелкозернистого грунта через смежный более крупнозернистый грунт.

§ 8. Приближенная проверка выбора материала слоев фильтра типа 1 дренажей плотин из песчаных грунтов со средним диа-

метром частиц $d_{50} \geqslant 0{,}15$ *мм* и коэффициентом неоднородности $\eta < 10$ может быть выполнена по графикам зависимости вида $\xi = f(\text{Н})$*:

а) при слоях фильтра из гравелистых и галечниковых грунтов (с окатанными частицами) толщиной $h_{\text{с.ф}} = 20$ *см* — по графику рис. 19**;

б) при слоях фильтра из щебенистых материалов (с угловатыми частицами) толщиной $h_{\text{с.ф}} = 20$ *см* — по графику рис. 20;

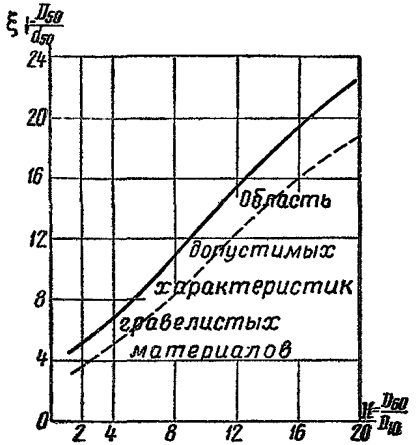


Рис. 21. График зависимости $\xi\downarrow = f(\text{Н})$ для гравелистых материалов и при $h_{\text{с.ф}} \geqslant 2D_{50}$

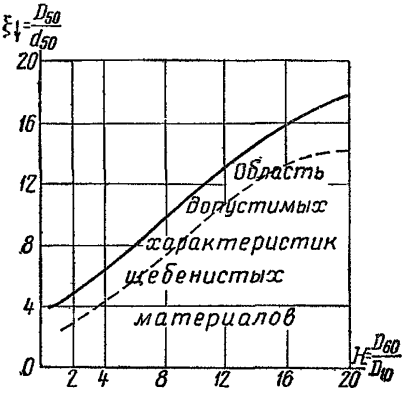


Рис. 22. График зависимости $\xi\downarrow = f(\text{Н})$ для щебенистых материалов и при $h_{\text{с.ф}} \geqslant 1{,}4\ D_{50}$

в) при слоях фильтра из гравелистых и галечниковых грунтов толщиной $h_{\text{с.ф}} < 20$ *см*, но в пределах $8D_{50} \geqslant h_{\text{с.ф}} \geqslant 2D_{50}$ — по графику рис. 21;

г) при слоях фильтра из щебенистых материалов толщиной $h_{\text{с.ф}} < 20$ *см*, но в пределах $6D_{50} \geqslant h_{\text{с.ф}} \geqslant 1{,}4D_{50}$ — по графику рис. 22.

Примечания. 1. Условие отсутствия проникания мелкозернистого грунта через крупнозернистый будет соблюдено, если при имеющемся коэффициенте неоднородности крупнозернистого материала $\text{Н} = \dfrac{D_{60}}{D_{10}}$ отношение D_{50}/d_{50} будет меньше или равно значению ξ, т. е. в том случае, если точка с координатами Н и ξ лежит в области допустимых характеристик крупнозернистого материала — области отсутствия проникания (рис. 19—22).

На графиках рис. 19—22 сплошной линией проведены осредненные кривые, пунктирными линиями — огибающие. При пользовании сплошными линиями расчет ведется для осредненных составов основных грунтов (тела плотины) и для

* В. С. Истомина, О выборе крупности переходных слоев фильтра в дренажных устройствах земляных плотин из песчаных грунтов, «Гидротехническое строительство» № 8, 1950.

** На графиках рис. 19—22, а также на графиках рис. 23 и 26 около отношений средних диаметров частиц смежных грунтов стрелкой показано направление фильтрационного потока при входе в фильтр или в самом фильтре.

осредненных составов материалов фильтров. При пользовании огибающими (пунктирными) линиями проверку выполняют с запасом.

2. Графики $\xi = \frac{D_{50}}{d_{50}} = f(\text{H})$ (рис. 19—22) имеют следующие обозначения: D_{50} и d_{50} — средние диаметры частиц двух смежных грунтов; D_{60}, d_{60} — контролирующие диаметры частиц; D_{10}, d_{10}—действующие диаметры частиц [диаметры частиц определяют по кривым гранулометрического состава (весового)], при этом заглавными буквами обозначают диаметры частиц более крупнозернистого грунта из двух смежных слоев, а строчными — соответственно диаметры частиц более мелкозернистого грунта.

3. При использовании графиков рис. 19—22 необходимо учитывать, что коэффициент неоднородности H относится к грунту, уложенному в слой фильтра, а не к карьерному материалу.

4. Зависимость, изображенная на рис. 19, получена экспериментальным путем для гравелистых и галечниковых материалов со средним диаметром частиц от D_{50}=2 *мм* до D_{50}=25 *мм* с толщиной слоя $h_{с.ф}$=20 *см*; зависимость на рис. 20 — соответственно для щебенистых материалов со средним диаметром частиц от D_{50}= =10 *мм* до D_{50}=35 *мм*.

При применении для фильтра гравелистых и галечниковых материалов с $D_{50}>25$ *мм* толщина слоя крупнозернистого материала должна назначаться по формуле

$$h_{с.ф} \geqslant \frac{200}{25} D_{50}, \quad \text{т. е. } h_{с.ф} \geqslant 8D_{50}. \tag{13}$$

При применении для фильтра щебенистых материалов с $D_{50}>35$ *мм* толщина слоя крупнозернистого материала должна назначаться соответственно по формуле

$$h_{с.ф} \geqslant 6D_{50}. \tag{14}$$

5. При устройстве фильтра с толщиной слоя $h_{с.ф}>20$ *см* (т. е. большей, чем это требуется по указаниям п. 4), соотношение средних диаметров частиц смежных слоев фильтра D_{50}/d_{50} против данных графиков рис. 19 и 20 при одном и том же H крупнозернистого материала может быть увеличено, что должно быть подтверждено экспериментом.

6. При устройстве слоев фильтра толщиной $h_{с.ф}<20$ *см* переходные коэффициенты ξ от слоя к слою должны быть уменьшены в соответствии с опытными данными по проникании более мелкозернистого грунта через крупнозернистый слой толщиной $h_{с.ф}$ и могут характеризоваться отношением толщины слоя к среднему диаметру частиц $h_{с.ф}/D_{50}$ в следующих пределах:

а) для гравелистых материалов (по рис. 21) при

$$h_{с.ф} \geqslant 2D_{50}; \tag{13'}$$

б) для щебенистых материалов (по рис. 22) при

$$h_{с.ф} \geqslant 1{,}4D_{50}. \tag{14'}$$

7. При устройстве слоев фильтра дренажа из грунтов и материалов с H$>$10 (при выполнении условий примечания к § 5 настоящего раздела) приближенная проверка отсутствия проникания грунтов с d_{50}=0,15 *мм* и $\eta<10$ через слои фильтра может быть выполнена при соблюдении сказанного в пп. 3—6 примечания к настоящему параграфу.

§ 9. Приближенная проверка выбора материала первого слоя фильтра типа 2, устраиваемого в дренажах на песчаных грунтах, характеризующихся $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$ и d_{50} в пределах от $d_{50} = 0{,}15$ *мм* до $d_{50} = 0{,}7$ *мм*, выполняется при требовании отсутствия контактного выпора более мелкозернистого грунта в более крупнозернистый грунт.

В зависимости от градиента фильтрационного потока, выходящего из грунта основания в фильтр, величину которого возможно определить по сетке движения (см. ч. III, разд. 10, § 7) и по формулам (IV—34) и (IV—35) приложения IV, А, п. 8, подбор и проверка материала фильтра могут быть выполнены по рис. 23, при $l_{вых} = J^{к.в}_{доп} \leqslant 1{,}5—2$. При этом значении D_{50}, d_{50} и Н принимаются по осредненным кривым гранулометрического состава грунтов основания и первого слоя фильтра.

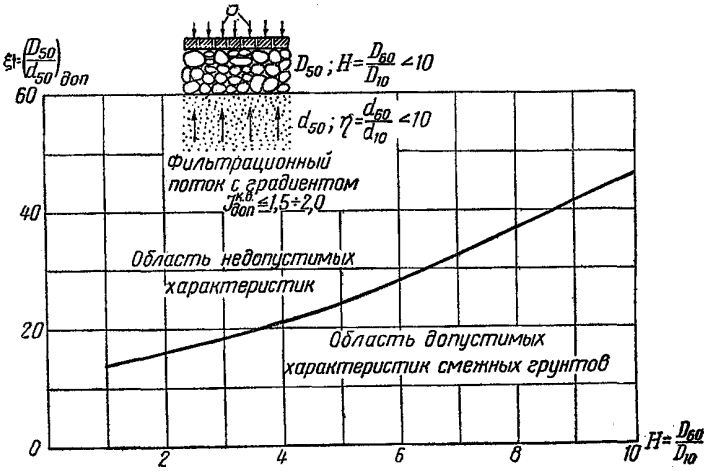


Рис. 23. График зависимости $\xi = \left(\frac{D_{50}}{d_{50}}\right)_{доп} = f(H)$

Дополнительная проверка для крайних значений гранулометрического состава грунтов (для основания — минимального состава; для грунтов слоя фильтра — максимального состава)[1] может быть выполнена по графику рис. 24, в котором приводится связь между допускаемым градиентом фильтрационного потока $J^{к.в}_{доп}$ и характеристиками смежных грунтов D_{50}, d_{50} и $\operatorname{tg}\varphi$ ($\operatorname{tg}\varphi$ — коэффициент трения грунта основания); коэффициент запаса в графике рис. 24 принят $K^{к.в} = 1{,}5$. Точки, лежащие ниже соответствующих кривых, для грунта крупнозернистого, характеризующегося Н, показывают допустимость применения материала фильтра.

§ 10. Проверку выбора материала первого слоя фильтра типа 1 и 2 дренажа, выполняемого в грунтах, характеризующихся $\eta > 10—20$, содержащих мелких фракций с $d < 1$ *мм* в количестве $g \geqslant 10 — 20\%$ по весу и имеющих коэффициент фильтрации

[1] В большинстве случаев практики как естественные грунты основания, так и грунты и материалы, применяющиеся для слоев фильтров, по своему гранулометрическому составу колеблются в некоторых пределах крупности; эти составы названы здесь «минимальным» и «максимальным».

$k_{г.р} \leqslant 0{,}05$ *см/сек*, можно делать приближенно, выделяя из основного грунта с $\eta > 10$—20 «расчетную» часть грунта с коэффициентом неоднородности $\eta_р \approx 10$ (считая от мелких фракций) и выпол-

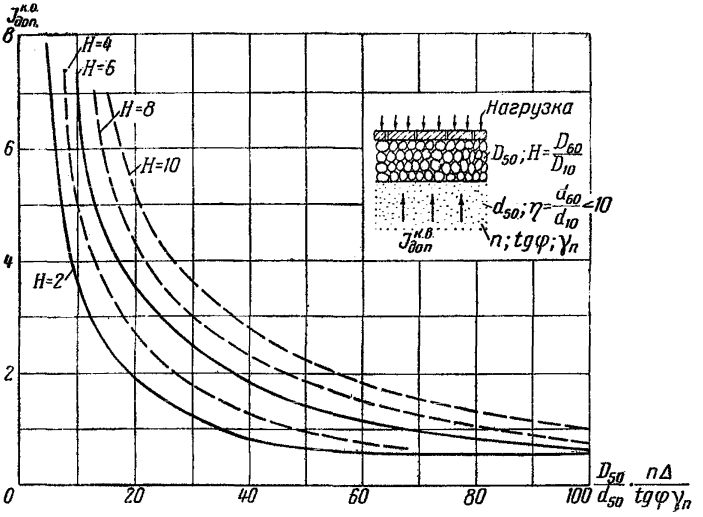


Рис. 24. График зависимости $J^{к.в}_{доп} = f\left(\frac{D_{50}}{d_{50}} \cdot \frac{n\Delta}{\text{tg}\,\varphi\gamma_n}\,;\ \text{H}\right)$

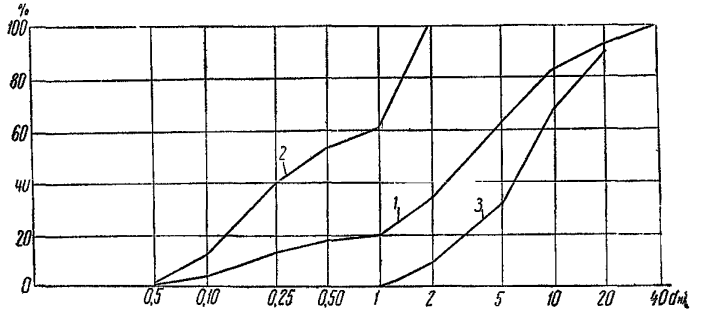


Рис. 25. График к примеру расчета фильтра для грунта с коэффициентом неоднородности $\eta = 25$

1 — $d_{60} = 4{,}5$ *мм*; $d_{50} = 3{,}2$ *мм*; $d_{10} = 0{,}18$ *мм*; $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 25$; *2* — $d_{60р} = 0{,}9$ *мм*; $d_{50р} = 0{,}47$ *мм*; $d_{10р} = 0{,}09$ *мм*; $\eta_р = 10$; *3* — $D_{60} = 8$ *мм*; $D_{50} = 7$ *мм*; $D_{10} = 2$ *мм*; H = 4

няя проверку фильтра лишь к этой расчетной части грунта в соответствии с рекомендациями § 8 и 9 настоящего раздела.

Примечание. Пример подбора фильтра типа 1 для дренажа земляной плотины из грунта, гранулометрический состав которого иллюстрируется кривой *1*,

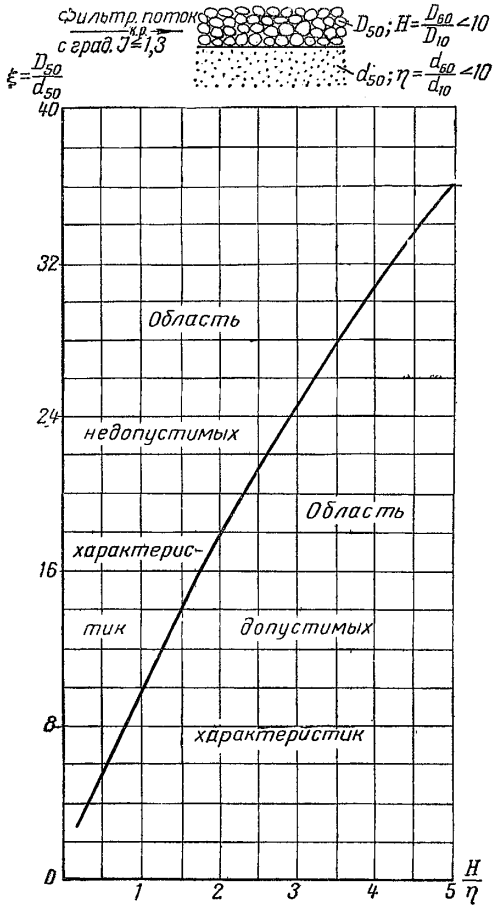


Рис. 26. График зависимости $\xi = f\left(\frac{H}{\eta}\right)$

приведен на рис. 25. Гранулометрический состав расчетной части грунта показан кривой 2. Гранулометрический состав первого слоя фильтра, подобранный к расчетной части грунта по графику рис. 19, показан кривой 3.

§ 11. При проверке подбора материала первого слоя фильтра для случаев, указанных в § 10 настоящего раздела, должно удовлетворяться соотношение коэффициентов фильтрации грунта $k_{гр}$ и материала первого слоя фильтра $k_ф$ в виде

$$k_ф \geqslant k_{гр}. \qquad (15)$$

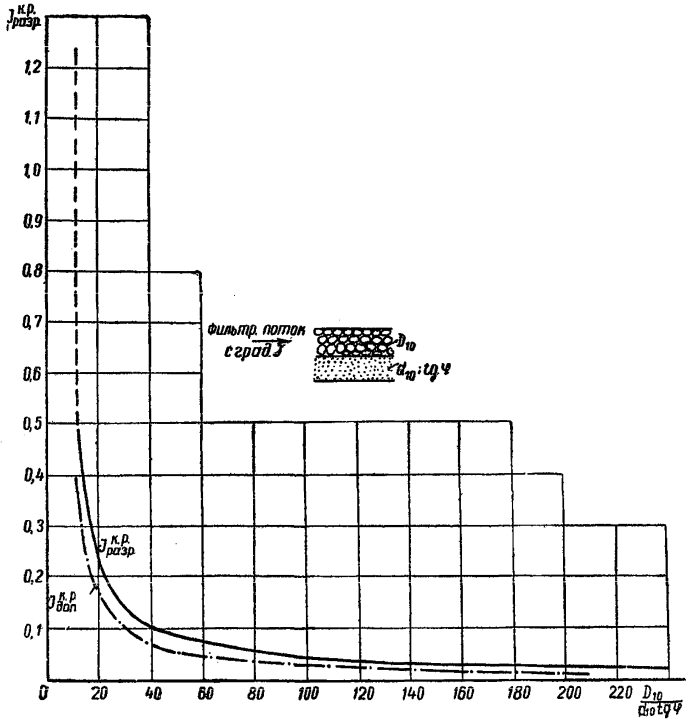


Рис. 27. График зависимости

$$J^{к.р}_{разр} = f\left(\frac{D_{10}}{d_{10}\,\mathrm{tg}\,\varphi}\right) \text{ и } J^{к.р}_{доп} = f\left(\frac{D_{10}}{d_{10}\,\mathrm{tg}\,\varphi}\right)$$

Примечание. Подбор (и проверка) материалов для второго слоя фильтра типа 1, третьего слоя и пр. (если они необходимы) для материалов с $H<10$ могут быть выполнены в соответствии с указаниями § 8 и примечаний к нему.

§ 12. Приближенная проверка выбора материалов фильтра типа 3, устраиваемого в грунтах, характеризующихся коэффициентом неоднородности $\eta < 10$ и средним диаметром частиц в преде-

лах от $d_{50}=0{,}15$ *мм* до $d_{50}\approx 1$ *мм*, выполняется с учетом необходимости обеспечить отсутствие контактного размыва более мелкозернистого грунта.

Эта проверка для осредненных кривых гранулометрического состава основного грунта и материала слоев фильтра может быть выполнена приближенно по графику рис. 26*.

Дополнительную проверку состава фильтра типа 3 дренажа для крайних значений составов грунтов (минимального состава — для грунта основания при устройстве дренажа основания или наслонного дренажа низового откоса плотины и максимального состава — для материала фильтра) следует выполнять по графику рис. 27, принимая коэффициент запаса градиента фильтрационного потока равным $K_{к.р}=1{,}5$.

Примечания. 1. На графике рис. 26 по оси абсцисс отложены отношения коэффициента неоднородности более крупнозернистого грунта к коэффициенту неоднородности грунта более мелкозернистого H/η; по оси ординат отложены соотношения средних диаметров частиц смежных грунтов D_{50}/d_{50}.

2. На графике рис. 27 по оси абсцисс отложены отношения действующего диаметра частиц более крупнозернистого материала к произведению действующего диаметра частиц более мелкозернистого грунта на коэффициент трения этого грунта $\frac{D_{10}}{d_{10}\operatorname{tg}\varphi}$. По оси ординат отложены градиенты фильтрационного потока.

Если точка с координатами J и $\frac{D_{10}}{d_{10}\operatorname{tg}\varphi}$ ляжет на рис. 27 ниже кривой $J^{к.р}_{доп}$ можно считать, что контактный размыв более мелкозернистого грунта не будет иметь места.

3. При расчетах фильтра типа 3 в наслонном дренаже за величину допускаемого градиента фильтрационного потока $J^{к.р}_{доп}$ принимается уклон низового откоса плотины i; в отводящих дренах принимается соответственно их уклон i, т. е. $J^{к.р}_{доп}=i$.

§ 13. Если фильтр дренажа песчаной плотины сложен из грунта с $\eta<10$ и может быть отнесен как к фильтру типа 2, так и к фильтру типа 3, проверку выбора материала первого слоя фильтра следует производить в соответствии с условиями, указанными в § 9 и 12 настоящего раздела.

§ 14. Подбор (и проверка) материалов первого слоя фильтров типа 2 и 3 дренажей песчаных плотин на глинистом основании должен быть основан на недопущении деформаций отслаивания глинистого грунта на контакте с материалом фильтра. Для глинистого грунта с числом пластичности $W_п>7$—10, объемным весом скелета $\gamma_{ск}>\frac{\gamma}{1+\varepsilon_т}$ и коэффициентом влажности $G\geqslant 0{,}95$ допускается производить подбор фильтра приближенно по графику рис. 28**.

---

* В. С. Истомина, Исследование контактного размыва песчаных и гравелистых грунтов, ВНИИ Водгео, сб. № 2 «Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений», Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

** В. С. Истомина, Фильтрационная устойчивость связных грунтов, ВНИИ ВОДГЕО, сб. № 2 «Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

Примечания. 1. На графике рис. 28 по оси абсцисс отложены коэффициенты неоднородности материала первого слоя фильтра $H^I = D^I_{60}/D^I_{10}$ по оси ординат — средние диаметры частиц фильтра D^I_{50}.

2. γ — удельный вес частиц глинистого грунта;
$\varepsilon_т$ — коэффициент пористости грунта на границе текучести.

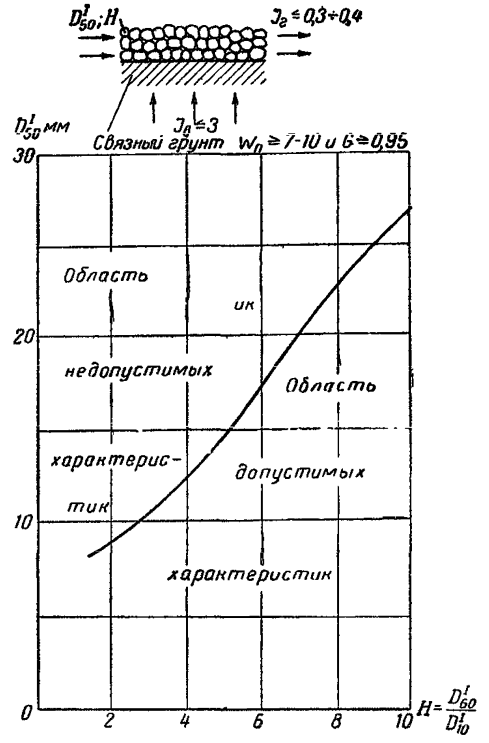


Рис. 28. График зависимости $D^I_{50} = f(H)$

§ 15. Устройство второго слоя в фильтре 2 в основании плотины не является обязательным, если градиенты фильтрационного потока при выходе его из первого слоя фильтра меньше или равны допустимым градиентам для грунта первого слоя фильтра:

$$\left.\begin{aligned} J^I_{вых} &< J^в_{доп} \\ J^I_{вых} &< J^с_{доп}. \end{aligned}\right\} \qquad (16)$$

Величины $I^в_{доп}$ и $I^с_{доп}$ для грунтов первого слоя фильтра могут быть найдены из формул (33) и (36).

Значение выходного градиента в первом слое фильтра может быть определено по формуле

$$J^I_{вых} = \frac{k_0}{k_I} J, \qquad (17)$$

где J — градиент фильтрационного потока, определяемый по формулам (IV—34) и (IV—35) приложения IV, А, п. 8.

k_0 — коэффициент фильтрации грунта основания;

k_I — коэффициент фильтрации грунта первого слоя фильтра.

§ 16. Устройство второго (или третьего) слоя в фильтре типа 3 не является обязательным (если оно не требуется по условиям отвода воды в нижний бьеф) при скоростях потока на поверхности первого (или второго) слоя, не размывающих грунт рассматриваемого слоя фильтра.

§ 17. Толщина слоев фильтров дренажей выбирается из условий производства работ в пределах

$$h_{с.ф} \geqslant 2D_{50}, \qquad (18)$$

но не менее 10 *см*.

§ 18. При устройстве внутренних дренажей плотин (рис. 14,*б*, *в* и *г*) до намыва плотины первый слой фильтра дренажа (примыкающий к грунту тела плотины) должен быть защищен укладываемым насухо грунтом, взятым из намытого грунта того же состава, что и тело плотины.

Толщину защитного слоя рекомендуется принимать порядка 1—2 *м*.

§ 19. Приемные отверстия в трубчатых дренах (рис. 14, *б*, *в* и *г*) должны иметь следующие размеры (диаметры):

а) в трубах, укладываемых в грунтах и материалах, с коэффициентом неоднородности $H = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 10$,

$$d_0 > 2,5 D_{50}, \tag{19}$$

где D_{50} — средний диаметр частиц материала;

б) в трубах, укладываемых в грунтах и материалах с $H > 10$—20 и коэффициентом фильтрации $k \leqslant 0,05$ *см/сек*

$$d_0 > 2,5 D_{50р}, \tag{20}$$

где $D_{50р}$ — средний диаметр частиц расчетной частицы грунта (см. § 10 настоящего раздела и рис. 25); он берется по кривой гранулометрического состава (весового).

§ 20. Камень, гравий и щебень, применяемые для фильтров дренажных устройств, должны обладать морозостойкостью, не должны размокать или растворяться фильтрационной водой, водой водохранилища и нижнего бьефа; при этом желательно использование материалов изверженных пород.

Песчаные, песчано-гравелистые и щебенистые грунты и материалы, применяемые для слоев фильтра, не должны содержать частиц диаметром $d < 0,1$ *мм* более 3—5% по весу.

Раздел 9

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ОТКОСОВ ОТ РАЗРУШЕНИЯ

Основные типы защитных мероприятий

§ 1. Для защиты откосов земляных гидротехнических сооружений (плотин, дамб и т. д.), а также береговых естественных откосов водохранилищ от воздействия на них волновой, ледовой и других нагрузок следует в проекте предусматривать защитные мероприятия, к которым относятся: а) уполаживание откоса; б) применение различных защитных покрытий откоса.

Защитные покрытия откосов могут быть следующие: а) одерновка; б) хворостяное крепление; в) каменное крепление (каменная наброска и каменное мощение); г) бетонные и железобетонные крепления (крепления из отдельных плит и сплошное покры-

тие); д) сплошные гибкие битумные крепления; е) смешанные крепления.

Ниже будут рассмотрены только каменные и железобетонные покрытия, являющиеся наиболее распространенными в современном плотиностроении.

§ 2. Тип крепления откосов плотин выбирается на основании технико-экономического сопоставления вариантов различных типов крепления и оценки их долговечности в период эксплуатации.

К числу факторов, влияющих на выбор типа крепления, относятся высота ветровой волны, ледовые нагрузки, наличие строительных материалов и подходящих каменных карьеров в районе строительства и ряд других производственных условий строительства.

Определение волновой нагрузки, действующей на защитные покрытия откосных сооружений

§ 3. Для определения волновых нагрузок необходимо знать высоту h и длину λ ветровой волны.

Волнообразующими факторами являются:

а) скорость ветра и его продолжительность;

б) протяженность водной поверхности, так называемый разгон ветра.

Глубины водоема и рельеф дна оказывают существенное влияние на развитие и распространение волн.

§ 4. Расчетная максимальная скорость ветра выбирается на основании статистической обработки данных наблюдений гидрометеорологических станций. Скорость ветра, наблюдаемая на гидрометеорологических станциях, должна быть приведена к одной и той же высоте, т. е. к высоте 10 *м* над уровнем водоема. Приведение может быть осуществлено по следующей формуле:

$$w_{10} = k_w w'_ф,$$

где w_{10} — скорость ветра на высоте 10 *м* над уровнем водоема[1];

$w'_ф$ — скорость ветра, измеренная по высоте флюгера;

k_w — коэффициент для приведения измеренной скорости ветра к высоте 10 *м* над уровнем водоема.

Величина k_w в зависимости от высоты, на которой измеряется скорость ветра, приводится ниже:

при высоте	2 *м*	1,25
» »	6,5 »	1,05
» »	8 »	1,03
» »	10 »	1
» »	12 »	0,98
» »	17 »	0,94
» »	20 »	0,89

[1] В дальнейшем скорость ветра на высоте 10 *м* над уровнем водной поверхности обозначается через w.

§ 5. Расчетная скорость ветра для вычисления элементов ветровой волны принимается различной обеспеченности в зависимости от класса и типа гидротехнического сооружения согласно табл. 8 по ежегодным максимальным скоростям ветра, замеренным на береговых метеостанциях.

Обеспеченность ежегодных максимальных наблюденных скоростей ветра может быть определена по формуле

$$P = \frac{N - 0{,}3}{n + 0{,}4} 100\ \%, \qquad (21)$$

где P — обеспеченность числа в ряду наблюденных скоростей ветра;

N — порядковые номера наблюденных скоростей ветра, расположенных в ряду в убывающем порядке;

n — число членов в ряду.

Таблица 8

Расчетная обеспеченность скорости ветра

Класс сооружения	Обеспеченность в %
I	2
II	2,5
III	3,3
IV	5

Значения скоростей ветра расчетной обеспеченности (табл. 8) устанавливаются графической экстраполяцией кривой обеспеченности, построенной по формуле (21).

§ 6. Для проектного задания расчетная скорость ветра принимается по среднемноголетнему значению максимальной скорости ветра, наблюденной за период отсутствия ледяного покрова на реке по флюгеру с тяжелой доской наиболее опасного для сооружения квадранта (рис. 29).

Для сооружений класса I и II расчетная скорость ветра принимается равной удвоенному значению среднемноголетней величины скорости ветра, взятой по максимальным значениям за каждый год (в период отсутствия ледяного покрова), а для сооружений прочих классов — той же скорости ветра, но увеличенной в 1,5 раза.

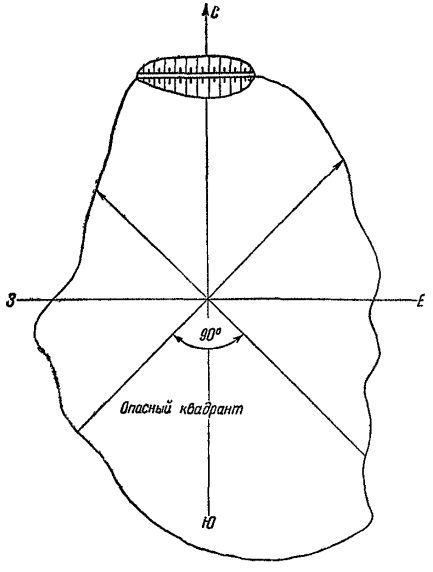


Рис. 29. Схема определения наиболее опасного квадранта для расчетной скорости ветра

Примечания. 1. Наблюдения, осуществляемые более 15 лет при определении максимальных скоростей ветра, могут считаться представительными.

2. За опасный квадрант принимается квадрант действующих по направлению к сооружению ветров (см. рис. 29).

3. Данные метеостанций, оборудованных легкой доской, могут приниматься в расчет только в том случае, если замеренные скорости ветра были менее 20 *м/сек.*

§ 7. Для водоемов, имеющих разгон ветра меньше 100—150 *км,* продолжительность действия ветра может не учитываться, так как даже небольшая продолжительность ветра для водоемов достаточна для появления максимальных волн при определенной интенсивности ветра.

§ 8. В зависимости от глубины в водоеме H могут быть применены различные формулы определения элементов ветровой волны.

Показателем, определяющим границу между глубокой зоной водоема, является отношение глубины водоема H к длине волны λ в данной точке. Если $H/\lambda \geqslant 0{,}5$, зона водоема является глубоководной; если $H/\lambda < 0{,}5$, она является мелководной.

§ 9. Расчетная величина волны определяется расчетной скоростью ветра при наиболее неблагоприятном сочетании ее и разгона.

Сооружение рассчитывается на 1%-ную высоту волны при различной обеспеченности ветра, принимаемой в соответствии с классом сооружения.

§ 10. Для определения высоты волны расчетом может быть рекомендован метод А. П. Браславского и метод Н. А. Лабзовского.

§ 11. Для условий глубоководных водохранилищ оба метода дают примерно одинаковые данные, для условий же мелководных водохранилищ имеются расхождения. Однако ввиду того, что в проектной практике оба метода получили одинаково широкое применение в ТУ и Н приведены оба метода.

Высоты волн, определенные по графикам А. П. Браславского (рис. 30, 31 и 32), соответствуют скоростям ветра w=10, 20 и 30 *м/сек,* измеренным на высоте 10 *м* над водной поверхностью. Сплошные линии на этих графиках дают возможность непосредственно определить высоту волны в конце разгона ветра при постоянной глубине в пределах всего разгона.

Если же глубина водоема изменяется по длине разгона, профиль водоема следует разбить на ряд участков, чтобы в пределах каждого участка можно было принять постоянными глубину или уклон дна. Определение высоты волны при переменном рельефе дна дано в работе А. П. Браславского [1].

Примечание. Обеспеченность высоты волны, определяемая по графикам А. П. Браславского, соответствует 0,1%. В настоящее время сам автор и различные учреждения, производившие проверку его формулы, пришли к заключению о необходимости замены обеспеченности высоты волны, определяемой по графикам 30, 31 и 32, на 1%-ную обеспеченность.

[1] А. П. Браславский, Труды ГГИ, Расчет ветровых волн, вып. 35 (89), Гидрометеорологическое изд-во, 1952.

§ 12. Н. А. Лабзовский рекомендует определять элементы ветровой волны по следующим формулам:

$$\left.\begin{aligned} h &= \beta h_0; \\ \lambda &= \alpha\lambda_0, \end{aligned}\right\} \qquad (22)$$

где h и λ — высота и длина волн в заданной точке;

h_0 и λ_0 — высота и длина волн глубокой воды, которые имели бы место при неограниченной глубине в данной точке;

α и β — коэффициенты, учитывающие влияние мелководья на высоту и длину глубоководных волн, определяемые по графикам рис. 33.

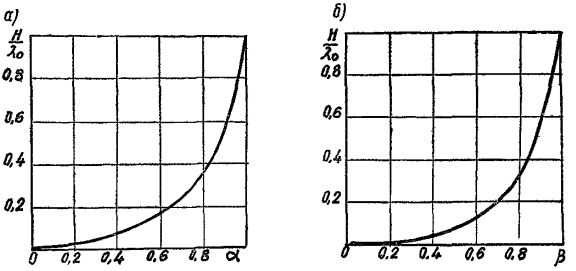


Рис. 33. График зависимости α и β от $\frac{H}{\lambda_0}$

Формулы для условий глубокой воды имеют следующий вид:

$$h_0 = 0{,}073\, k w \sqrt{D \cdot \varepsilon},$$

$$\lambda_0 = 0{,}073\, w \sqrt{D/\varepsilon},$$

где D — разгон ветра в *км*, причем величина D должна быть не более предельной величины разгона ветра D_0, определяемой по формуле

$$D_0 = 30 w^2 \varepsilon$$

Крутизна волн ε и значение коэффициента k определяются по формулам:

$$\varepsilon = \frac{1}{9 + 19e^{-14/w}};$$

$$k = 1 + e^{-0{,}4D/w},$$

где w — скорость ветра, измеренная на высоте 10 *м* над водной поверхностью, в *м/сек*.

Значения D_0, ε и k могут быть определены по графикам рис. 34, 35 и 36, в зависимости от w и D.

Примечание. Обеспеченность элементов по формулам Н. А. Лабзовского следующая: высота волны — 1%, длина волны — 50%.

§ 13. Наибольшая возможная высота волн $h_{макс}$ составляет 1,2 высоты волны обеспеченностью в 1%.

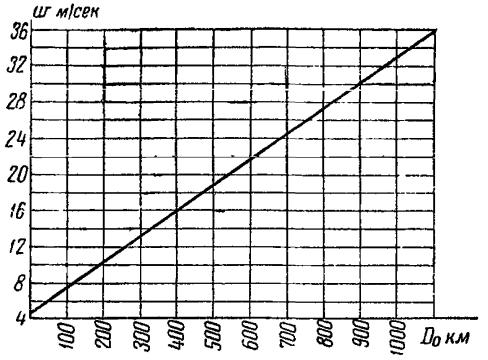


Рис. 34. График зависимости величин предельного разгона от скорости ветра

§ 14. Методы А. П. Браславского и Н. А. Лабзовского позволяют определить элементы ветровых волн до стадий их разрушения. Разрушение волн происходит на глубинах меньше критических. За критическую принимается глубина, равная (1,5—2) h обеспеченностью в 1%.

§ 15. При наличии данных о максимальной скорости встра наиболее опасного квадранта расчетная высота волны определяется при данной скорости ветра и возможном максимальном разгоне ветра.

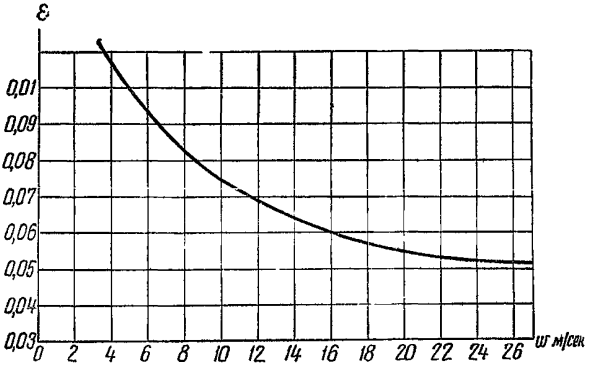


Рис. 35. График зависимости крутизны максимальных волн от скорости ветра

§ 16. Данные об элементах ветровых волн, полученные путем расчета, подлежат проверке по данным натурных наблюдений.

§ 17. Нагрузка от поверхностного ледяного покрова на гидротехнические сооружения в соответствии с ГОСТ 3440-46 классифицируется целым рядом воздействий (динамическим и статическим давлением).

§ 18. При наличии ледовых нагрузок следует учитывать появление вертикальных (поднимающих) нагрузок в связи с примерзанием ледяного покрова и колебанием горизонта воды и истирающим воздействием льда при движении его вдоль по откосу.

Величина всех перечисленных ледовых нагрузок определяется согласно ГОСТ 3440-46.

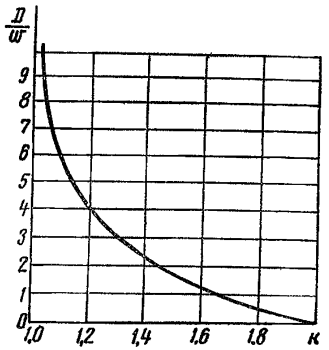


Рис. 36. График для определения коэффициента k

Технические условия на материалы каменных и железобетонных покрытий

§ 19. Камень, щебень, гравий, применяемые для креплений откосов, должны обладать прочностью, морозостойкостью и водостойкостью в соответствии со СНиП, гл. I-А.1, § 1 и гл. II-Б.2, § 2.

§ 20. Каменные материалы должны быть из плотных изверженных, осадочных и метаморфических пород, удовлетворяющих следующим требованиям:

а) предел прочности при сжатии — не менее 300—400 *кг/см*^{2};

б) морозостойкость характеризуется 50 циклами попеременного замораживания и оттаивания при температуре $t=\pm 15°$ без явно видных следов разрушения (трещины, отслоения);

в) водостойкость, определяемая коэффициентом размягчения (отношение пределов прочности материалов в насыщенном водой и в сухом состоянии), должна быть не менее 1.

Примечание. Требования морозостойкости к каменному материалу, который не подвергается действию отрицательных температур, не предъявляются.

В качестве основного материала для крепления применяются камень рваный, колотый, плитчатый и булыжник, причем для мостовой целесообразно использовать плитчатый, а для наброски — рваный камень твердых пород.

§ 21. Бетон, применяемый для креплений откосов, должен обладать прочностью, морозостойкостью и водостойкостью в соответствии со СНиП, гл. II-3.2, § 4.

§ 22. Качество бетона должно удовлетворять следующим требованиям:

а) марка бетона должна быть не ниже 150;

б) морозостойкость должна назначаться в соответствии с ГОСТ 4795-49;

в) водостойкость — в соответствии с ГОСТ 4796-49;

г) признаки и нормы агрессивности воды-среды должны определяться по ГОСТ 4801-49;

д) проектирование состава бетона и соблюдение требований производства работ должны производиться по ГОСТ 4063-48.

Определение границ крепления напорного откоса

§ 23. При определении границ крепления откоса следует определять МПГ (максимальный подпорный горизонт) верхнего бьефа с учетом принятого процента обеспеченности расхода и ГМО (горизонт мертвого объема) верхнего бьефа с учетом сработки водохранилища.

§ 24. Крепление по откосу должно устраиваться различной капитальности; в зоне наиболее интенсивного волнового воздей-

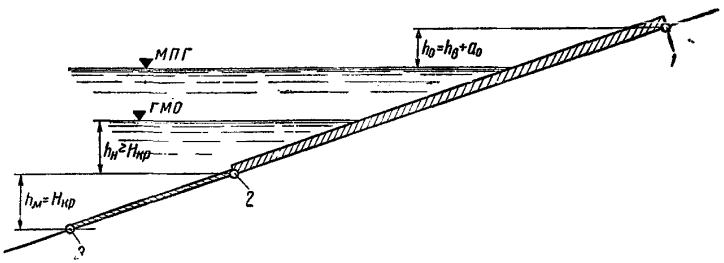


Рис. 37. Расчетная схема для определения границ крепления откоса

1 — верх основного откоса; *2* — низ основного крепления; *3* — низ облегченного крепления откоса

ствия следует предусматривать основное крепление, а ниже и вверх по откосу — облегченное крепление.

Верхняя граница основного крепления откосов земляных плотин определяется по формуле

$$h_0 = h_в + a_0, \tag{23}$$

где h_0 — отсчитывается от МПГ (рис. 37);

$h_в$ — высота вскатывания волны, определяется по формуле (25) или (26), приведенным ниже;

a_0 — величина, учитывающая ветровой нагон.

Высота подъема горизонта воды от ветрового нагона a_0 может быть определена по методу А. В. Караушева[1].

При предварительном проектировании величина a_0 может быть принята для малых водохранилищ до 50 $км^2$ — 0,5 $м$, для больших свыше 200 $км^2$ — 1 $м$.

§ 25. Нижняя граница основного крепления (рис. 37) должна располагаться на глубине не менее критической, считая от нижнего расчетного горизонта воды, с учетом сработки водохранилища (определение критической глубины дано в § 14 настоящего раздела).

Примечание. В зоне основного крепления последнее может быть различной капитальности.

[1] А. В. Караушев, Гидравлика рек и водохранилищ, Речной транспорт, 1955.

§ 26. Нижняя граница облегченного крепления должна устраиваться на глубине, на которой донные волновые скорости v не превышают скорости трогания $v_{тр}$ для грунтов, расположенных в пределах данного участка откоса. Донные максимальные волновые скорости $v_д$ определяются по формуле ГОСТ 3255-46:

$$v_д = \frac{\pi 0{,}5hn}{\sqrt{\frac{\pi\lambda}{4g}\,\mathrm{sh}\,\frac{4H\pi}{\lambda}}}, \qquad (24)$$

где g — ускорение силы тяжести;

n — коэффициент, принимается в пределах от 0,6 до 0,9 в зависимости от шероховатости дна.

Примечание. Нижняя граница участка облегченного крепления располагается ориентировочно на глубине, равной $H_{к.р}$, определяемой в соответствии с § 14 настоящего раздела.

Волновые скорости трогания частиц грунта $v_{тр}$ определяются по графику, полученному П. К. Божичем (рис. 38). Частицы грунта диаметром менее, чем определенные по графику рис. 38, при данных скоростях будут находиться в движении.

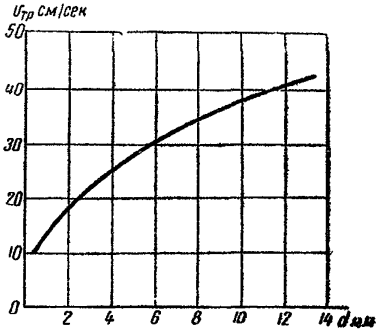


Рис. 38. График для определения скорости трогания частиц грунта $v_{тр}$

§ 27. Высота вскатывания волны (при отсутствии берм на откосе) может быть определена по формуле Н. Н. Джунковского с поправками:

$$h_в = 3{,}2\,k_0 h\,\mathrm{tg}\,\alpha, \qquad (25)$$

где α — угол наклона откоса к горизонту.

Значение коэффициента k_0 берется по табл. 9.

Таблица 9

Тип крепления откоса	Значение k_0
Наброска из равных камней	0,72
То же, из округленных камней	0,82
То же, из разных камней	0,77
Мостовая	1,0
Бетонное крепление	1,25

Примечание. При отношении $\frac{\lambda}{h} > 10$ в формулу (25) вместо коэффициента 3,2 следует подставлять коэффициент 3,8.

Коэффициент k_0 учитывает шероховатость и непроницаемость крепления.

При наличии берм высота вскатывания волны может быть определена по формуле П. А. Шанкина:

$$h_в = k_0 k_в k_б h, \qquad (26)$$

где k_0 — берется по табл. 9;

$k_в$ и $k_б$ — коэффициенты, принимаются по графику рис. 39;

h — определяется согласно § 8—14 настоящего раздела.

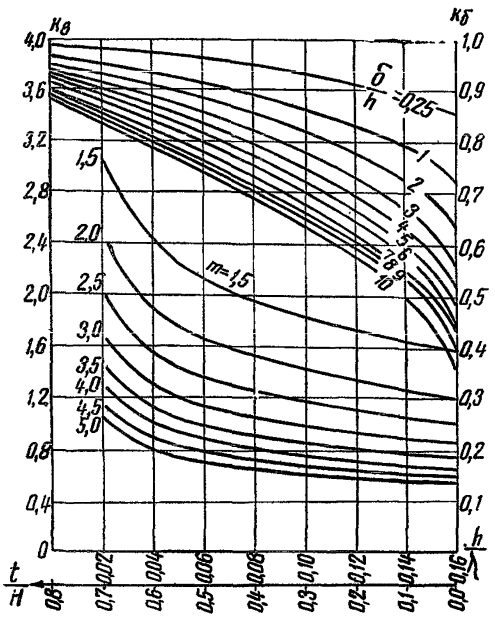


Рис. 39. График для определения коэффициентов $k_в$ и $k_б$

Значения коэффициента $k_в$ берутся в зависимости от m — заложения откоса и $\frac{h}{\lambda}$, а коэффициента $k_б$ — в зависимости от $\frac{\delta}{h}$ и $\frac{t}{H}$,

где t — глубина воды над бермой по отношению к расчетному горизонту;

H — глубина воды перед сооружением;

— ширина бермы.

Каменные покрытия откосов

§ 28. В зависимости от капитальности сооружения и рода местных материалов могут быть применены следующие типы камен-

ных покрытий откосов: а) каменная наброска, б) каменное мощение.

Примечание. О расчете каменных защитных покрытий верховых откосов намывных земляных плотин см. приложение III настоящих ТУиН.

Железобетонные покрытия

§ 29. Для покрытия напорных откосов плотин в зависимости от способа производства работ могут быть применены следующие типы железобетонных плит.

1. Бетонируемые на месте плиты различных размеров (преимущественно большие — размером 5×5; 10×10; 15×15 *м* и т. д.) с открытыми или закрытыми швами; типы закрытых швов даны на рис. III—6 приложения III. Плиты должны быть соединены между собой пропущенной рабочей арматурой или особыми шарнирными связями. По контуру плит следует предусмотреть обратный фильтр.

При применении больших плит, бетонируемых на месте, достигается лучшее сопряжение их с откосом, но они хуже работают на неравномерную осадку откоса.

Примечание. Для уменьшения взвешивающего давления в плитах могут быть предусмотрены отверстия; при такой конструкции плит необходимо применять обратный фильтр под всеми плитами.

Плиты с отверстиями следует применять лишь при обосновании их целесообразности.

2. Плиты, бетонируемые на стороне, небольших размеров (1,5×1,5; 2×2; 3×3 *м* и т. д., толщиной 15—30 *см*), соединенные обычно шарнирными связями. Типы шарнирных соединений даны на рис. III—9 приложения III. При этом типе железобетонных плит применяется сплошной обратный фильтр.

Размеры плит обычно назначаются в зависимости от мощности подъемного оборудования.

3. Плиты больших размеров (10×10; 15×15 *м* и т. д.), собранные из небольших плит, бетонируемые на стороне. По контуру большой собранной плиты предусматривается деформационный шов в виде шарнирных связей с заливкой шва асфальтобетоном (см. рис. III—9 приложения III). Отдельные сборные железобетонные плиты соединяются между собой замоноличиваемым швом (путем сварки рабочей арматуры и заполнения шва бетоном). Тип замоноличиваемого шва дан на рис. III—10 приложения III.

Примечание. В сборных железобетонных плитах могут быть предусмотрены также отверстия.

§ 30. Плиты, бетонируемые на стороне или на откосе, следует армировать двойной перекрестной арматурой.

§ 31. Наиболее перспективными железобетонными плитами следует считать плиты сравнительно небольших плановых размеров и толщин с шарнирными связями по контуру плит.

Примечание. О расчете защитных покрытий верховых откосов намывных плотин из железобетонных плит см. приложение III.

Пологие откосы с пригрузкой и без пригрузки

§ 32. Проектирование неукрепленных откосов плотин в настоящее время разработано недостаточно.

Применение неукрепленных пологих откосов «приплесков» может быть обосновано в результате технико-экономического сравнения вариантов устройства «приплеска» и защитных креплений откоса.

Уклоны неукрепленных откосов назначаются (на основании лабораторных исследований) для каждого конкретного случая особо.

По данным исследований ВНИИ ВОДГЕО, проектирование пологих откосов с пригрузкой может быть рекомендовано при волновом режиме $h<1{,}5$ *м*; если $h>1{,}5$ *м*, неукрепленный откос должен быть защищен подводной стенкой типа гасителя (подводный волнолом).

Подготовка креплений откосов

§ 33. Подготовка креплений откосов земляных плотин (фильтров) по своей работе аналогична подготовке фильтров типа 3 дренажей (рис. 18,*д*); подбор (проверку) крупности их материалов можно выполнить приближенно, исходя из следующих соображений:

1) контакт грунта откоса и первого слоя подготовки (считая от откоса плотины) должен быть устойчивым при градиенте вдоль контакта $J_{конт}$ фильтрационного потока, возникающем в подготовке при сгоне и нагоне волны расчетной высоты h (см. § 8—14 настоящего раздела);

2) материалы отдельных слоев подготовки должны выбираться с учетом невозможности проникания их фракций через соседние слои, включая и наброску (при выполнении защитного крепления из наброски) или через швы плит (при выполнении покрытия из плит).

§ 34. Градиент фильтрационного потока, возникающий вдоль контактов грунтов $J_{конт}$ (откоса и первого слоя подготовки; первого и второго слоев подготовки и т. д., включая наброску), приближенно может быть определен по формуле П. А. Шанкина[1]:

$$J_{конт} \approx 1{,}5\, h e^{-\sum_{1}^{m}\left(n \frac{h_{с.ф}}{D_{50}}\right)}, \qquad (27)$$

где h — высота волны в *м*, определяемая в соответствии с рекомендациями § 8—14 настоящего раздела;

e — основание натуральных логарифмов;

[1] П. А. Шанкин, Воздействие волн на гидротехнические сооружения, Речиздат. 1955.

$h_{с.ф}$ — толщина отдельных слоев подготовки;

m — число слоев (подготовки и каменной наброски);

D_{50} — средние диаметры фракций слоев подготовки (каменной наброски), берутся в тех же измерениях, что и $h_{с.ф}$;

n — опытный коэффициент, рекомендуемый П. А. Шанкиным; для однородных материалов $n=0{,}21$, для разнородных с коэффициентом неоднородности $\text{Н} = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 2$, в среднем $n = 0{,}3$.

Примечание. Вычисление по формуле (27) $J_{конт}$ выполняется после предварительного назначения толщины слоев подготовки и каменной наброски, а также характеристик их материалов. Например, для условий высоты волны $h = 2$ *м*, действующей на откос, сложенный из грунта, с характеристиками $d_{50} = 0{,}35$ *мм*, $d_{10} = 0{,}1$ *мм*, $\eta \approx 5$, $\text{tg}\varphi = 0{,}65$, выбрано крепление в виде наброски камнем со средним диаметром $D_{50}^{набр} = 38$ *см*; коэффициентом неоднородности $\text{Н}_{набр} \approx 4$; толщиной $h_{набр} = 76$ *см*.

Слой подготовки предположено выполнить из галечникового материала с характеристиками $D_{50}^{I} = 68$ *мм*; $D_{10}^{I} = 25$ *мм*; $D_{60}^{I} = 90$ *мм*; $\text{Н}^{I} = 3{,}6$; толщиной $h_{с.ф}^{I} = 120$ *см*. Определяют значение $\sum_{1}^{m}\left(n\frac{h_{с.ф}}{d_{50}}\right) = 0{,}3\left(\frac{76}{38} + \frac{120}{6{,}8}\right) = 5{,}9$; по таблицам $e^{-5{,}9} = 0{,}00274$, откуда по формуле (27) $J_{конт} = 1{,}5 \cdot 2 \cdot 0{,}00274 \approx 0{,}01$.

§ 35. Устойчивость (при продольной фильтрации) контакта грунтов, характеризующихся коэффициентом неоднородности $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$ и средним диаметром частиц $d_{50} = 0{,}15 \div 1$ *мм*, можно приближенно проверить в соответствии с рекомендациями ч. III, разд. 8, § 12, используя зависимость (рис. 27) и полагая, что

$$J_{конт} \ll J_{разр}^{к.р}, \qquad (28)$$

где $J_{конт}$ — находится из формулы (27); D_{10} и d_{10} берутся из кривых гранулометрического состава (по весу) смежных материалов, устойчивость контакта которых следует проверять;

$\text{tg}\varphi$ — коэффициент трения более мелкозернистого грунта из двух смежных (его определение см. ч. III, разд. 5).

Примечание. Проверка устойчивости контакта грунта откоса и слоя подготовки для примера, приведенного в примечании к § 34 настоящего раздела, дает значение

$$\frac{D_{10}}{d_{10}\text{tg}\varphi} = \frac{25}{0{,}1 \cdot 0{,}65} = 385.$$

Экстраполируя по графику рис. 27, имеем разрушающий градиент при контактном размыве порядка $J_{разр}^{к.р} = 0{,}02$, т. е. выражение (28) удовлетворяется $J_{конт} = 0{,}01 < J_{разр}^{к.р} = 0{,}02$.

§ 36. Устойчивость (при продольной фильтрации) грунтов откоса и подготовки, имеющих характеристики, указанные в § 35 настоящего раздела, при невозможности использования формулы (27) для определения градиента фильтрационного потока (например, при покрытии откоса плитами), допускается приближенно проверять по рис. 26.

§ 37. Проверка отсутствия проникания более мелкозернисто го материала подготовки под действием потока (возникающего нормально к слоям подготовки при откате волны с откоса) через смежный более крупнозернистый материал может быть выполнена приближенно для материалов со средним диаметром частиц $D_{50} \geqslant 1$ *мм* и коэффициентом неоднородности $H < 10$ по графикам рис. 19—22 в зависимости от характера материала подготовки и отношения толщины более крупнозернистого материала из двух рассматриваемых (смежных) материалов и его среднего диаметра частиц $\frac{h_{с.ф}}{D_{50}}$ (см. ч. III, разд. 8, § 8).

Примечание. Для примера, приведенного в примечании к § 34, проверку отсутствия проникания материала слоя подготовки через поры наброски при соотношении $\frac{h_{набр}}{D_{50набр}} \geqslant 2$ следует выполнять по графику рис. 21, приравнивая в нем $H = H_{набр}$.

Найдя отношение

$$\xi = \frac{D_{50\ набр}}{D_{50}^{l}} = \frac{38}{6{,}8} = 5{,}6$$

[см. п. 6,а примечания к § 8, ч. III, разд. 8 и формулу (13′)] и накладывая точку, имеющую $\xi = 5{,}6$ и $H = 4$ на графике рис. 21, находим, что она лежит в области допустимых характеристик материалов, и, следовательно, выполнить подготовку возможно.

§ 38. Средний диаметр фракций подготовки, укладываемой непосредственно под покрытие откоса в виде плиты, по рекомендации П. А. Шанкина, следует назначать, исходя из ширины конструктивного шва $t_ш$ между плитами покрытия, по формуле

$$D_{50} \geqslant \beta t_ш, \qquad (29)$$

где β — коэффициент, равный 1,5—2;

$t_ш$ и D_{50} — берутся в одних и тех же измерениях (например, в *мм*).

§ 39. Толщина слоев подготовок под одежду выбирается из условий производства работ в пределах $h_{с.ф} \geqslant 2D_{50}$, но не менее 10 *см*.

Раздел 10

РАСЧЕТЫ ПЛОТИН НА ФИЛЬТРАЦИЮ

§ 1. Расчеты земляной плотины на фильтрацию являются поверочными и должны выполняться для всех наиболее неблагоприятных случаев работы сооружения как во время его эксплуатации, так и в период строительства.

Примечания. 1. За наиболее неблагоприятные эксплуатационные расчетные случаи можно принимать случаи при следующих горизонтах воды:

а) в верхнем бьефе — нормальный подпорный горизонт (НПГ), в нижнем бьефе — низший горизонт (НГНБ);

б) в верхнем бьефе — нормальный подпорный горизонт (НПГ), в нижнем бьефе — высокий горизонт (ВГНБ);

в) в верхнем бьефе — максимальный подпорный горизонт (МПГ), в нижнем бьефе — высокий горизонт (ВГНБ)*.

2. За расчетные строительные случаи можно принимать случаи для различных периодов строительства плотины как при максимальной, так и при средней интенсивности намыва.

§ 2. Расчеты на фильтрацию производятся для определения:

1) положения депрессионной кривой в теле плотины и места ее выхода в дренаж или на низовой откос;

2) фильтрационных расходов через тело плотины и ее основание;

3) градиентов или напоров фильтрационного потока в основании, в местах, находящихся за подошвой низового откоса плотины и не защищенных фильтром дренажа или пригрузкой, а также в местах контактирования грунтов с различными характеристиками

Примечания. 1. Определение депрессионной кривой обязательно для всех случаев, так как оно необходимо для расчетов устойчивости низовых откосов, кроме того, и выбор положения отдельных конструкций в плотине (дренажных устройств, покрытий низового откоса) зависит от положения депрессии.

2. Фильтрационные расходы обычно определяются лишь для случаев:

а) когда плотина имеет внутренний дренаж в виде трубы, тюфяка или ленты, а величину фильтрационного расхода необходимо знать для расчета пропускной способности дренажа;

б) когда потери из водохранилища могут составить значительную часть от полезных попусков (например, в песчаных плотинах на песчаных и гравелистых основаниях без противофильтрационных устройств).

3. Градиенты фильтрационного потока (или напоры) в зоне выхода потока из основания в местах, не защищенных фильтром дренажа или пригрузкой за подошвой низового откоса плотины, а также в местах контактирования грунтов с различными характеристиками определяются для выяснения необходимости принятия мер против возникновения в песчаных и песчано-гравелистых грунтах основания опасных фильтрационных деформаций (выпора или суффозии, контактного выпора, контактного размыва; см. разд. 11).

§ 3. Теоретические расчеты плотин на фильтрацию (главным образом положение депрессионной кривой в теле плотины и фильтрационные расходы) даются преимущественно для схем плотины на непроницаемом основании и в большинстве случаев при отсутствии воды в нижнем бьефе.

Для плотины с водой в нижнем бьефе часто расчеты фильтрации выполняют, считая отдельно фильтрацию в «верхней» части плотины (выше горизонта воды нижнего бьефа) и отдельно для «нижней» части плотины (ниже горизонта воды нижнего бьефа).

Фильтрационные расчеты плотин на проницаемом основании (депрессионная кривая, расходы) практически приходится вести

---

* Кроме того, неблагоприятным расчетным случаем может быть и случай зимнего периода эксплуатации плотины.

отдельно для тела плотины и для ее основания[1] и лишь в некоторых случаях имеются решения для плотин на проницаемом основании.

Для случаев основания плотины, сложенного грунтами различной проницаемости[2], расчеты на фильтрацию ведут также приближенно, схематизируя и грунты тела плотины, и грунты основания. При относительно большой разнице в коэффициентах фильтрации грунтов двуслойного основания, порядка $\frac{k_{01}}{k_{02}} > 50—100$ (рис. 40) в расчетах принимается $k_{02}=0$.

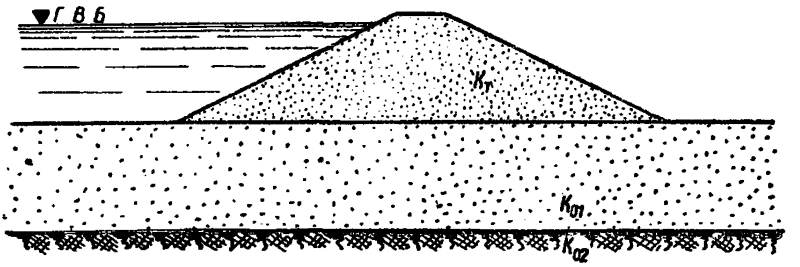


Рис. 40. Схема к расчету намывных плотин на фильтрацию

При проектировании плотин, имеющих схемы, отличные от рассмотренных в приложении IV, следует учесть возможные отклонения как в положении депрессионной кривой в теле плотины, так и в величинах расходов.

Примечание. Оценку влияния отдельных факторов можно производить приближенно, исходя из следующих соображений:

1) наиболее высокое положение депрессионная кривая в теле плотины занимает при непроницаемом основании (коэффициент фильтрации $k_0=0$); ее положение для плотины с вертикальным верховым откосом *бд* и расстоянием от пересечения горизонта воды с верховым откосом (уреза) до выхода депрессионной кривой в дренаж $x=3H$ (где H — напор) показано на рис. 41 кривой 1[3].

2) наиболее низкое положение депрессионная кривая в теле плотины занимает при основании большой мощности и значительно более проницаемом, чем тело плотины ($k_0 \gg k_т$), оно показано на рис. 41 кривой *4* (вычислено по пьезометрическим напорам при $k_т=0$);

3) кривой *4* показано также положение депрессии для плотины на проницаемом основании с $k_0=k_т$ и откосом *вба* (по решению Ф. Б. Нельсон-Скорнякова)[4]. Эта же кривая *4* показывает положение депрессии по решению С. Н. Ну-

---

[1] Е. А. Замарин, В. В. Фандеев, Гидротехнические сооружения, Сельхозгиз, 1954; *Инструкция по проектированию, возведению и эксплуатации* насыпных земляных плотин ВНИИ ВОДГЕО, 1944.

[2] Грунты могут быть как изотропными, так и анизотропными; в дальнейшем тексте ТУиН при упоминании о грунте он подразумевается изотропным, если же рассматривается грунт анизотропный, то об этом упоминается особо.

[3] Положение депрессионной кривой вычислено по решению С. Н. Нумерова, см. схему рис. IV—5 и формулу (IV—23) приложения IV.

[4] Ф. Б. Нельсон-Скорняков, Фильтрация в однородной среде, Гос. изд-во «Советская наука», 1949.

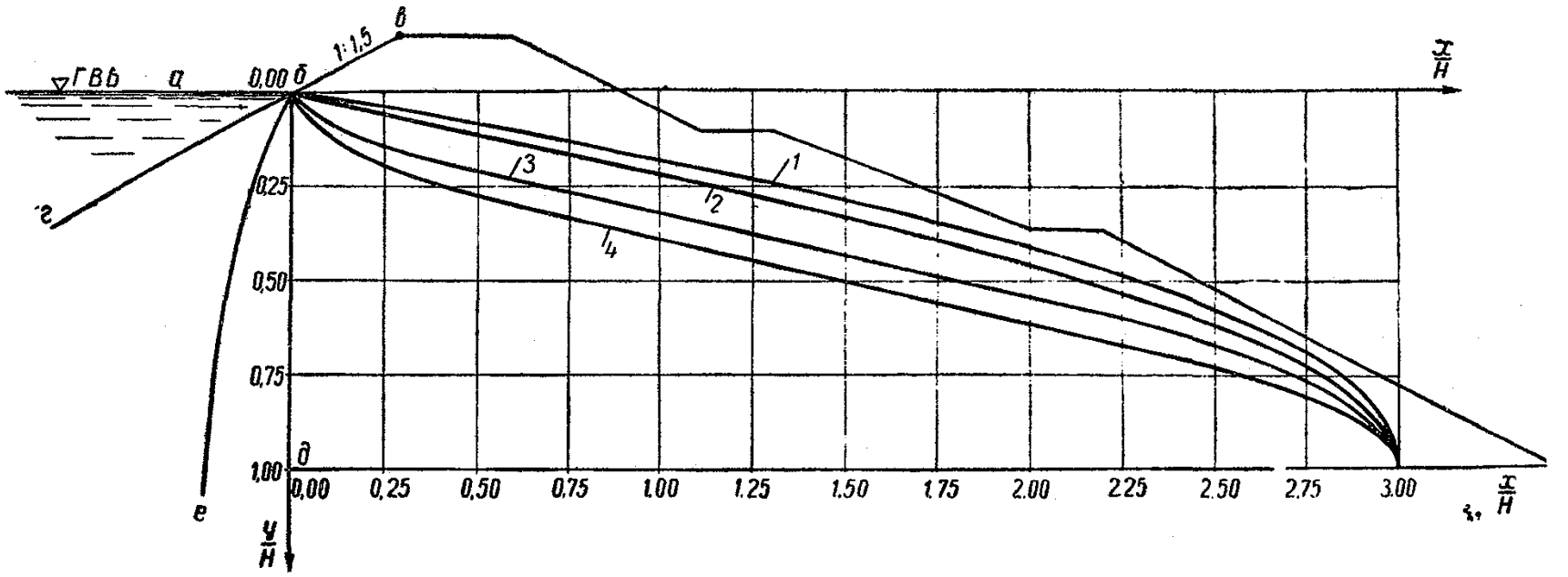


Рис. 41. График к сравнению высотного положения депрессионной кривой в теле плотины

1 — верховой откос *дб*, $k_0 = 0$; *2* — верховой откос *ебв*, $k_0 = k_т$, $T = \infty$; *3* — верховой откос *гбв*, $k_0 = k_т$, $T = \infty$; *4* — верховой откос *абв*, $k_0 = k_т$, $T = \infty$ и верховой откос *бд*, $\frac{k_т}{k_0} \leqslant 0{,}1$, $\frac{T}{H} \geqslant 0{,}25$

мерова[1] для плотины с откосом *бд* и отношениями $\frac{k_т}{k_0} \leqslant 0{,}1$; $\frac{T}{H} \geqslant 0{,}25$ (где T — мощность проницаемого основания);

4) положение кривой *2* в теле плотины на основании бесконечной глубины с одинаковой проницаемостью грунтов и основания $k_т = k_0$ показано для плотины с откосом *вбе* (почти вертикальным по решению Ф. Б. Нельсон-Скорнякова).

Сравнение кривых *1* и *2* показывает повышение кривой депрессии в теле плотины при $k_0 = 0$ на величину около 30% для координаты $\frac{x}{H} = 2{,}95$; при этом длина рабочей части дренажа плотины на непроницаемом основании $l_{др} = 0{,}085H$, в то время, как для плотины на проницаемом основании с $k_0 = k_т$ (кривая *2*) длина рабочей части дренажа $l_{др} = 0{,}070\ H$.

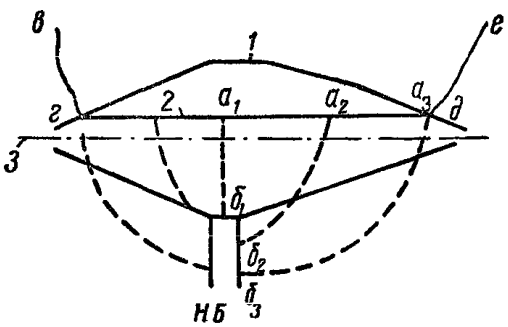


Рис. 42. Общая схема движения фильтрационного потока в плане сооружения:

$a_1б_1$, $a_2б$, $a_3б_3$ — линии токов; *вгде* — верхний бьеф при построении сетки движения (линий токов); *1* — земляная плотина в плане; *2* — границы затопления; *3* — ось плотины

§ 4. Движение фильтрационного потока через водопроницаемое основание и тело плотины в общем имеет пространственный характер (из-за большой разницы площадей водной поверхности в плане в верхнем и нижнем бьефах сооружения и из-за наличия фильтрационного потока в берегах плотины вследствие уменьшения высоты плотины от русла к берегам).

Учет пространственности фильтрационного потока можно производить:

для плотин классов I и II на стадии технического проекта путем моделирования методом ЭГДА на пространственной модели;

для плотин классов I и II на стадии проектного задания и для плотин класса III на стадиях технического проекта и проектного задания — приближенно, в соответствии с рекомендациями § 5 настоящего раздела.

§ 5. Общая картина фильтрационного потока в плане сооружения (вернее, линии тока $a_1б_1$, $a_2б_2$ и т. д. на рис. 42), по предложению А. А. Ничипоровича и В. С. Истоминой[2], может быть найдена приближенно путем построения плановой сетки движения графически (или на приборах) в предположении, что в основании сооружения имеются горизонтальный водоупор и грунты одинаковой проницаемости.

Примечание. При фильтрационных расчетах в условиях плоской задачи (вдоль полученных линий токов) необходимо построение профилей плотины по линиям токов $a_1б_1$; $a_2б_2$ и т. д. (рис. 42).

---

[1] В. И. Аравин и С. Н. Нумеров. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, Стройиздат, 1948.

[2] А. А. Ничипорович и В. С. Истомина, Указания по проектированию дренажных устройств в земляных плотинах, ВНИИ ВОДГЕО, 1953.

§ 6. Расчеты на фильтрацию для плоской задачи как по сеткам движения потока, полученным на приборах (ЭГДА и др.) (см. § 7), так и по формулам приложения IV, ведутся для отдельных, наиболее характерных, поперечных сечений (отсеков вдоль оси) плотины или основания шириной 1 *м*, выбираемых вдоль линий токов.

Примечание. Характерность поперечных сечений плотины может определяться положением по длине плотины, высотой, рельефом местности, очертанием врезки подошвы плотины в основание, а также и геологическим сложением основания (например, наличием включений и линз в основной грунт или наличием разных грунтов основания).

§ 7. Расчеты на фильтрацию (депрессионная кривая, фильтрационные расходы, градиенты и напоры в области фильтрации, плоская задача) плотин классов I и II при составлении технического проекта (иногда и при составлении проектного задания для случаев, отличных от схем, приведенных в приложении IV), особенно при сложных геологических условиях основания, можно выполнять, пользуясь сеткой движения, полученной экспериментально на приборе ЭГДА, в щелевом лотке или на других приборах.

§ 8. Расчеты на фильтрацию (плоская задача) плотин классов I и II при составлении проектного задания, а также плотин класса III при составлении технического проекта и проектного задания при различных фильтрационных схемах могут быть выполнены по приводимым в приложении IV формулам и графикам (с учетом оценки влияния отдельных факторов на картину фильтрации, указанной в § 3 настоящего раздела).

§ 9. Общий фильтрационный расход через тело и основание плотины по ее длине, если определение расхода необходимо для случаев, указанных в п. 2 примечания к § 2 настоящего раздела, может быть вычислен приближенно по формуле

$$Q = q_1 l_1 + q_2 l_2 + \cdots + q_n l_n,$$

где q_1, q_2,...q_n — расходы через тело и основание плотины на 1 *м* длины в среднем сечении отдельных участков длиной l_1, l_2,...l_n.

§ 10. Расчеты на фильтрацию плотин из анизотропного грунта возможно выполнить приближенно, приводя анизотропный грунт к грунту изотропному путем «искажения» профиля плотины. Приведение действительного профиля плотины к расчетному, искаженному, при значениях коэффициентов фильтрации грунта тела плотины в горизонтальном направлении $k_г = k_{макс}$, в вертикальном направлении $k_в = k_{мин}$ выполняется путем уменьшения всех горизонтальных участков плотины в $a = \sqrt{\frac{k_{макс}}{k_{мин}}}$ раз.

Расчеты на фильтрацию для искаженного профиля выполняются в соответствии с формулами приложения IV или в соответствии с данными опытов.

Действительная депрессионная кривая находится путем перевода ее координат из искаженного профиля в действительный профиль умножением горизонтальных размеров в $a = \sqrt{\frac{k_{макс}}{k_{мин}}}$ раз. (Пример такого построения искаженного профиля при $k_г = 9k_в$ и положение депрессионных кривых в теле плотины приведены на рис. 43).

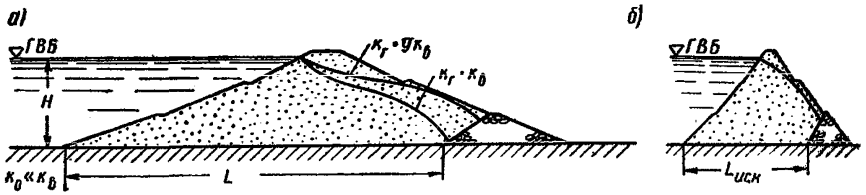


Рис. 43. Схема к расчету на фильтрацию плотин из анизотропного грунта

а — действительный профиль плотины; *б* — искаженный профиль плотины; $L_{иск} = \frac{L}{a}$;

$$a = \sqrt{\frac{k_г}{k_в}}$$

Фильтрационные расходы для действительного профиля плотины вычисляют для различных схем по соответствующим им формулам, принимая в них коэффициент фильтрации равным среднему коэффициенту фильтрации

$$k_{ср} = \sqrt{k_{макс}\, k_{мин}}. \qquad (30)$$

§ 11. Расчеты положения депрессионной кривой в теле плотины при понижении горизонта воды в верхнем бьефе возможно производить по зависимостям, предложенным В. М. Шестаковым (см. приложение IV).

§ 12. Расчеты фильтрации в теле плотины при ее намыве могут производиться по зависимостям, предложенным В. П. Недрига (см. приложение IV).

Раздел III

ФИЛЬТРАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВ ТЕЛА И ОСНОВАНИЯ ПЛОТИН

§ 1. Проверка устойчивости грунтов под действием на них фильтрационного потока при проектировании намывных плотин выполняется:

а) для поверхности песчаных и песчано-гравелистых грунтов основания, находящихся в восходящем фильтрационном потоке и не защищенных фильтром дренажа или пригрузкой [в местах за подошвой низового откоса, например по линии *агдб* (рис. 44)];

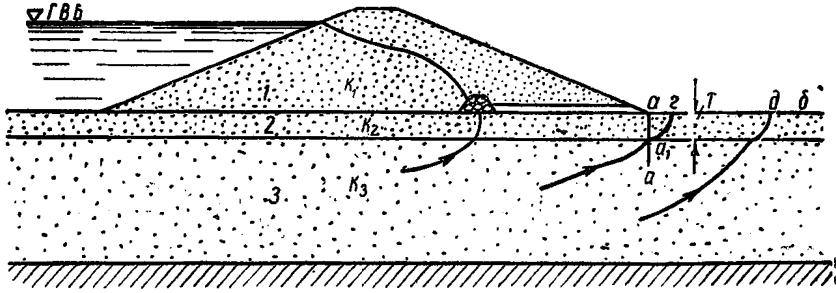


Рис. 44. Схема к расчету фильтрационной устойчивости грунтов при проектировании намывных плотин ($k_2 < k_3$)

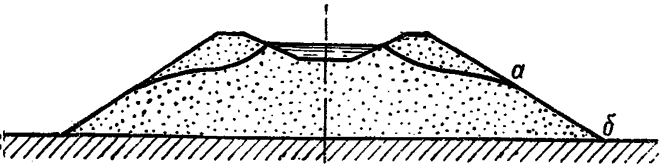


Рис. 46. Схема к расчету фильтрационной устойчивости грунтов в случае выхода депрессионной кривой на откос

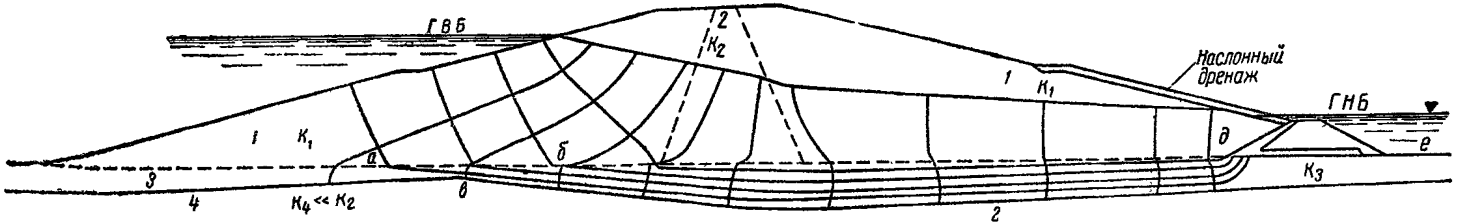


Рис. 45. Схема к расчету фильтрационной устойчивости грунтов при использовании сетки движения потока, построенной для условий

1 — гравелистый песок с коэффициентом k_1; *2* — мелкозернистый песок с $k_2 = \frac{k_1}{3}$; *3* — галечниковый грунт с $k_3 = 50k_1$; *4* — пылеватый песок с $k_4 \ll k_1$

б) для отдельных контактов слоев грунтов основания и тела плотины с различными характеристиками (например, на контактах *аб, вг, де* для схемы плотины, изображенной на рис. 45);

в) для поверхности песчаных грунтов низового откоса плотины в случае выхода депрессионной кривой на откос, не защищенный наклонным дренажем или пригрузкой (например, для откоса *аб* в период постройки плотины, схема которой приведена на рис. 46).

§ 2. При проектировании плотин класса I и II на стадии технического проекта проверки фильтрационной устойчивости грунтов, указанные в § 1, рекомендуется выполнять экспериментально.

§ 3. При проектировании плотин класса I и II на стадии проектного задания и плотин класса III на стадиях технического проекта и проектного задания фильтрационную устойчивость грунтов допускается проверять по графикам, а также по формулам, приведенным в § 6—9 настоящего раздела.

§ 4. Разрушение грунтов, не имеющих пригрузки на поверхности, под действием восходящего фильтрационного потока может происходить в зависимости от их характеристик или в виде выпора (главным образом местного, для песчаных грунтов в виде «ключа» — грифона), или в виде выноса отдельных частиц из толщи грунта (суффозия) при градиенте потока $J^{с}_{разр}$ меньшем, чем градиент выпора $J^{в}_{разр}$, т. е. при $J^{с}_{разр} < J^{в}_{разр}$.

Примечания. 1. Основным видом фильтрационных деформаций песчаных грунтов с коэффициентом неоднородности $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 10$, а также и грунтов глинистых является выпор.

2. Грунты, имеющие основным видом фильтрационных деформаций суффозию, характеризуются в первом приближении коэффициентом неоднородности $\eta > 10$—20; наличием «заполнителя» (фракций грунта с $d < 1$ *мм*) в виде песчаных грунтов, а не супеси и суглинка; коэффициентом фильтрации грунта $k_{гр}$, значительно бо́льшим по величине, чем коэффициент фильтрации «заполнителя» $k_{зап}$, т. е.

$$k_{гр} \gg k_{зап}$$

3. В песчаных грунтах даже с $\eta > 10$, но имеющих максимальную влагоемкость $W_{м} \geqslant 10\%$, суффозии ожидать не следует.

4. Нельзя ожидать суффозионных явлений в песчаных грунтах с $\eta < 10$ и $W_{м} << 10\%$ при наличии в грунте суммы фракций с $d_{в}$ менее 2—3% по весу; здесь $d_{в}$ — наиболее крупная выносимая фракция грунта, определяемая из формулы

$$d_{в} = \frac{d^{0}_{ср}}{2} \approx 0{,}15 \sqrt{\frac{k_{ср}}{n}}\ мм, \qquad (31)$$

где $k_{ср}$ — среднее значение коэффициента фильтрации грунта в *см/сек*,

n — пористость грунта в долях единицы;

$d^{0}_{ср}$ — средний диаметр пор грунта.

§ 5. Разрушение контакта двух грунтов под действием фильтрационного потока может произойти, в зависимости от их характеристик, в виде (рис. 45):

а) вмывания более мелкозернистого грунта в грунт более крупнозернистый (контакт *аб*);

б) контактного размыва (контакт *вг*);

в) контактного выпора (контакт *де*).

§ 6. Величины разрушающего градиента выпора в восходящем потоке песчаного грунта, характеризующегося коэффициентом неоднородности $\eta < 10$, имеющего одинаковую пористость n во всем объеме и не имеющего пригрузки на поверхности, могут быть приближенно определены по формуле Е. А. Замарина:

$$J^{в}_{разр} = (\gamma - \Delta)(1 - n) + 0{,}5n, \qquad (32)$$

где γ — удельный вес частиц грунта;

Δ — объемный вес воды.

Учитывая возможность неодинаковой пористости песчаного грунта в отдельных местах массива и наличия включений, имеющих другой гранулометрический состав по сравнению с составом основного грунта, допустимый градиент выпора можно определять из выражения

$$J^{в}_{доп} = J^{в}_{разр} : K^{в}; \qquad (33)$$

$K^{в}$ — коэффициент запаса на выпор, можно принимать $K^{в} = 2$.

§ 7. Величину разрушающего градиента в начальный период суффозии в песчано-гравелистых грунтах с коэффициентом неоднородности $\eta > 10$—20 (см. примечание к § 4) с учетом возможности неравномерного распределения всех фракций в массиве грунта, по данным В. С. Истоминой (ВНИИ ВОДГЕО), приближенно можно определять по формуле

$$J^{с}_{разр} \approx J_1 + J_2. \qquad (34)$$

Величина J_1 может быть найдена из формулы

$$J_1 \approx \frac{n_{гр}}{n_{зап}} \cdot \frac{k_{зап}}{k_{гр}}, \qquad (35)$$

где $k_{гр}$, $n_{гр}$ — коэффициент фильтрации и пористость рассматриваемого грунта;

$k_{зап}$, $n_{зап}$ — соответственно коэффициент фильтрации и среднее значение пористости мелкозернистой части грунта с $d < 1$ *мм* — заполнителя[1].

Величина J_2 берется по графику (рис. 47), если известны: действующий диаметр «скелета» грунта $d_{10ск}$; действующий диаметр заполнителя $d_{10зап}$ и коэффициент трения заполнителя $\operatorname{tg}\varphi_{зап}$, который можно найти в зависимости от номенклатурного вида заполнителя и среднего значения пористости $n_{зап}$ (пересчитав ее на $\gamma_{ск}$), пользуясь графиком рис. 9. При этом среднее значение объемного веса может быть определено по формуле $\gamma_{ск} = \gamma(1-n)$ или по графику рис. 4.

[1] «Заполнителем» названа мелкозернистая часть грунта с частицами $d \leqslant 1$ *мм*; «скелетом» — соответственно крупнозернистая часть грунта с $d > 1$ *мм* (пример разделения грунта с $\eta = 25$ на составные части показан на рис. 25 см. ч. III, разд. 8).

Допустимые градиенты суффозии (начального периода), учитывая природные свойства грунтов с $\eta > 10$—20 (наличие местных явлений суффозии), можно приближенно считать равными

$$J^{с}_{доп} \approx J^{с}_{разр}, \tag{36}$$

принимая коэффициент запаса на суффозию

$$K^{с} = 1. \tag{37}$$

Примечания. 1. Использование формул (34)—(36) для расчета на суффозию возможно лишь для грунтов с $\eta > 10$—20, в которых заполнитель представляет собой песок, а не супесь и не суглинок.

2. Если в формуле (35) неизвестно среднее значение пористости заполнителя $n_{зап}$, то приближенно эту величину можно найти из графика зависимости пористости песчаных грунтов от коэффициента неоднородности $n=f(\eta)$ (рис. 48), приравнивая

$$n_{зап} = n \text{ и } \eta_{зап} = \eta.$$

§ 8. Значение разрушающего градиента выпора $J^{в}_{разр}$ глинистых грунтов (при однородном глинистом основании), а также и в слое глинистого грунта, прикрывающего песчаный или песча-

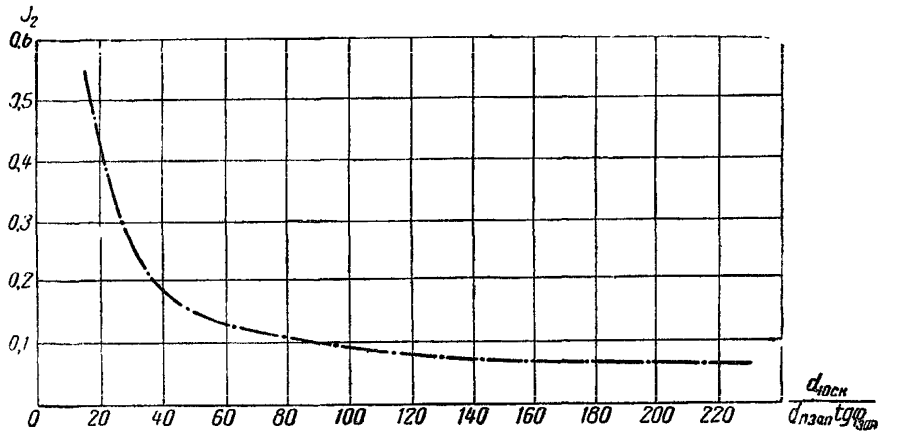


Рис. 47. График зависимости $J_2 = f\left(\frac{d_{10сн}}{d_{10зап}\,\mathrm{tg}\,\varphi_{зап}}\right)$

но-гравелистый грунт в основании плотины, приближенно можно принимать без учета сцепления глинистого грунта, равным значению $J^{в}_{разр}$, найденному по формуле (32).

§ 9. Отсутствие фильтрационных деформаций грунта основания (одного и того же гранулометрического состава во всей толще) на выходе фильтрационного потока за подошвой низового откоса плотины может быть обеспечено при следующих условиях:

для песчаных и гравелистых грунтов, в которых основным видом деформаций является выпор:

$$J_{вых} < J^{в}_{доп}; \tag{38}$$

для песчано-гравелистых грунтов, в которых основным видом является суффозия при $J^{с}_{доп} < J^{в}_{доп}$

$$J_{вых} < J^{с}_{доп}; \tag{39}$$

для глинистых грунтов

$$J_{вых} < J^{в}_{разр}. \tag{40}$$

При этом числовое значение $J_{вых}$ следует определять или по сетке движения для случаев, указанных в ч. III, разд. 10, § 7, или по формулам (IV—34) и (IV—35) приложения IV, А, п. 8.

§ 10. Приближенную проверку устойчивости отдельных грунтов тела и основания плотины можно выполнять на контактах:

1) горизонтальном при фильтрации сверху вниз (например, на контакте *аб*, рис. 45);

2) горизонтальном при фильтрации вдоль контакта (например, на контакте *вг*; рис. 45);

3) горизонтальном или близком к горизонтальному при фильтрации снизу вверх (например, при наличии фильтрационного потока на контакте *де*; рис. 45).

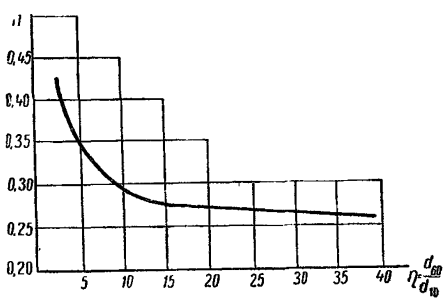


Рис. 48. График зависимости $n = f(\eta)$

Проверку на контакте *аб*, если известны гранулометрические составы и характеристики грунтов *1* и *3*, можно выполнять, используя соответственно рекомендуемые приемы и графики для проверки и подбора фильтров (см. ч. III, разд. 8 и рис. 19—22).

Проверку на контакте *вг*, если известны градиенты вдоль контакта двух слоев или известна сетка движения потока, а также известны и характеристики грунтов *3* и *4*, можно выполнять, используя рекомендации и графики для подбора фильтров: если грунт 4 песчаный, то соответственно ч. III, разд. 8, § 12 и график рис. 27; если грунт *4* глинистый, то соответственно ч. III, разд. 8, § 14 и график рис. 28.

Проверку на контакте *де*, если известны градиенты потока при выходе из грунта *3* в первый слой фильтра дренажа и характеристики этих грунтов, можно выполнять, используя график рис. 24 для проверки подбора фильтра в соответствии с рекомендациями § 9, ч. III, разд. 8.

§ 11. Необходимость устройства пригружающего слоя грунта (пригрузки) по дну нижнего бьефа плотины (по линии *агдб* на рис. 44) для случая, когда поверхностный слой грунта в основании менее проницаем, чем подстилающий его грунт, например грунты *2* и *3* с коэффициентами фильтрации $k_2 < k_3$, или необ-

ходимость устройства разгрузочных скважин (в грунте 2) выражаются приближенно условием

$$J_{a_1} > (\gamma - \Delta)(1 - n) + 0{,}5\,n, \qquad (41)$$

где J_{a_1} — градиент фильтрационного потока в подстилающем грунте на вертикали, проходящей через подошву низового откоса плотины (на вертикали aa в точке a_1 на рис. 44).

Толщина пригружающего слоя t может быть приближенно определена для песчаных грунтов с $\eta < 10$ и глинистых грунтов по формуле

$$t > J_{a_1} T \frac{(\gamma - \Delta)(1 - n) + 0{,}5n}{\gamma_{пр}}, \qquad (42)$$

где T — толщина поверхностного слоя;

$\gamma_{пр}$ — объемный вес грунта пригрузки.

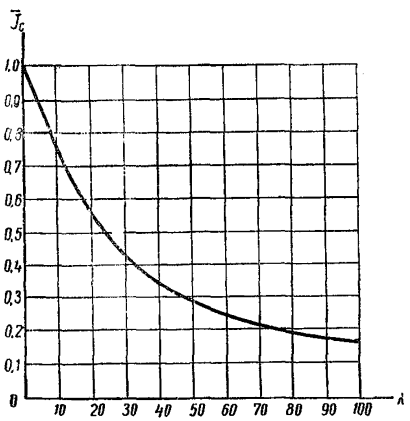


Рис. 49. График зависимости $J_c = f(\lambda)$

Значение J_{a_1} в формулах (41) и (42) может быть найдено по сетке движения фильтрационного потока (см. ч. III, разд. 10).

§ 12. Приближенный расчет на оплывание откоса песчаной плотины с учетом выхода депрессионной кривой на откос и стекания воды по откосу[1] может быть выполнен в соответствии с предложением В. М. Шестакова (ВНИИ ВОДГЕО) по формуле

$$\operatorname{tg}\alpha \leqslant \frac{\operatorname{tg}\varphi}{2}\bar{J}_c, \qquad (43)$$

где α — угол наклона откоса к горизонту;

φ — угол внутреннего трения грунта, слагающего откос;

$\bar{J}_c$ — функция фильтрационного расхода и характеристик грунта, $\bar{J}_c = f(\lambda)$ (изображена на рис. 49).

Для фильтрационных расходов порядка $q = 0{,}5$—1 *см²/сек* на 1 *см* откоса плотины и для грунтов, характеризующихся средним диаметром частиц d_{50} в пределах $d_{50} = 0{,}18 \div 1{,}2$ *мм* и коэффициентом неоднородности $\eta \approx 2 \div 4$;

$$\lambda = \frac{\sqrt[3]{q}}{d_{50}}, \qquad (44)$$

здесь q — фильтрационный расход, вычисляется по формулам приложения IV, Б и берется в *см²/сек* на 1 *см* откоса;

[1] Приведенный расчет на оплывание выполняют лишь в пределах выхода депрессионной кривой на откос.

d_{50} — берется по кривой гранулометрического состава (весового) в *см*.

Если не учитывать стекание воды по откосу, в формуле (43) $\overline{J}_c = 1$, и тогда оплывание откоса может быть проверено по формуле[1]

$$\operatorname{tg}\alpha \leqslant \frac{\operatorname{tg}\varphi}{2}. \qquad (45)$$

Раздел 12

РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПЛОТИН

§ 1. Расчеты откосов намывной земляной плотины на устойчивость заключаются в определении коэффициента запаса на устойчивость и производятся для всех наиболее неблагоприятных случаев работы сооружения, в нормальных и чрезвычайных условиях, как в период постройки, так и в период эксплуатации.

§ 2. Расчеты устойчивости ведутся для откоса протяженностью в 1 *м* (плоская задача).

§ 3. При расчете устойчивости откосов могут быть приняты следующие расчетные схемы:

первая — поверхность обрушения откоса принимается круглоцилиндрической;

вторая — поверхность обрушения откоса принимается плоской.

Примечание. В некоторых случаях, а именно: в случае более слабого чем грунт откоса, глинистого основания или при наличии в основании тонкого прослойка грунта с пониженной сопротивляемостью сдвигу наряду с первой расчетной схемой может быть использована расчетная схема, основанная на обрушении откоса по ломаной поверхности.

§ 4. Первую расчетную схему следует применять при расчете устойчивости откосов, находящихся под действием самых различных сил (собственного веса, гидродинамических сил, сейсмических воздействий и пр.).

Вторую расчетную схему применяют в случае возведения ядерных плотин в предположении отсутствия уплотнения ядра (для разжиженного ядра по методу М. М. Гришина и Б. Н. Федорова)[1] при прочном основании, т. е. при $\varphi_{осн} > \varphi_{отк}$.

Примечание. Метод с учетом разжиженного ядра следует применять только для плотин высотой не более 25—30 *м* и для грунтов ядра, обладающих длительным периодом консолидации и характеризуемых, согласно исследованиям В. А. Флорина[2], коэффициентом фильтрации $k_ф < 10^{-4}$ *см/сек* (суглинистые и глинистые грунты). Для более высоких плотин разжижение следует учитывать на основе специально поставленных исследований.

При грунтах ядра, имеющих коэффициент фильтрации $k_ф > 10^{-4}$ *см/сек* (~ 10 *см/сутки*) — гравелисто-песчаных, песчаных, крупносупесчаных, — при расчетах учитывать разжижение ядра для плотин любой высоты не следует.

---

[1] М. М. Гришин, Гидротехнические сооружения, ч. 1, Госстройиздат, 1954.

[2] В. А. Флорин, Теория уплотнения земляных масс, Стройиздат, 1948.

§ 5. При проектировании откосов плотины следует стремиться к созданию равнопрочных по высоте откосов с одним и тем же коэффициентом запаса K.

Примечание. В случае наличия на откосе участка с менее благоприятными условиями работы, устойчивость этого участка обеспечивается соответствующими конструктивными мероприятиями (приложение V, п. 3).

Таблица 10

Класс плотины	Коэффициент запаса $K_н$ в нормальных эксплуатационных условиях
I	1,3
II	1,2
III	1,15

§ 6. Величина расчетного (предельно минимального) коэффициента запаса на устойчивость откосов в нормальных эксплуатационных условиях $K_{расч} = K_н$ принимается в расчетах в соответствии с данными, приведенными в табл. 10.

Величина расчетного коэффициента в чрезвычайных эксплуатационных и строительных условиях $K_{расч} = K_ч$ берется для расчетов уменьшенной по сравнению с величиной $K_н$ на ~15%, т. е.

$$K_ч = \frac{K_н}{1,15}. \quad (46)$$

Примечание. О расчетах устойчивости откосов намывных плотин см. приложение V.

Раздел 13

РАСЧЕТ ПЛОТИН НА ОСАДКУ

§ 1. Расчеты осадок следует производить для плотин класса I и II на стадии технического проекта.

Осадка намывной плотины складывается из осадки тела и основания плотины.

Для однородных земляных плотин расчет осадки тела плотины можно не производить, а принимать ее величину ориентировочно равной от 0,1 до 0,5% от высоты плотины, в зависимости от плотности укладываемого грунта.

Для ядерных плотин расчет осадки и времени консолидации грунта в ядре следует производить, используя указания приложения VI.

§ 2. Величину осадки, происходящей за счет уплотнения основания плотины, рекомендуется определять лишь для средних и высоких плотин (высотой не менее 10 *м*), возводимых на нескальных основаниях из связных грунтов. При грунтах, в основании малоплотных (ил, отложения стариц, иловатые суглинки), необходимо также определять ход протекания осадки основания во времени.

§ 3. Расчет конечных осадок производится с целью:

а) определения запаса по высоте плотины, необходимого для сохранения проектной отметки гребня после стабилизации осадки и для исчисления объема земляных работ по плотине;

б) определения возможной неравномерности осадки плотины по длине и в отдельных случаях по поперечным сечениям.

Расчет осадки основания во времени производится с целью установления степени консолидации основания и получения данных для расчетов откосов плотины на устойчивость по кривым оползания, проходящим через основание.

§ 4. Основные характеристики грунтов, необходимые для расчетов устойчивости основания плотины при незавершенной консолидации (коэффициент порового давления α', коэффициент трения $\operatorname{tg}\varphi$ и сцепление c), зависят от изменяющейся в процессе осадки плотности грунтов, характеризуемой величиной объемного веса скелета $\gamma_{ск}$.

Зная осадку основания к определенному моменту времени, можно, используя приводимую в приложении VI формулу (VI—4) для расчета полной осадки, определить осредненный коэффициент пористости, а следовательно, и $\gamma_{ск}$ к рассматриваемому моменту времени.

§ 5. Расчету осадок предшествуют расчеты по схематизации обжимаемой толщи основания со статистической обработкой результатов компрессионных испытаний грунтов, по определению схемы нагрузок на основание и по определению эпюр напряжений в основании.

Примечание. О расчете намывных плотин на осадку см. приложение VI.

ЧАСТЬ IV

ВОЗВЕДЕНИЕ ПЛОТИН

Раздел 1

РАЗРАБОТКА ГРУНТА В КАРЬЕРАХ И ПОДАЧА ПУЛЬПЫ НА КАРТЫ НАМЫВА

§ 1. Наиболее распространенными способами (схемами) разработки грунта в карьере и подачи пульпы на карты намыва являются следующие (рис. 50):

а) разработка грунта в карьере производится землесосными снарядами с подачей пульпы по напорным пульповодам непосредственно на карту намыва (рис. 50,*а*);

б) разработка грунта — гидромониторами с подачей пульпы в пределах забоя по земляным канавам и дальше самотеком по пульповоду или лотку (рис. 50,*б*);

в) так же, как на рис. 50,*б*, но с подачей пульпы от зумпфа на карту намыва землесосом (рис. 50,*в*);

г) разработка грунта в карьере — сухопутными снарядами (экскаваторы, бульдозеры) с последующим размывом его гидромониторами и транспортированием при помощи землесоса (рис. 50,*г*).

Примечание. В схеме рис. 50,*г* подача грунта из карьера к месту размыва гидромониторами может осуществляться сухопутными средствами (автотранспорт, железнодорожный транспорт и пр.).

§ 2. Выбор того или иного способа (схемы) разработки грунта в карьере и подачи пульпы к карте намыва производится в зависимости от планового и высотного положения карьера, возможностей обеспечения водой землесосов и гидромониторов и технико-экономических показателей, с учетом следующих указаний:

а) схема рис. 50,*а* применяется в случаях расположения карьеров из песчаных или песчано-гравелистых грунтов в русле реки или на пойме ниже отметки гребня плотины при сравнительно больших объемах работы;

б) схема рис. 50,*б* применяется в том случае, если карьеры располагаются значительно выше, чем гребень плотины;

в) схема рис. 50,*в* применяется в тех случаях, когда карьеры

располагаются ниже отметки гребня плотины или на значительном расстоянии от реки, а также тогда, когда не представляется возможности разрабатывать их земснарядами.

Схема рис. 50,*в* для песчаных и супесчаных грунтов применяется довольно редко, так как обладает рядом существенных не-

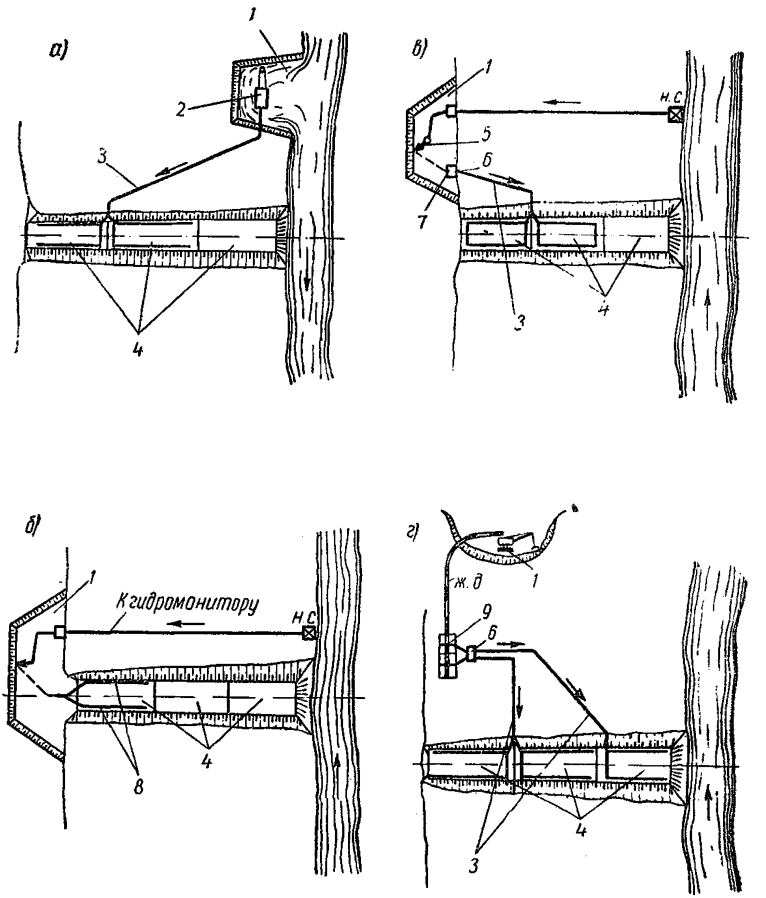


Рис. 50. Схемы разработки грунта в карьере и подачи пульпы на карты намыва

1 — карьер; *2* — землесосный снаряд; *3* — напорный пульповод; *4* — карты намыва; *5* — гидромонитор; *6* — землесос; *7* — зумпф; *8* — трубопровод или лоток; *9* — бункер-смеситель

достатков: требует многократных передвижений гидромониторов и землесосов с остановкой на этот период работ, подачи к гидромониторам воды от насосных установок высокого давления и пр.;

г) схема рис. 50,*г* является экономичной при укладке в тело сооружения грунтов различной крупности, добываемых из разных и далеко расположенных карьеров; подобные случаи в практике встречаются редко.

Примечание. Схема рис. 50,*в* становится более эффективной в случаях:

1) большой дальности расположения карьера от источника водоснабжения;

2) периодического затопления карьера и применения для облегчения перемещения землесосов на металлическом корпусе-понтоне;

3) при применении схем рис. 50,*а* и *в*, т. е. в случаях расположения карьеров на большом расстоянии от плотины или на низких отметках, могут применяться промежуточные перекачивающие землесосные установки с включением напорного пульповода от первого снаряда во всасывающий патрубок второго (без зумпфов).

§ 3. Разработка грунтов способом гидромеханизации для намыва плотин может проводиться как в полезных выемках, так и в специальных карьерах-резервах.

В первую очередь для намыва плотин должны использоваться грунты из полезных выемок и лишь в случае технико-экономической нерентабельности — из специальных карьеров.

Использование грунта полезных выемок и специальных резервов производится с учетом общего баланса земляных работ и сроков их окончания.

§ 4. Количество снарядов гидромеханизации (землесосов, плавучих землесосных снарядов, гидромониторов) и их типы назначают в проекте производства работ для каждого объекта на основе технико-экономических и гидравлических расчетов. При этом исходят из общей схемы возведения сооружений гидроузла, очередности ввода их в эксплуатацию, календарных планов строительства, характеристики и местоположения карьеров, ориентируясь на выпускаемое промышленностью оборудование (см. приложение VII, табл. VII—1, VII—2 и VII—3).

§ 5. В проектном задании в проекте организации производства работ должны получить освещение и обоснование следующие вопросы:

а) выбор месторасположения карьера (см. ч. II, разд. 1);

б) порядок производства работ по вскрыше карьера, выбор типа, количества и производительности снарядов;

в) то же, по разработке карьера;

г) схема питания водой карьеров при работе плавучих снарядов и снабжения водой гидромониторов;

д) схема электроснабжения земснарядов и других агрегатов гидромеханизации;

е) схема трасс магистральных пульповодов или лотков в различные периоды намыва;

ж) схема намыва плотины по отдельным картам и метод намыва (эстакадный, безэстакадный и т. д.);

з) календарный план работ.

Примечание. В техническом проекте эти же вопросы рассматриваются в более развернутом виде.

§ 6. При разработке карьеров плавучими землесосными снарядами следует иметь в виду, что выбор их типа (помимо соображений, изложенных в § 4 настоящего раздела) зависит в значительной мере от профиля намываемой плотины, общего объема намываемого в данную плотину грунта и схемы намыва.

При выборе типа снарядов необходимо иметь в виду следующее:

а) для предварительного подбора типа и числа земснарядов, в зависимости от общего объема работ, можно пользоваться данными приложения VII, табл. VII—4.

б) окончательный выбор числа и типов земснарядов должен производиться на основе технико-экономических сопоставлений различных вариантов; оптимальным вариантом следует считать тот, при котором стоимость 1 $м^3$ грунта получается наименьшей;

в) эффективное использование плавучих земснарядов возможно при следующих ориентировочных высотах H и объемах V сооружения на 1 *км* его длины:

для земснаряда	100-35	при $V=$	300— 700	тыс. $м^3$ и	$H=10\div15$ *м*
„ „	300-40	при $V=$	700—1 000	„ „	$H=12\div15$ „
„ „	500-60	при $V=$	1 000—2 500	„ „	$H=15\div20$ „
„ „	1 000-80	при $V>$	2 500	„ „	$H>20$ „

Примечание. Оценка того или иного варианта должна вестись с одновременным рассмотрением всего процесса: разработка — транспортирование грунта — укладка.

§ 7. Повышение коэффициента использования земснарядов при наличии перекачивающих станций может быть достигнуто путем намыва промежуточного резерва, который, кроме того, будет служить для обогащения грунта.

§ 8. Для передвижения плавучих снарядов в пределах намечаемых карьеров рекомендуется широко использовать периоды паводковых расходов, повышенных горизонтов воды в реке и на пойме, временные каналы для питания карьеров водой, оборот воды (осветленные воды), а также ограждения карьеров специальными перемычками и пр.

§ 9. Календарный план работ следует составлять так, чтобы коэффициент использования земснарядов по времени был не менее 0,6—0,7.

§ 10. При проектировании разработки карьеров гидромониторами и технико-экономических обоснованиях различных вариантов удельный расход электроэнергии на размыв 1 $м^3$ грунта можно определять из зависимости [1]

$$a = 1{,}2\,\frac{1\,000\,q\,(h_1 \mp h_2 + h_3)}{75\cdot0{,}55\cdot1{,}36\cdot3\,600}, \qquad (47)$$

где a — удельный расход электроэнергии в *квт-ч* на 1 $м^3$ размытого грунта;

1,2 — коэффициент запаса;

0,55 — коэффициент полезного действия насосов, учитывающий работу вхолостую и другие потери;

q — удельный расход воды на размыв 1 $м^3$ грунта в $м^3$ по СНиП (см. приложение VII, табл. VII—5);

[1] Шкундин Б. М., Гидромеханизация в строительстве, Машстройиздат, 1949.

h_1 — напор у насадка гидромонитора, необходимый для размыва данного грунта (см. приложение VII, табл. VII—5), в *м* вод. ст.;

h_2 — разность отметок насадка гидромонитора и горизонта воды у водозабора в *м*;

h_3 — потери напора в водоводе, подающем воду к гидромонитору, в *м* вод. ст.

Примечание. Величина h_3 определяется по обычным формулам гидравлики.

§ 11. Для ориентировочного определения удельного расхода электроэнергии на 1 $м^3$ грунта при проектировании разработки карьеров земснарядами можно пользоваться данными приложения VII, табл. VII—6.

Удельный расход электроэнергии на транспорт грунта по напорным пульповодам ориентировочно можно определять по формуле Б. М. Шкундина:

$$a_1 = 3(L + 0{,}04H), \tag{48}$$

где a_1 — удельный расход энергии в *квт-ч* на гидротранспорт 1 $м^3$ грунта;

L — дальность транспортирования пульпы в *км;*

H — геометрическая высота подъема грунта в *м.*

Примечания. 1. Формула (48) может применяться при $a_1 > 1{,}8$ *квт-ч* и для земснарядов производительностью по грунту от 60 до 300 $м^3/час$

2. Более точное определение удельного расхода электроэнергии на разработку и транспортирование должно производиться на основании гидравлических расчетов пульповода и выбора оптимального режима работы системы (см. § 17 настоящего раздела).

§ 12. Для магистральных пульповодов могут применяться как пульповоды напорные, так и безнапорные.

Напорные пульповоды могут быть стационарные и плавучие; стационарные укладывают на специальных эстакадах, плавучие — на понтонах.

§ 13. Напорный пульповод подбирается по расчетному давлению из стальных электросварных труб с продольными и спиральными швами диаметром от 200 до 900 *мм* (см. приложение VII, табл. VII—7).

Примечание. Магистральные пульповоды из других материалов, например дерева, могут применяться в исключительных случаях при специальном обосновании.

§ 14. Соединение звеньев труб осуществляется при помощи сварки, болтов на фланцах и быстроразъемных соединений соответствующей конструкции. Отдельные звенья плавучих пульповодов должны быть соединены между собой при помощи гибких соединений.

§ 15. Трассировка пульповода должна осуществляться таким образом, чтобы по возможности уклон его был в одну сторону. Пониженные участки пульповода должны быть оборудова-

ны выпусками для опорожнения его на время продолжительных перерывов работы в зимнее время.

Повороты в плане должны быть сведены к минимуму и осуществляться плавно, с радиусом закруглений $R > (3 \div 4)d$, где d — диаметр пульповода. Для облегчения и ускорения переключения подачи пульпы с одной карты на другую магистральный пульповод должен быть снабжен специальным переключателем.

§ 16. Выбор диаметра напорного пульповода должен основываться на технико-экономических сопоставлениях отдельных вариантов и предварительно назначаться в зависимости от типа выбранного земснаряда (см. приложение VII, табл. VII—8).

За оптимальный вариант следует принимать такой, при котором сумма аммортизационных и эксплуатационных затрат является минимальной. Одной из основных составляющих при выборе диаметра пульповода являются затраты на преодоление гидравлических сопротивлений по длине пульповода, которые следует определять одним из существующих способов (см. § 17 настоящего раздела).

§ 17. Гидравлический расчет напорного пульповода производится для обоснования выбора типа земснаряда и диаметра пульповода и состоит в определении потерь напора по его длине. Для приближенного расчета потерь напора H может быть рекомендована формула ВНИИГ[1]:

$$H = (\lambda_\omega + \lambda_s)\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g}, \qquad (49)$$

где λ_ω — коэффициент сопротивления для воды;

λ_s — дополнительный коэффициент сопротивления, зависящий от наличия грунта в потоке;

L — длина пульповода в *м*;

v — скорость потока в *м/сек;*

D — диаметр пульповода в *мм.*

Величина λ_ω для стальных пульповодов определяется по табл. VII—9 приложения VII, а величина λ_s — в зависимости от скорости v, консистенции C (рис. VII — 1) и характера грунта (рис. VII—2) по данным приложения VII.

Для плавучих пульповодов величину λ_ω следует увеличить в 2—2,5 раза. Для расчетов следует задаваться консистенцией C и группу грунтов выбирать наиболее тяжелую.

§ 18. При выборе консистенции C следует руководствоваться СНиП[2], где приведены данные по удельному расходу воды (в $м^3$) на разработку и транспортирование 1 $м^3$ грунта для категорий грунтов при работе гидромониторами и плавучими землесосными

[1] Горюнов С. И., Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов, Госэнергоиздат, 1955.

[2] СНиП, т. I, ч. IV, гл. IV-Б.1, стр. 88—89.

снарядами. Эти удельные расходы изменяются от 5 до 22 $м^3$, что соответствует весовой консистенции от 30 до 5% (см. табл. VII—5 приложения VII).

Примечание. Для перехода от категорий грунтов, приведенных в СНиП, на категории, приведенные на рис. VII — 2, следует пользоваться табл. VII-5, приведенной в приложении VII.

§ 19. Указанные в § 18 консистенции следует максимально повышать, что можно делать путем:

а) рациональной организации работ гидромониторов и землесосных установок;

б) предварительной переработки грунта;

в) применения всевозможных сгустителей.

§ 20. По полученным потерям напора в пульповоде строят характеристику пульповода $H=f(Q; C)$ с учетом высоты его подъема, и по характеристике землесоса $H=f(Q)$ и $N=f(Q)$ выбирают наивыгоднейший режим работы земснаряда и определяют затраты электроэнергии на 1 $м^3$ грунта. Здесь H — напор в $м$; Q — расход пульпы в $м^3/час$; C — консистенция пульпы в %; N — потребная мощность в $квт$.

§ 21. В качестве безнапорных пульповодов могут применяться деревянные лотки прямоугольного или трапецеидального сечения, металлические лотки и в редких случаях трубы, расположенные на эстакадах. Уклоны лотков следует назначать в зависимости от характера транспортируемого по ним грунта в соответствии с данными табл. VII—10 приложения VII*.

§ 22. Скорость движения пульпы по пульповодам должна назначаться такой, чтобы была исключена возможность их закупорки.

§ 23. Гидравлический расчет безнапорных пульповодов и лотков должен производиться по одному из существующих способов**. В результате гидравлического расчета подбирают оптимальные сечения и определяют скорости движения пульпы, которые не должны быть меньше критических.

Примечание. Ориентировочно их следует принимать не менее 2 $м/сек$.

Раздел 2

СХЕМЫ И ТЕХНОЛОГИЯ НАМЫВА ПЛОТИН

§ 1. Схемы намыва плотин могут различаться в зависимости от:

а) расположения пульповодов на карте намыва параллельно оси плотины по одной или двум линиям, по этому признаку схема намыва может быть односторонней или двусторонней;

---

* П. П. Дьяков, Гидромеханизация земляных работ на железнодорожном транспорте, Трансжелдориздат, 1940.

** Г. П. Никонов и С. О. Славутский, Гидромеханизация в угольной промышленности, Углетехиздат, 1952.

б) расположения пульповода на карте на эстакадах или на намытом грунте, по этим признакам схема намыва может быть эстакадной или безэстакадной;

в) способа выпуска пульпы из пульповода — одним сосредоточенным потоком из торца пульповода или рассредоточенно по длине пульповода из ряда выпусков, по этому признаку схема намыва может быть торцовой или с выпусками;

г) наличия или отсутствия прудка-отстойника для осветления воды и образования ядра, т. е. схема намыва с прудком-отстойником или без прудка-отстойника;

д) расположения распределительных пульповодов параллельно или перпендикулярно к оси плотины, т. е. схема намыва параллельно оси или нормально к оси плотины;

е) отсутствия или наличия воды в намываемой зоне плотины, т. е. намыв надводный или под воду.

§ 2. В соответствии с определениями § 1, в наименовании схемы намыва может быть отражено сразу несколько признаков, например схема односторонняя торцовая безэстакадная с расположением пульповода параллельно оси плотины с намывом под воду или схема двусторонняя торцовая безэстакадная с прудком и т. д.

§ 3. Выбор той или иной схемы намыва производится в соответствии с конструкцией профиля плотины в зависимости от:

а) схемы подачи пульпы к плотине и характеристики земснарядов;

б) схемы строительства гидроузла и пропуска строительного расхода;

в) интенсивности намыва;

г) характера грунта для намыва.

§ 4. На основании опыта намыва плотин в СССР за последнее время в качестве основных рекомендуются следующие способы (схемы) намыва (рис. 51).

А. Для плотин, возводимых в пойме, за перемычками или в русле, но выше горизонта воды в реке (рис. 51, схемы I—IV):

1. Двусторонний безэстакадный торцовый из пульповодов, расположенных параллельно оси плотины, с центральным прудком-отстойником (схема I). Такой способ может применяться для песчаных и песчано-гравелистых грунтов, с подачей пульпы на карту по различным схемам (рис. 50).

2. Односторонний безэстакадный торцовый с расположением пульповодов параллельно оси плотины, без прудка или с прудком, расположенным со стороны верхового откоса (схема II). Такой способ целесообразно применять для однородных песчаных грунтов.

3. То же, что и схема II, но с расположением пульповодов нормально к оси плотины (схема III). Такая схема может быть рекомендована при большом количестве земснарядов и магистральных пульповодов, сосредоточенных на сравнительно неболь-

шой длине плотины. Эта схема хорошо зарекомендовала себя при намыве русловых плотин (выше горизонта воды) в сжатые сроки.

4. То же, что и схема I или II, но эстакадная, с отдельными выпусками по длине пульповода (схема IV). Такую схему можно

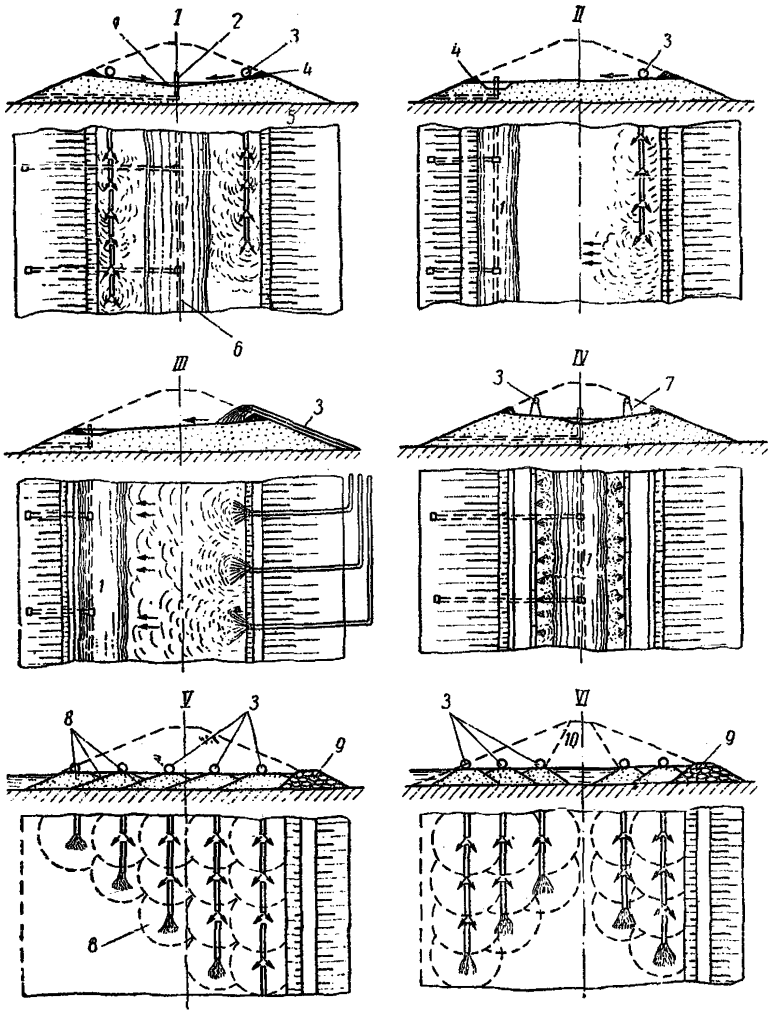


Рис. 51. Схемы надводного (I—IV) и подводного (V—VI) намыва

1 — прудок-отстойник; 2 — колодец; 3 — пульповод; 4 — дамба обвалования; 5 — отводящая труба; 6 — коллектор; 7 — эстакада; 8 — конусы намыва; 9 — банкет; 10 — ядро

применять с целью уменьшения удельного расхода пульпы при ограниченной ширине профиля (при намыве верхних зон плотины) или, наоборот, при весьма распластанном профиле с пологими откосами.

Примечания. 1. В отдельных случаях для более равномерного намыва по схеме III выпуск пульпы на карту может происходить через несколько выпусков (2—3).

2. Торцовый намыв может при соответствующем обосновании производиться и с невысоких инвентарных эстакад (высотой 1—2 *м*).

3. Применение схемы намыва с высоких эстакад с выпусками (схема IV) может допускаться лишь при специальном обосновании.

4. Одна и та же плотина может намываться с применением различных схем. Например: на нижних отметках по схеме II или III и на высоких отметках по схеме I или IV и т. д.

Б. Для плотин, возводимых частично под воду в русле реки при перекрытии его каменным банкетом или безбанкетным способом (рис. 51, схемы V—VI):

1. Безэстакадный торцовый беспрудковый с пульповодами, параллельными оси плотины, со сбросом пульпы в воду в пределах ширины плотины (схема V). Такой способ может быть применен лишь при безъядерном типе плотины, т. е. при однородных песках.

2. Безэстакадный торцовый ядерный двусторонний, с намывом в начале боковых призм в воду до отметки выше горизонта воды, а затем с намывом более мелкозернистого грунта центральной (ядерной) части (схема VI). После выхода из воды намыв продолжается по одной из схем I—III.

Примечание. Намыв по схемам V и VI может быть осуществлен с эстакад и при подаче грунта из разных карьеров.

§ 5. Опыт намыва земляных сооружений показал, что плотность намытого грунта в известной мере зависит от технологии намыва. Однако данные по этому вопросу еще в недостаточной мере обоснованы.

Примечание. Проведенными во ВНИИГ исследованиями установлено, что имеется тенденция к увеличению объемного веса при больших удельных расходах пульпы и при малой фактической скорости наращивания сооружения по высоте.

§ 6. При выборе схемы намыва необходимо иметь в виду следующее.

1. При намыве одностороннем, надводном, уклон намытого грунта при мелкозернистых песках получится порядка 1 : 15 — 1 : 40, в зависимости от удельного расхода и консистенции пульпы и от того, производится ли намыв из торца или из выпусков.

Примечание. Для ориентировочных подсчетов среднего уклона откоса намыва в процентах можно пользоваться формулой ВНИИГ:

$$J_{ср} = a \frac{\sqrt[3]{C_s}}{\sqrt[4]{1{,}6 \frac{Q}{L}}}, \qquad (50)$$

где a — коэффициент, зависящий от состава грунта;

C_s — весовая консистенция пульпы на выпуске в %;

Q — расход пульпы на выпуске в *л/сек*;

L — длина откоса намыва в *м*.

Коэффициент a рекомендуется принимать для мелких и средних песков 3—3,5, для разнозернистых и крупных песков — 4—5.

2. При намыве торцовом, под воду уклон намытого грунта (при мелкозернистых песках) колеблется в пределах 1 : 2 — 1 : 10, в зависимости от глубины водоема; более крутые откосы относятся к меньшей глубине.

3. При намыве под воду и значительных глубинах плотность грунта получается несколько меньшей, чем при намыве надводном

§ 7. При надводном намыве ядерных плотин с прудком выпуск пульпы должен производиться по возможности ближе к обвалованию у откоса плотины. Пульпа должна распределяться равномерным слоем, без образования сосредоточенных потоков, для чего рекомендуется в отдельных случаях использовать переносные деревянные щиты. При выпуске пульпы из отдельных выпусков последние должны быть направлены к дамбам обвалования.

§ 8. Работы по созданию дамб обвалования должны быть механизированы. Для этой цели могут применяться: бульдозер, многоковшовый экскаватор поперечного копания, экскаватор. Грунт для дамб желательно брать с откосов плотины, подготавливая их этим одновременно для укладки покрытия, или из боковых призм, ни в коем случае не допуская при этом образования каких-либо карманов у обвалования.

Примечание. Желательно применять специальные обваловочные машины, которые одновременно с обвалованием профилируют наружный откос плотины.

§ 9. При прудковой схеме двустороннего способа намыва размеры прудка определяют расчетом и указывают в инструкции к техническому проекту возведения сооружения. Границы прудка должны строго поддерживаться регулировкой работы водоотводящих устройств. Прудок ни в коем случае, даже кратковременно, не должен подходить к обвалованию.

Примечание. Для обеспечения назначенных границ прудка на карте намыва выставляют вешки, определяющие положения урезов воды. Такие же вешки выставляют по оси плотины. На вешках должны быть разбиты шкалы абсолютных или условных отметок.

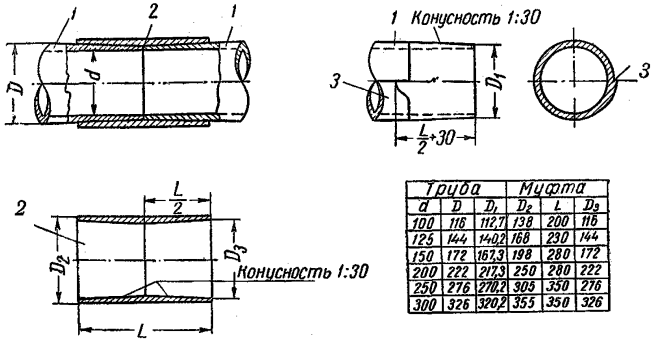
§ 10. Деление плотины на карты должно производиться в зависимости от общей схемы возведения сооружения, готовности по календарному плану отдельных участков под намыв (зачистка основания и пр.), схем разработки карьеров и подачи пульпы к плотине. Следует стремиться по возможности увеличивать длину карты и без необходимости не производить деление ее на отдельные карты, особенно при плотинах с ядром.

Примечание. Применение карт длиной порядка 200—400 *м* при работе земснарядов 500-60 и высоте плотины порядка 20 *м* оправдало себя на строительстве Цимлянского гидроузла.

§ 11. Каждая карта намыва с торцов ограничивается дамбами обвалования, выполненными в соответствии с указаниями § 8 настоящего раздела. Разность отметок поверхности намытого грунта на двух соседних картах должна быть по возможности минимальной и не превосходить 2—4 *м*.

§ 12. При намыве карты с более низкими отметками прилегающий торец карты, возведенной до более высоких отметок, должен перерабатываться струей пульпы.

Отклонение от этой рекомендации может допускаться при ограничении карты намыва поперечной перемычкой, выполненной насухо с уплотнением на всю высоту плотины. В этом случае примыкание карты к перемычке осуществляется аналогично примыканию к берегу (с планировкой откоса перемычки), перемычку оставляют в теле плотины.



Труба			Муфта		
d	D	D_1	D_2	L	D_3
100	116	112,7	138	200	116
125	144	140,2	168	230	144
150	172	167,3	198	280	172
200	222	217,3	250	280	222
250	276	270,2	305	350	276
300	326	320,2	355	350	326

Рис. 52. Соединение фанерных трубопроводов с помощью конусной муфты

1 — трубопровод; *2* — конусная муфта; *3* — нахлестка

При плотинах с ядром сопряжение отдельных карт должно подвергаться специальной проработке с тем, чтобы обеспечить качественное выполнение ядра не только в пределах карт, но и в пределах их сопряжений.

§ 13. Для разводящих пульповодов применяют как трубы, так и лотки. Лотки могут быть деревянные и в крайнем случае при специальном обосновании металлические.

Сечение лотков может быть прямоугольное, полукруглое или трапецеидальное с длиной звеньев 3—4 *м*.

§ 14. Разводящие пульповоды в виде труб применяют стальные (цельнотянутые или сварные) и деревянные (фанерные).

§ 15. Соединение стальных разводящих пульповодов рекомендуется делать фланцевое — при намыве по схеме III или быстроразъемное — при намыве по схемам I, II, IV, V и VI.

§ 16. Соединение фанерных труб осуществляется с помощью конусной муфты (рис. 52)[1].

Примечание. Фанерные трубы целесообразно применять лишь при намыве из торца и при мелкопесчаных грунтах.

§ 17. Выпуски из пульповодов при схеме намыва IV располагают через 5—10 *м*. Для более равномерного распределения пуль-

[1] Временная инструкция по эксплуатации и монтажу фанерных трубопроводов, НИИФ Главфанеропром, 1952.

пы через отдельные выпуски последние следует располагать по длине на разных высотах от дна. С этой же целью рекомендуется (при трубах) менять периодически направление движения пульпы.

§ 18. Выпуски должны снабжаться для возможности регулирования их работы задвижками простейшей конструкции.

§ 19. Эстакады, на которые укладывают пульповод, могут быть высокими — 5—6 *м* и низкими — 1—2 *м*.

Высоты ярусов намыва равны примерно высотам эстакад. Высокие, и особенно низкие, эстакады, следует делать полностью или частично разборными, т. е. инвентарными.

При высоких эстакадах намыв может производиться лишь из отдельных выпусков при одном монтаже пульповода на все время намыва яруса. При расположении пульповода на низких инвентарных эстакадах намыв может производиться как из выпусков, так и из торца — по схеме безэстакадного намыва, с высотой яруса, равной высоте эстакады.

Примечание. Наращивание пульповода в этом случае можно производить при прекращении подачи пульпы, с переключением на это время подачи ее по другому пульповоду. При намыве из выпусков пульповод монтируют заранее, а при намыве торцовом — наращивают постепенно. Отдельные звенья пульповода без скрепления укладывают на эстакаду заранее и затем скрепляют по мере необходимости.

§ 20. Наращивание металлических разводящих труб при безэстакадном намыве производится без перерыва подачи пульпы, при помощи быстроразъемных раструбных соединений.

В этом случае грунт намывают слоями 20—25 *см* при одном цикле (наращивание — намыв — разборка).

§ 21. Все работы по наращиванию пульповодов должны быть механизированы, причем желательно применять такие механизмы, которые в перерывах между наращиванием труб могли бы проводить работы по обвалованию (краны-экскаваторы ТЭ-2).

§ 22. При разводящих фанерных трубах в тех случаях, когда наращивание их без перерыва подачи пульпы затруднительно, допускаются остановка подачи по этому пульповоду и переключение на это время расхода пульпы на другую, подготовленную линию при помощи специального переключателя.

§ 23. Прокладка разводящих пульповодов по карте (рис. 53) может производиться при схемах намыва I, II, IV (рис. 51) одной или двумя линиями, параллельными оси плотины (рис. 53,*а*, *б*), при схеме намыва IV, — кроме того, замкнутым кольцом (рис. 53,*в*), при схемах намыва V и VI — по ряду линий, параллельных оси плотины (рис. 53,*е*) и при схеме V — также расходящимися веерообразно (рис. 53,*д*), а при схеме III, — как показано на схеме рис. 53,*г*.

§ 24. При наличии внутри профиля плотины дренажных устройств последние перед их замывом следует закрывать слоем ранее намытого грунта порядка 1—2 *м*, укладываемым насухо.

§ 25. Интенсивность намыва по высоте должна назначаться в зависимости от наличия и типа оборудования, общего плана и

схемы работ по возведению узла сооружений в целом и с учетом допустимости принятой интенсивности в отношении устойчивости откосов (невозможности их оползания), о фильтрационной устойчивости грунта откоса см. приложение V, п. 3.

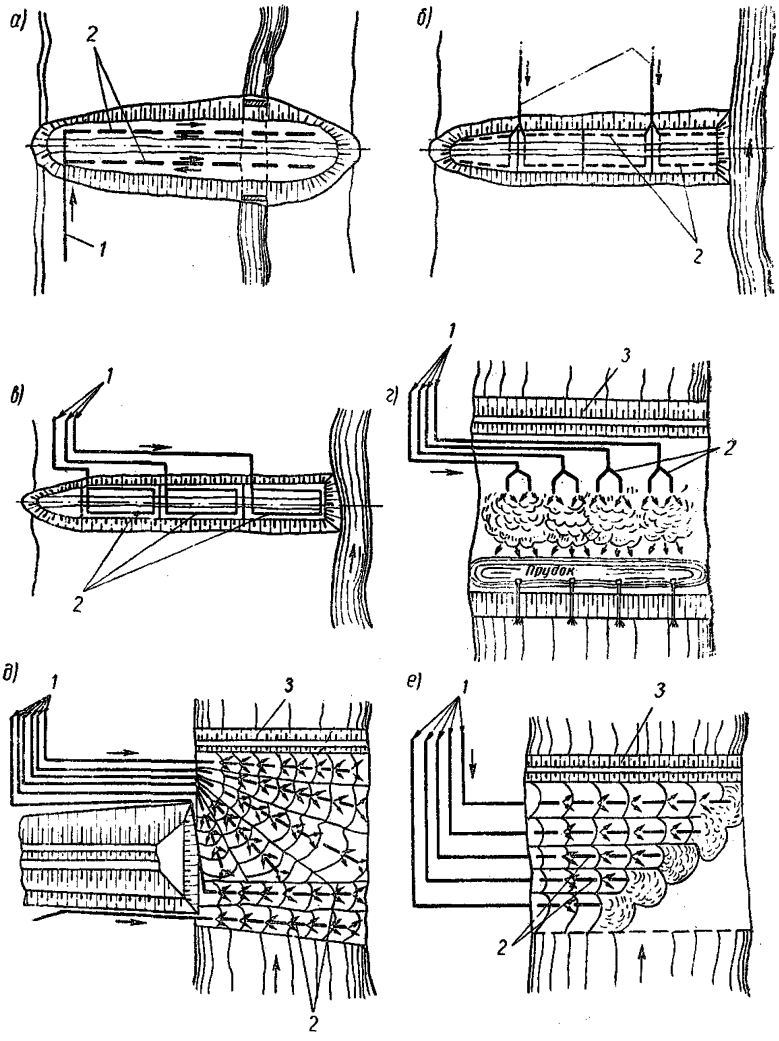


Рис. 53. Схемы расположения распределительных пульповодов

1 — магистральные пульповоды от землесосного снаряда; *2* — распределительные пульповоды; *3* — банкет

§ 26. Намыв должен вестись с такой интенсивностью, чтобы кривая депрессии выклинивалась в пределах заданного участка откоса, величина которого определяется устойчивостью откоса, находящегося под гидродинамическим воздействием фильтрационного потока.

Примечание. Расчет допустимой интенсивности намыва для плотин I и II класса высотой более 10 *м* по методу ВОДГЕО приведен в приложении IV, В.

§ 27. При большой интенсивности намыва (более 1—1,5 *м* в сутки) и выклинивании кривой депрессии на откосы (при намыве по схемам I—IV) для предотвращения оползания откосов из мелкозернистых песков рекомендуется проводить одно из следующих мероприятий:

а) максимально использовать постоянные дренажные устройства для снижения кривой депрессии фильтрационного потока из прудка-отстойника на низовом откосе;

б) параллельно с намывом производить планировку откосов и укладывать крепление или подготовку под крепление на верховом откосе;

в) применять специальные временные водопонижающие устройства (иглофильтры, дырчатые трубы и пр.).

Примечание. Последнее мероприятие должно проводиться лишь в исключительных случаях при соответствующем обосновании.

Раздел 3

ОТВОД ОСВЕТЛЕННОЙ ВОДЫ ИЗ ПРУДКА ЗА ПРЕДЕЛЫ СООРУЖЕНИЯ

§ 1. При схемах намыва с прудком должен быть организован отвод осветленной воды из прудка. Путем поддержания на соответствующем уровне горизонта воды в прудке представляется возможным регулировать ширину и глубину прудка, и тем самым — крупность сбрасываемых частиц грунта, а в плотинах с ядром — также ширину ядра. Отклонение от проектных границ допускается в ту и другую стороны в пределах до 10% от ширины ядра на данной высотной отметке намыва.

§ 2. Отвод осветленной воды из прудка и поддержание горизонта воды в нем на необходимом уровне осуществляется с помощью временных водосбросных устройств, преимущественно водосбросных колодцев и в отдельных случаях — плавающих насосных установок или в результате принятия других оправданных проектом решений.

§ 3. Водосборные колодцы следует располагать на оси прудка, в соответствии с имеющимся опытом, на расстоянии 100—200 *м* друг от друга. Расстояние между колодцами L уточняется по формуле

$$L = 2l_{доп} - b, \qquad (51)$$

в которой $l_{доп}$ — наибольшая длина пути в прудке, обеспечивающая сброс мелких фракций, определяется по формуле

$$l_{доп} = h\frac{v_{ср}}{\omega}, \qquad (52)$$

где h — глубина в *м;*

$v_{ср}$ — средняя скорость струи на пути в прудке в *м/сек;*

w — гидравлическая крупность частиц (наиболее крупных), подлежащих сбросу, в *м/сек;*

b — ширина прудка в *м*.

Примечание. Крупность частиц, подлежащих сбросу, назначается в зависимости от схемы намыва, гранулометрического состава, типа плотины и других факторов (см. ч. III, разд. 4).

§ 4. В процессе строительства, при возведении плотин без ядра, но с отмывом мелких фракций, следует стремиться к тому, чтобы при любом положении места сброса пульпы в сооружение длина пути струи в прудке l не превышала длину допустимую $l_{доп}$, определенную по формуле (52), т. е. должно быть соблюдено условие

$$l \leqslant l_{доп}. \qquad (53)$$

Наоборот, при возведении плотины с ядром, образуемым с помощью прудка-отстойника, при любом положении места сброса пульпы в сооружение длина пути струи в прудке должна быть не менее $l_{доп}$, также определяемой по формуле (52), т. е.

$$l \geqslant l_{доп}. \qquad (54)$$

§ 5. Должна быть обеспечена безаварийная работа водосбросных колодцев и водоотводящих труб от этих колодцев в процессе эксплуатации. Поэтому, несмотря на временный характер названных сооружений, все работы по их устройству должны выполняться тщательно, по проекту, а эксплуатация — с соблюдением указаний, предусматриваемых специально составляемой инструкцией.

Примечание. Более подробные указания по строительству водосбросных колодцев даны в «Технических условиях на строительство и эксплуатацию водосбросных колодцев и труб», составленных в 1955 г. проектной конторой Гидромехпроект Министерства строительства электростанций.

§ 6. Водосбросные колодцы устраивают преимущественно из дерева в виде вертикальной шахты с каркасом из стоек, раскрепленных распорками, и стенками из досок, постепенно наращиваемыми по мере возведения сооружения.

В поперечном сечении водосбросным колодцам целесообразно придавать форму квадрата, при которой конструкция колодца под действием внешней нагрузки работает наиболее рационально.

Конструкцию водосбросных колодцев определяют исходя из высоты сооружения и расходов осветленной воды, которые должны сбрасываться через колодец. Применяемые конструкции водосбросных колодцев приведены на рис. 54.

§ 7. В зависимости от расхода сбрасываемой воды водосбросные колодцы устраивают из одной или нескольких секций:

при расходе	$q < 0{,}5$ *м³/сек*	односекционные
„ „	$q = 3{,}5$—1 „	двухсекционные
„ „	$q = 1$ —1,5 „	трехсекционные

§ 8. При высоте плотины порядка 6—8 *м* и более с целью уменьшения внешней нагрузки на стенки колодца последние снаб-

жаются вертикальным патрубком водосбросной трубы, наращиваемым, как и стенки колодца, постепенно, по мере возведения сооружения. При этом пространство между трубой и стенками колодца замывают грунтом.

При малой высоте плотины (менее 6—8 *м*) снабжать водосбросные колодцы вертикальными патрубками водосбросной трубы нет необходимости.

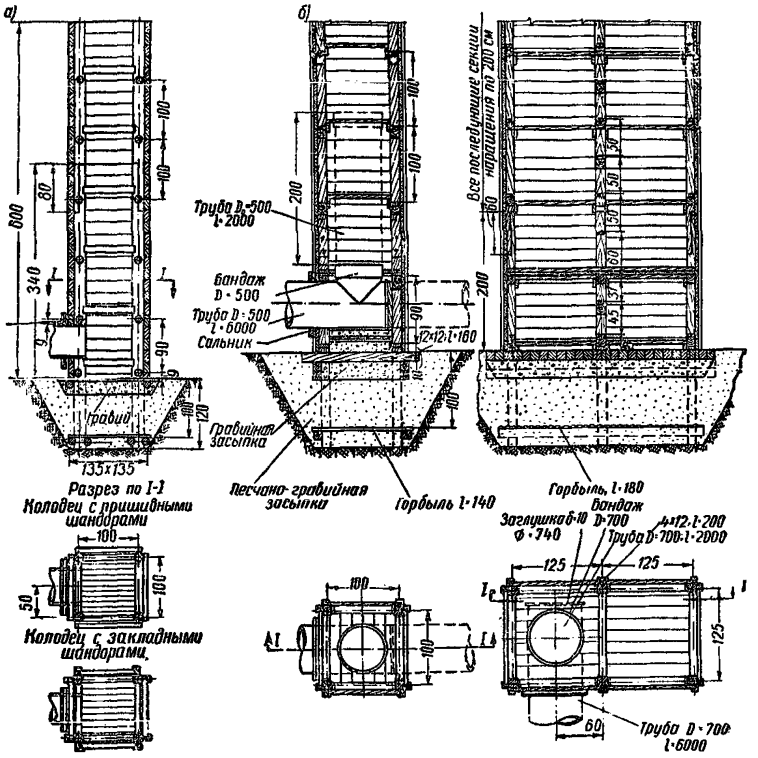


Рис. 54. Конструкция водосбросных колодцев

а — водосбросный колодец малой высоты; *б* — водосбросные колодцы большой высоты; стойки и распорки колодцев могут выполняться из круглого леса

§ 9. При отсутствии вертикального патрубка водоотводящей трубы расчет водосбросного колодца и его элементов следует вести преимущественно на случай одностороннего (по периметру) гидростатического давления тяжелой жидкости с объемным весом $\gamma = 2\ т/м^3$. Только при намыве чистых песков, быстро отдающих воду, расчетные нагрузки могут быть несколько снижены.

§ 10. Для удобства маневрирования горизонтом воды в прудке стенки водосбросных колодцев выполняют в виде шандор из досок, закладываемых в пазы стоек колодца. При этом кромки

шандор должны быть тщательно подогнаны во избежание протекания грунта в колодец.

Примечание. Если горизонт воды в прудке изменяется относительно редко и нет необходимости в разборке стен колодца с целью упрощения конструкций, стены можно выполнять как обшивку, прибиваемую снаружи к стойкам каркаса колодца.

§ 11. В зависимости от несущей способности грунтов основания водосбросные колодцы следует устанавливать:

а) непосредственно на грунт — при плотных глинистых, песчаных и песчано-гравелистых грунтах основания;

б) на свайное основание — при слабых грунтах основания (илистых, рыхлых песчаных, глинистых с текучей консистенцией и т. п.);

в) на ряжевом основании — в случае установления колодца на скальных грунтах.

Примечания. 1. В случае установки водосбросного колодца непосредственно на грунт надлежит принять меры к недопущению его всплывания при отсутствии пульпы в колодце (обычно путем дополнительной пригрузки).

2. При воздействии удара падающей струи непосредственно на днище колодца конструкция днища должна обеспечить неразмываемость основания и цельность нижней части колодца.

§ 12. Для предохранения водосбросной трубы от попадания в нее плавающих предметов целесообразно:

а) устраивать вокруг колодца плавающие ограждения—боны;

б) снабжать входное отверстие вертикальной трубы прочной решеткой с крупными отверстиями (порядка 5×5 — 10×10 *см*).

§ 13. Водоотводящие трубы сбросных колодцев выводят в верхний или нижний бьеф, в зависимости от местных конкретных условий: геологии основания, организации производства работ, сроков наполнения водохранилища и др. В частности, при наполнении водохранилища в процессе строительства отвод осветленной воды следует осуществлять в сторону нижнего бьефа.

§ 14. Водоотводящие трубы рекомендуется укладывать с постоянным уклоном в сторону от оси сооружения без перелома в горизонтальной и вертикальной плоскостях (кроме поворота трубы в самом колодце).

§ 15. В зависимости от рельефа местности по трассе водоотводящую трубу укладывают или непосредственно на грунт основания (или на грунт намытой части сооружения), или на П-образные опоры.

§ 16. На время, до покрытия труб достаточным слоем уплотненного намытого грунта, с целью предупреждения всплывания на водоотводящие трубы следует дать пригрузку (рис. 55 и 56).

Возможная величина взвешивающего давления определяется по формуле

$$q = \frac{\pi}{4}\left[D_{н}^{2}\gamma_{р.г} - \left(D_{н}^{2} - D_{вн}^{2}\right)\gamma_{т}\right., \qquad (55)$$

где q — взвешивающее давление на 1 *м* трубы в *т*;

$D_н$ и $D_{вн}$ — диаметры трубы, соответственно наружный и внутренний в *м*;

$\gamma_{р.г}$ и $\gamma_т$ — объемный вес разжиженного грунта и материала трубы.

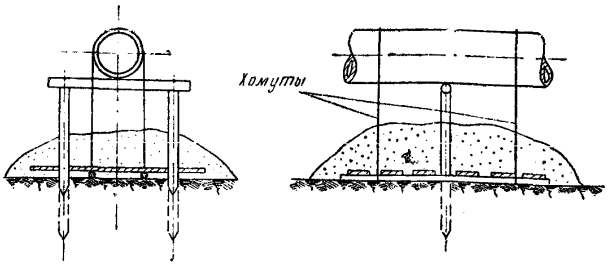


Рис. 55. Вариант пригрузки труб

§ 17. Для предупреждения усиленной контактной фильтрации на водоотводящих трубах следует устанавливать диафрагмы полным размером 2,5—3 диаметра трубы. В зависимости от длины трубы диафрагмы должны отстоять на расстоянии 10—15 *м* друг от друга.

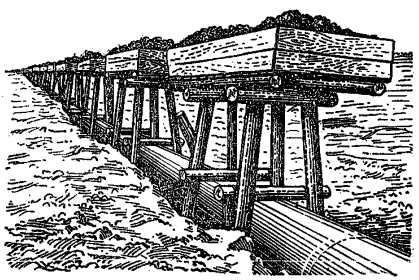


Рис. 56. Вариант пригрузки труб

§ 18. Эксплуатация водосбросных колодцев и регулирование ширины прудка-отстойника осуществляется по специально для этой цели составленной инструкции, учитывающей местные конкретные условия сооружения, а также предусматривающей необходимость:

а) установления специальных знаков, наглядно фиксирующих проектную ширину прудка;

б) обеспечения надежного сообщения с колодцами с помощью лодки или плавающих мостков;

в) принятие срочных мер в случае аварии сооружения.

§ 19. После возведения намывного сооружения водосбросные колодцы и трубы подлежат тщательной заделке. Концевой участок водоотводящей трубы (длиной 10—15 *м*) следует полностью удалить, а образовавшуюся траншею заполнить грунтом. Заполнение трубы осуществляется грунтом (намывным способом) и цементным раствором с устройством бетонной пробки в конце трубы. Колодец и вертикальный патрубок водоотводящей трубы заполняют грунтом с уплотнением.

§ 20. Применение для отвода осветленной пульпы плавучих насосных станций возможно при отсутствии стационарных водосбросных колодцев или невозможности их использования по рельефу местности, а также в случае намыва грунта в сооружение с водооборотом.

Расстояние между стоянками водозабора насосных станций устанавливают по расчету так же, как и между водосбросными колодцами (§ 3 и 4). Необходимое количество плавучих насосных станций определяется местными условиями организации производства работ по намыву сооружения.

Раздел 4

НАМЫВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА

Общие положения

§ 1. Намыв земляных плотин и дамб при отрицательной температуре воздуха в достаточной мере освоен в техническом отношении, но более сложен по выполнению и значительно дороже по стоимости, чем намыв в летних условиях. Поэтому зимний намыв может быть оправдан только в том случае, если он вызван срочностью возведения данного сооружения и календарными сроками строительства гидроузла в целом.

§ 2. Работы по намыву грунта при устойчивых отрицательных температурах воздуха следует выполнять по специально составленному проекту организации производства работ и инструкциям по отдельным видам работ.

Успешное выполнение работ по намыву грунта в зимних условиях обусловливается: тщательной предварительной подготовкой, соответствующей материальной обеспеченностью, должным усвоением техническим персоналом и рабочими проекта производства работ и инструкций на выполнение отдельных видов работ в зимних условиях и хорошей организацией связи и сигнализации.

Примечание. Обычно плановый ремонт землесосного оборудования приурочивается к наиболее холодным месяцам года (январь—февраль). При составлении проекта организации работ в зимнее время целесообразно предусмотреть два периода:

1) осенне-зимний — примерно от осеннего ледостава до 1—15 января;
2) зимне-весенний — примерно от 15 февраля до весеннего ледохода.

§ 3. В случае намыва грунта в плотину при отрицательной температуре воздуха необходимо:

1) заблаговременно защитить надводные забои грунта в карьере от значительного промерзания;

2) обеспечить в помещениях плавающих землесосных снарядов, перекачивающих насосных станций и сухопутных передвижных землесосных установок постоянную положительную температуру воздуха;

3) обеспечить поддержание незамерзающей майны вокруг землесосного снаряда и плавучего трубопровода;

4) обеспечить незамерзание движущейся гидромассы и воды в металлических трубопроводах.

Примечание. Для обеспечения последнего условия следует стремиться к максимально возможному укорочению пути транспортирования пульпы от карьера до сооружения.

Разработка грунта в карьере

§ 4. Для зимних работ следует выбирать те участки карьеров, при разработке которых осложнения, связанные с отрицательными температурами воздуха, будут наименьшими.

При выборе участка карьера следует также принимать во внимание условия проточности водоема. В малопроточных водоемах поддержание майны целесообразно осуществлять с помощью насосных циркуляционных установок, путем перемешивания нижних, более теплых, слоев воды с поверхностными. В водоемах с большой проточностью поддерживать майну рекомендуется при помощи резервных земснарядов или насосов путем взламывания льда мощными струями воды.

При прочих равных условиях замкнутые водоемы имеют то преимущество, что по мере сработки воды в них происходит приток грунтовых вод, имеющих более высокую температуру, чем вода в водоеме.

§ 5. Вскрышу карьера следует осуществлять до наступления отрицательных температур воздуха.

Поверхностный слой вскрытого карьера следует предохранить от глубокого промерзания путем рыхления грунта на глубину 20—30 см, снегозадержания или ледовоздушного отепления[1].

§ 6. В процессе разработки карьера при отрицательной температуре, неизбежно образующаяся мерзлая корка подлежит удалению с помощью мелких взрывов или оттаивания одним из возможных способов: электрообогревом, пропариванием и др.

§ 7. Из всех возможных схем забоя в зимних условиях следует отдать предпочтение надводным забоям большой высоты и подводным забоям с большой глубиной выемки и малой глубиной воды над бровкой.

При этом разработку забоя целесообразно вести на большую глубину, так как в этом случае захватываются грунты с более высокой температурой и требуется меньшее количество передвижек земснаряда.

Разработку забоя следует вести также с учетом необходимости отвода земснаряда перед весенним паводком в безопасное место отстоя.

---

[1] Временная инструкция по производству работ методом гидромеханизации в зимнее время (И 3-55), § 25, Госэнергоиздат, 1955.

Примечание. В отдельных случаях может оказаться целесообразным повышение высоты надводного забоя в зимнее время путем намыва резерва в летнее время.

§ 8. Разработка грунта гидромониторами для транспортирования его землесосами при отрицательной температуре воздуха может осуществляться при особом обосновании с учетом следующих рекомендаций:

1) для размыва грунта целесообразно применять напор на 60—80% больший, чем в летних условиях;

2) размыв забоя целесообразно производить с более близких расстояний, избегая рассеивания струи;

3) зумпф землесосной установки целесообразно располагать ближе к забою;

4) ширина потока гидромассы к зумпфу должна быть возможно меньшей.

Обогрев землесосных снарядов, насосных станций и землесосных установок

§ 9. Утепление плавающих землесосных снарядов, перекачивающих и насосных станций, а также сухопутных передвижных землесосных установок производится путем обивки стен теплоизоляционным материалом, полного остекления оконных проемов, более плотной подгонки дверей и т. п.

Все трубопроводы, находящиеся вне корпуса, и надстройки земснаряда и других установок утепляют соответствующим слоем теплоизоляционного материала.

§ 10. Поддержание устойчивой положительной температуры внутри помещений и обогрев механизмов и водных коммуникаций в названных (§ 9 настоящего раздела) установках осуществляются путем устройства центрального отопления, отопительных печей и установки электропечей.

§ 11. До эксплуатации земснарядов, насосных станций и землесосных установок в зимних условиях необходимо устранить неплотности в соединениях труб, задвижках, клапанах и других водопроводящих элементах и обеспечить возможность спуска воды из всех водных коммуникаций, а также возможность их отогрева в случае замерзания.

§ 12. В процессе эксплуатации земснарядов, насосных станций и землесосных установок при отрицательной температуре воздуха необходимо строго соблюдать правила их эксплуатации в этих условиях в отношении недопущения замерзания воды в трубах, смазки деталей механизмов и т. п.

В случае остановки работы по намыву на продолжительное время необходимо:

а) произвести промывку трубопроводов чистой водой;

б) спустить воду из трубопроводов, землесоса, насосов и т. п. (кроме насосов, работающих на поддержание незамерзающей майны).

Поддержание майны

§ 13. Для свободного рабочего перемещения землесосного снаряда в зимних условиях вокруг него и четырех-пяти первых плавающих звеньев трубопровода в начальный период создают и в последующем поддерживают майну (акваторию). Ширину майны рекомендуется принимать не менее пятикратной ширины корпуса земснаряда и плавающих понтонов трубопровода.

§ 14. Первоначально майна создается путем околки, распиловки или взламывания льда и удаления его за пределы майны. Все работы по созданию майны должны быть максимально механизированы. С этой целью применяют ледорезные машины, грузоподъемные краны, автосамосвалы и другие механизмы и приспособления [1].

Образование майны при небольшой толщине льда возможно также путем взламывания льда мощной струей воды от земснарядов или насосов.

Примечания. 1. При создании и поддержании майны с применением названных механизмов следует произвести поверочные расчеты на прочность льда при наиболее невыгодном сочетании нагрузок.

2. В районах, где по климатическим условиям образуется большая толщина льда, с целью уменьшения последней может оказаться целесообразным отепление льда с помощью слоя торфяной крошки, мха, опилок и т. д.

3. В случае выполнения работ по околке льда вручную рекомендуется раскалывать лед на большие поля и отводить их в свободную от льда часть майны.

§ 15. Поддержание майны целесообразно обеспечивать с помощью следующих насосных установок:

а) циркуляционные установки из низконапорных насосов, забирающих воду из придонных слоев и выпускающих ее через насадки, устанавливаемые на трубопроводе, которым опоясывается корпус снаряда;

б) вертикальные пропеллерные насосы, забирающие воду ниже днища снаряда и выбрасывающие ее через насадки на уровне воды;

в) установки, подающие струи воды от высоконапорных установок или от резервных земснарядов.

Эксплуатация пульпопроводов

§ 16. При отрицательной температуре воздуха с целью предупреждения образований льда в трубопроводах должны быть обеспечены его непрерывная работа и возможность своевременного быстрого опорожнения. Для обеспечения последнего условия трубопроводы следует укладывать с уклоном и в пониженных местах снабдить спускными задвижками.

---

[1] В. Н. Лофицкий и К. И. Филоненко, Технологические рекомендации для производства земляных работ плавучими землесосами в зимних условиях, Госэнергоиздат, 1955.

§ 17. Во избежание образования наледей не допускаются течи в соединениях трубопроводов. В случае образования наледей их следует скалывать и удалять за пределы сооружения.

Неиспользуемые трубопроводы рекомендуется отключать от действующей магистрали путем выемки одного звена такого трубопровода и установки заглушки в месте отключения.

§ 18. Для сохранения тепла в транспортируемой гидромассе магистральные пульпопроводы $d<500$ *мм* целесообразно защищать теплоизоляционным материалом. Наиболее дешевым средством для утепления трубопроводов служит снег, насыпаемый вокруг трубы слоем не менее 0,5—1 *м* или ледяное покрытие, намораживаемое специально для этой цели. Арматуру трубопровода заключают в деревянные короба, наполненные опилками, шлаком, торфом и т. п.

§ 19. Для облегчения работ по поддержанию майны часть звеньев плавучего пульпопровода можно укладывать на брусьях непосредственно на лед, если последний обладает достаточной прочностью. Уложенные таким образом звенья пульпопровода могут скользить по брусьям, следуя за перемещением землесосного снаряда.

Намыв грунта в сооружение

§ 20. Намыв земляных плотин при отрицательной температуре воздуха можно производить как при продолжении работ, начатых в летнее время, так и при возведении новых участков сооружения.

§ 21. С наименьшими осложнениями в зимнее время производится намыв сооружения под воду. В этом случае пульпа сбрасывается из торца пульпопровода в майну, постепенно увеличиваемую по мере готовности предыдущих участков сооружения. Во избежание замерзания грунта желательно не допускать выхода намываемого сооружения из воды. Намыв осуществляется с эстакад или, при достаточно прочном льде, из пульпопроводов на подкладках, укладываемых непосредственно на лед.

§ 22. С целью приближения условий надводного намыва к условиям намыва под воду можно производить более высокое обвалование карт намыва и последующее их затопление, после чего намыв грунта в сооружение осуществляется по схеме подводного намыва.

§ 23. При надводном намыве, если естественное основание намываемой плотины или поверхность ранее намытой части плотины промерзли на глубину более чем 0,25 *м*, на отдельных участках необходимо производить вскрытие мерзлой корки до талого грунта.

Примечания. 1. Вскрытие мерзлой корки можно осуществлять в виде траншей шириной 1,2—1,5 *м*, расположенных параллельно оси сооружения, на расстоянии 8—10 *м* друг от друга, или воронок, размером в плане 1×1 *м*, расположенных по углам сетки 5×5 *м*. Вскрытие мерзлой корки производят путем выкалывания мерзлого грунта, или при помощи взрывов, или, наконец, оттаиванием тем или иным способом.

2. Целесообразно для зимних условий выбирать участки намыва с большей фильтрационной способностью грунта основания.

§ 24. Качественный намыв грунта в напорное сооружение при отрицательной температуре воздуха обеспечивается непрерывностью ведения работ по намыву грунта, для чего целесообразно:

а) осуществлять намыв грунта с возможно высокой интенсивностью;

б) производить заблаговременное обвалование участков намыва и при том только из талого грунта;

в) в случае необходимости, оправданной технико-экономическим расчетом, добавлять горячую воду в пульпу, подаваемую на сооружение.

§ 25. Длину отдельных участков намыва назначают: при намыве из выпусков — с учетом необходимости одновременной работы всех выпусков, обслуживаемых данным земснарядом, а при намыве из торца — с учетом скорости перемещения фронта намыва; при этом не допускается промерзание намытого грунта более чем на 0,2 *м**.

§ 26. При намыве грунта из выпусков рекомендуется:

а) подавать гидромассу равномерно по всему периметру карты, без длительных перерывов, с максимально возможной, но допустимой интенсивностью;

б) выпускать гидромассу непосредственно к обвалованию по лоткам, устанавливаемым на инвентарных опорах;

в) укладывать трубопроводы на эстакады небольшой высоты (не превышающей 3 *м*).

§ 27. Замыв льда и снега при намыве грунта в сооружение не допускается.

§ 28. В зимних условиях нужно особо следить за тем, чтобы намытый грунт плотно примыкал к мерзлому грунту у поверхности откоса; проверку следует производить штыкованием лопатой.

§ 29. При намыве грунта двусторонним методом с прудком допускается образование на поверхности последнего ледяного покрова. Но вдоль уреза прудка, во избежание замыва льда, надлежит поддерживать небольшую майну путем маневрирования шандорами на сбросных колодцах.

При остановке намыва следует принимать меры к недопущению примерзания льда к сбросным колодцам и внутренним откосам намыва. При длительных перерывах намыва воду из прудка необходимо спустить и лед удалить за пределы сооружения.

Во избежание аварий водосбросных сооружений должны быть приняты меры к недопущению попадания в них больших кусков льда.

---

* Для термических расчетов при производстве работ способом гидромеханизации в зимнее время могут быть использованы примеры, приведенные во «Временной инструкции по производству работ методом гидромеханизации в зимнее время» (И 3-55), Госэнергоиздат, 1955.

§ 30. Канавы, отводящие воду от водосбросных устройств, не должны быть загромождены какими-либо предметами или льдом. Если образующийся в канаве лед стесняет ее живое сечение, то он подлежит околке и удалению для беспрепятственного пропуска сбрасываемых вод.

§ 31. Если намытое в зимних условиях сооружение должно быть весной поставлено под напор, следует проверить путем бурения и шурфования наличие в нем мерзлых прослоек и линз и при наличии таковых принять соответствующие меры по их оттаиванию (например, пропаривание), зависящие от мощности, простирания прослоек и ответственности сооружения.

§ 32. Для успешного ведения работ по намыву грунта в сооружение при установившихся отрицательных температурах воздуха карты намыва должны быть обеспечены хорошей телефонной связью, освещением и утепленным помещением для обогрева рабочих.

§ 33. При отрицательных температурах воздуха контрольные наблюдения за качеством намыва осуществляются особенно тщательно и в полном объеме, как и в летнее время.

Особое внимание уделяется предупреждению попадания льда в намываемое сооружение.

Контрольные наблюдения за состоянием намытого грунта и его оттаиванием (если грунт промерз) осуществляют с помощью буровых скважин и в отдельных случаях путем шурфования.

В зимних условиях в контрольные наблюдения входят также наблюдения за удовлетворительным состоянием (в том числе за льдообразованиями) и работой пульпопроводов и водосбросных сооружений.

§ 34. Для ликвидации возможных аварий при намыве грунта в зимнее время составляют также инструкцию, предусматривающую мероприятия на случай возможных аварий с земснарядами, вспомогательными механизмами и трубопроводами на намываемом сооружении и с сооружениями, предназначенными для отвода осветленной воды.

Раздел 5

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

Цель и состав контрольных наблюдений

§ 1. Основной целью геотехнических контрольных наблюдений при возведении намывных плотин является установление качества намываемого сооружения при его возведении, обеспечение необходимой устойчивости и водоупорности сооружения по проекту, а также составление соответствующей технической документации, которая необходима при сдаче сооружения в эксплуатацию и в процессе осуществления последней. Установление качества соору-

жения при его возведении позволяет своевременно устранить дефекты в сооружении и внести соответствующие изменения в организацию и методы производства работ.

§ 2. При проведении геотехнических контрольных наблюдений оценку качества возводимого сооружения производят на основании выяснения соответствия:

1) намываемого грунта, предусмотренному проектом;

2) геотехнических характеристик намытого в сооружение грунта требованиям, предусматриваемым Техническими условиями на возведение данного сооружения и проектом сооружения.

§ 3. В состав геотехнических контрольных наблюдений при возведении намывных плотин входят:

1) контрольные наблюдения за правильной разработкой грунта в карьере;

2) контрольные наблюдения за качеством грунта, намытого в сооружение, и за состоянием последнего;

3) контрольные наблюдения за техникой намыва.

Примечание. В геотехнические контрольные наблюдения входят также отбор проб с подготовленного основания плотины и контрольные определения характеристик грунтов основания, проводимые с целью обеспечения необходимой документацией комиссии по приемке основания плотины.

§ 4. На основе настоящих Технических условий для каждой плотины (дамбы), возводимой намывным способом, следует составлять инструкцию по ведению контрольных наблюдений за качеством работ с учетом конкретных требований проекта и местных производственных условий.

Организация контрольных наблюдений

§ 5. Геотехнические контрольные наблюдения при возведении намывных плотин организуются технической инспекцией строительства и осуществляются полевой грунтовой лабораторией, оборудованной соответствующими приборами и приспособлениями и укомплектованной необходимым штатом.

В зависимости от объема работ и протяженности их фронта, сроков выполнения и ответственности сооружения организуется или одна полевая геотехническая лаборатория, или центральная лаборатория и подчиняющиеся ей контрольные посты-лаборатории для ведения контрольных наблюдений на отдельных участках сооружения.

§ 6. Полевой (контрольный) пост-лаборатория должен быть оборудован аппаратурой и приспособлениями для определения следующих основных контрольных характеристик грунта:

1) удельного веса;

2) объемного веса (с ненарушенной структурой);

3) влажности;

4) гранулометрического состава;

5) пределов пластичности.

При наличии консистометров в обязанности полевого поста входит также определение консистенции пульпы.

§ 7. Центральная геотехническая лаборатория должна быть оборудована аппаратурой для определения характеристик грунта, как указанных в § 6 настоящего раздела, так и более сложных:

1) коэффициента фильтрации;
2) сопротивления сдвигу;
3) компрессионных свойств и др.

Примечание. В случае невозможности определения в полевой лаборатории двух первых названных характеристик грунта следует предусмотреть возможность определения их в одной из ближайших стационарных грунтовых лабораторий.

§ 8. Штат центральной полевой лаборатории обычно состоит из:

1) руководителя (начальника) лаборатории;
2) старших лаборантов;
3) контролеров-лаборантов;
4) геодезиста (при малом объеме работ — по совместительству).

Руководителем лаборатории рекомендуется назначать инженера-гидротехника — специалиста по геотехническим исследованиям.

В штат каждого контрольного поста-лаборатории входят:

1) начальник поста;
2) старшие лаборанты;
3) контролеры-лаборанты.

Примечание. Если объем работ полевой лаборатории невелик (например, при общем объеме насыпи не более 0,5—0,7 *млн/м*^{3} и укладке грунта, не превышающей 5—6 *тыс. м*^{3}*/сутки*), руководство лабораторией может осуществлять старший техник-специалист по геотехническим исследованиям под общим руководством инженера-гидротехника.

§ 9. Количество контролеров-лаборантов назначается в зависимости от рабочей производительности земснарядов, работающих на данное сооружение (на данный участок сооружения), и однородности намываемого грунта, ориентировочно из расчета 1 лаборант на каждые 2 000—4 000 *м*^{3} намываемого грунта в 1 сутки.

Примечание. Количество старших лаборантов может быть назначено исходя из ориентировочного расчета:

в штате поста-лаборатории — 1 старший лаборант на 2—3 контролера-лаборанта;

в штате центральной лаборатории — 1 старший лаборант на 2 контролера-лаборанта.

§ 10. Для ведения контрольных наблюдений за качеством намытого грунта по всей длине плотины разбивают поперечники и устанавливают деревянные рейки. С помощью реек ведут наблюдения за намывом грунта и устанавливают плановые и высотные координаты отбираемых контрольных проб грунта.

Поперечники располагают на расстоянии 100—200 *м* друг от друга в зависимости от их месторасположения, класса и длины сооружения.

В зависимости от ширины профиля плотины и разнородности намываемого грунта расстояние между рейками принимают от 10 до 25 *м*.

На рейках наносят деления через каждые 10 *см*; фиксируют плановое положение реек и нуль их привязывают к сети высотных отметок на строительстве сооружения. По мере наращивания сооружения производят наращивание реек, а если требуется, и изменение их планового местоположения.

Примечание. Меньшее расстояние между поперечниками принимается на русловых участках плотин и в плотинах малой протяженности.

§ 11. Результирующие данные контрольных наблюдений ежесуточно передают: главному инженеру работ по намыву грунта в сооружение, главному инженеру строительного участка и технической инспекции или главному инженеру строительного управления.

В случае получения неудовлетворительных результатов лабораторных контрольных определений характеристик уложенного грунта, или обнаружения дефектов в работах, или отклонений от инструкции по намыву грунта в сооружение об этом незамедлительно доводят до сведения производителя работ или главного инженера работ по намыву грунта в сооружение, а при более значительных дефектах в работе и в случае задержки исправления замеченных недостатков ставят в известность и техническую инспекцию, и главных инженеров строительного участка и стройуправления.

Контрольные наблюдения за разработкой грунта в карьере

§ 12. Контрольные наблюдения за разработкой грунта в карьере имеют своей целью установить соответствие вскрытых и разрабатываемых грунтов карьера грунтам, предусмотренным проектом, и их пригодность для использования в тело плотины.

Примечание. Для контрольных наблюдений за разработкой грунта в карьере полевая лаборатория должна быть обеспечена соответствующими материалами изысканий и проекта: планом карьера с указанием участков, пригодных для разработки, и расположением разведочных выработок; геологическими профилями пригодных участков с нанесением проектной кровли и подошвы забоя; данными о средневзвешенном гранулометрическом составе грунта по отдельным выработкам и среднем по отдельным участкам карьера и т. п., а также проектом разработки грунта в карьере.

§ 13. В состав контрольных наблюдений за разработкой грунта в карьере (если карьер не находится полностью под водой) входят:

1) наблюдения за плановым положением забоя и размещением его в пределах участков, предусмотренных проектом для разработки грунта и подачи последнего на сооружение;

2) наблюдения за вскрышей карьера и соответствием вскрываемой толщи грунта проектной на данном участке карьера;

3) наблюдения за правильной разработкой грунта в карьере в пределах проектных высотных отметок и за соответствием

(визуально) разностей грунта в забое, предусматриваемым проектом на данном участке карьера.

§ 14. В случае разработки грунта в карьере вне пределов, предусматриваемых проектом (в плановом и высотном отношении), или поступления на сооружение грунта, отличного от проектного, работники лаборатории обязаны поставить об этом в известность дежурного производителя работ по намыву грунта на сооружение, а в случае невыправления работ — главного инженера строительного участка и техническую инспекцию.

Примечание. В случае необходимости центральная полевая лаборатория (контрольный пост) производит также отбор проб грунта, подаваемого на сооружение, и определение его характеристик.

Контрольные наблюдения за технологией намыва и методами производства работ

§ 15. При проведении геотехконтроля в обязанности работников лаборатории входят наблюдения за соответствием технологии намыва и применяемых методов производства работ рекомендуемым проектом организации производства работ по намыву данного сооружения.

§ 16. В контрольные наблюдения за технологией намыва входят наблюдения за правильным распределением стекающей по карте намыва пульпы: по возможности она должна стекать без образования сосредоточенных потоков, промоин и застойных зон С помощью установленных реек производят также наблюдения за уклоном намываемого внутреннего откоса и интенсивностью роста сооружения.

§ 17. Раз в сутки с помощью реек, установленных на поперечниках намываемого сооружения (см. § 10 настоящего раздела), следует производить наблюдения за расположением и шириной прудка-отстойника и за их соответствием проекту организации производства работ при возведении данного сооружения. Одновременно производят наблюдения за глубиной воды в прудке-отстойнике.

Примечание. В случае необходимости с помощью поплавков могут быть замерены скорости течения воды в прудке-отстойнике, а с помощью мерных реек на водосбросных колодцах — расход осветленной воды, сбрасываемой из отстойника.

§ 18. С целью максимального использования производственной мощности земснаряда, а также совершенствования технологии намыва рекомендуется производить наблюдения за консистенцией подаваемой пульпы с помощью консистометра с самописцем.

Примечание. В настоящее время в практике плотиностроения внедряются консистометры двух типов: основанные на измерении ослабления интенсивности гамма-лучей, «просвечивающих» трубопровод с водогрунтовой смесью, и основанные на измерении объемного веса гидросмеси — так называемого понтонного типа.

§ 19. При возведении плотин с ядром о гранулометрическом составе подаваемой гидромассы можно судить по местоположению

земснаряда в карьере в это время и по материалам разведочного бурения, которые характеризуют участок местоположения земснаряда, а о составе грунта в надводной части забоя, кроме того, можно судить на основании взятия проб и лабораторного определения гранулометрического состава грунта.

Примечание. Для связных грунтов следует также учитывать возможность их агрегатного состояния при транспортировании пульпы и отложении в теле плотины.

§ 20. Расход осветленной воды, сбрасываемой из сооружения, определяется при сливе в водосбросный колодец (по напору над порогом и ширине водослива). Для установления гранулометрического состава твердой составляющей осветленной воды отбираются пробы на сбросе.

§ 21. Все наблюдения за технологией намыва и методами производства работ следует фиксировать в соответствующих журналах, форма которых должна быть разработана при составлении инструкции на производство работ по намыву данного сооружения.

Контрольные наблюдения за качеством намытого грунта и за состоянием сооружения

§ 22. Контрольные наблюдения за качеством намытого грунта разделяются на два вида: на текущий повседневный контроль за качеством намытого грунта и на наблюдения, включающие определение дополнительных характеристик намытого грунта, которые позволяют более полно оценить состояние и свойства грунта в сооружении.

Контрольные наблюдения за состоянием сооружения и грунта в нем могут осуществляться также с помощью аппаратуры, специально для этой цели закладываемой в сооружение.

§ 23. В повседневный контроль входят взятие проб и определение по ним плотности (объемного веса) и гранулометрического состава намытого грунта. Контрольные пробы следует отбирать равномерно по всему сооружению (а также в местах, которые по тем или иным причинам представляют собой интерес), исходя из примерного расчета — одна проба на 300—600 $м^3$ намытого грунта, в зависимости от вида грунта, объема работ и других местных условий.

Примечание. Для более полного освещения качества намытого грунта в отдельных поперечных сечениях сооружения контрольные пробы обычно отбирают на поперечниках с рейками (см. § 10 настоящего раздела), а при необходимости — и на поперечниках промежуточных.

§ 24. Контрольные наблюдения за плотностью намываемого грунта осуществляются путем определения объемного веса и влажности отбираемых проб. При этом контрольные пробы отбираются после снижения горизонта воды в намытом грунте на глубину не менее чем отметка расположения подошвы этих контрольных проб грунта. Методика отбора проб зависит от вида намытого грунта.

Отбор проб для определения объемного веса песчаных грунтов с ненарушенной структурой производится металлическим цилиндром, объем которого известен ($d \approx 100$ *мм* и $h \approx 80$ *мм*).

Объемный вес грунтов, включающих частицы гравия или гальки, определяется путем выкапывания небольших шурфиков (объемом в несколько *дцм*^{3}), взвешивания вынутого грунта и замера объема шурфиков заполнением их материалом (в частности, тарировочным песком), объем которого известен.

Влажность грунта определяется высушиванием проб в термостате до постоянного веса и взвешивания до и после высушивания.

Примечания. 1. При взятии металлическими цилиндрами проб песчаного грунта с малой влажностью (менее 5%) возможно разрыхление плотно уложенного грунта, а при влажности более 15% — наоборот, переуплотнение грунта, намытого с средней и нижесредней плотностью. Поэтому во избежание значительных погрешностей рекомендуется для установления плотности намытого песка отбирать пробы цилиндрами при влажности грунта 5—15%.

2. В случае, если исследуемый грунт расположен под водой или, если он находится в разжиженном состоянии, то пробы следует брать с помощью грунтоносов, пригодных для этих условий.

§ 25. Контрольные наблюдения за распределением намытого грунта по крупности фракций в поперечном сечении плотины осуществляют путем последующего определения гранулометрического состава проб грунта, взятых для определения объемного веса и влажности. При этом в случае возведения плотины с ядром гранулометрический состав следует определять по всем взятым пробам на объемный вес и влажность (см. § 23 настоящего раздела), а при возведении плотин из однородного грунта (без ядра) анализ гранулометрического состава можно осуществлять только для половины взятых проб грунта.

Примечание. Определение гранулометрического состава проб текущего контроля можно производить с менее подробным подразделением фракций грунта, что следует предусмотреть при составлении инструкции по контрольным наблюдениям за возведением данного сооружения.

§ 26. Дополнительные наблюдения, служащие для более полной оценки качества намытого грунта, включают в себя определение коэффициента фильтрации и сопротивления сдвигу намытого грунта и выполняются, исходя из следующего примерного расчета: одна контрольная проба на 50—100 тыс. *м*^{3} намытого грунта. Определение этих характеристик грунта осуществляют на образцах с ненарушенной структурой в лаборатории или на самом сооружении (в случае трудности взятия проб с ненарушенной структурой для лабораторных исследований).

§ 27. Наблюдения за уплотнением намытого грунта во времени рекомендуется производить с помощью глубинных реперов телескопического типа, фиксирующих осадку намытого грунта, а следовательно, и изменение плотности грунта. Реперы устанавливают в процессе возведения плотины в местах, где наблюдения за изменением плотности грунта представляют наибольший интерес.

Примечания. 1. Количество реперов для наблюдений за изменением плотности намытого грунта во времени можно назначать ориентировочно следу-

ющее: при объеме намываемого сооружения не менее 1 млн. $м^3$ реперы устанавливают в 1—2 створах по 2—3 вертикалям в каждом створе, по 3—4 репера на каждой вертикали.

При объеме работ менее 1 млн. $м^3$ количество реперов для указанной цели может быть уменьшено.

2. Для определения изменения плотности намытого грунта во времени в зонах, где постоянно имеет место полное заполнение пор водой, может быть также использован электроемкостный метод определения влажности и пористости песчано-глинистых грунтов, разработанный в институте ВОДГЕО[1].

§ 28. В течение всего периода намыва грунта в плотину следует вести тщательные визуальные наблюдения за состоянием внешних откосов сооружения с фиксацией в специальном журнале мест выклинивания фильтрационной воды на откосы сооружения. Если в местах выхода фильтрационной воды наблюдаются деформации грунта, то за этими участками устанавливаются особенно тщательные наблюдения путем забивки реперов и систематического их нивелирования. В этом случае о результатах наблюдений следует немедленно ставить в известность: производителя работ по намыву грунта в сооружение, главного инженера строительного участка и техническую инспекцию.

§ 29. В состав контрольных наблюдений входят также наблюдения за достаточной плотностью грунта в дамбах обвалования в части, входящей в профиль сооружения.

§ 30. Взятие контрольных проб намытого грунта и лабораторные определения его характеристик должны сопровождаться записями в соответствующих журналах по форме, разрабатываемой при составлении инструкции по контрольным наблюдениям за качеством работ при возведении данного сооружения. Кроме того, результаты контрольных определений плотности намытого грунта по сооружению в целом и применительно к его отдельным элементам целесообразно представлять графически в виде кривых обеспеченности $n = f(\gamma_c)$, показывающих в процентах суммарное количество контрольных проб n, имеющих плотность γ_c ниже (или выше) того или иного ее значения (см. приложение VIII).

---

[1] Указания по применению электроемкостного метода определения влажности и пористости рыхлых песчано-глинистых грунтов, ВНИИ ВОДГЕО, 1954.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН СССР[1]

Наименование сооружения и год постройки	Река	Грунты основания (геология основания)	Сейсмичность района	Максимальная высота плотины в *м*	Ширина по гребню в *м*	Уклон откосов		Объем намытого грунта в млн. *м*³	Наименование грунта		Примечание
						верхового	низового		верхового	низового	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Иваньковская плотина, 1936 г.	Волга	Разнозернистый песок, прикрывающий моренный суглинок	—	24	—	1:3 1:3,5 1:4	1:2 1:4 1:1,5 (каменная призма)	0,5	Разнозернистый песок		В центральной части плотины—деревянная диафрагма, в основании плотины—металлический шпунт
Сестринские дамбы, 1936 г.	Сестра	Моренный суглинок	—	21	—	1:2,5 1:4	1:2 1:2,5	0,85	Мелкий пылеватый песок	Средний и мелкий песок	
Угличская плотина, 1939—1941 гг.	Волга	То же	—	26	—	1:2,5 1:3,5 1:4	1:3 1:1,5 (каменная призма)	0,9	Разнозернистый песок		В центральной части плотины—металлическая диафрагма (из шпунта и листа)

[1] Таблица заимствована из технического отчета по работе „Участие в разработке нормативных документов МЭС, составленных Гидроэнергопроектом и Гидропроектом совместно с ВНИИГ", 1956.

Продолжение прил. I

Наименование сооружения и год постройки	Река	Грунты основания (геология основания)	Сейсмичность района	Максимальная высота плотины в *м*	Ширина по гребню в *м*	Уклон откосов		Объем намытого грунта в млн *м*³	Наименование грунта		Примечание
						верхового	низового		верхового	низового	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Шекснинская дамба № 46, 1938—1945 гг.	Шексна	Разнозернистый песок, супесь, суглинок	—	17	—	1:2 1:3 1:15	1:2 1:3	2,2	Супесь с прослойками мелкого песка	Мелкий песок	
Шекснинская плотина № 5, 1939—1945 гг.	То же	Разнозернистый песок, прикрывающий мергелистые глины	—	35	—	1:2,5 1:3 1:12	1:2,5 1:1,5 (каменная призма)	1,8	Средний и мелкий песок		
Переборская плотина № 3, 1939—1941 гг.	Волга	То же	—	27	—	1:2,5 1:3,5 1:4	1:2 1:3,5 1:1,75 (каменная призма)	1,7	То же		В центральной части плотины—сборная железобетонная диафрагма, в основании плотины—металлический шпунт
Цимлянская плотина (русловая), 1949—1952 гг.	Дон	Мелкий песок, прикрывающий мергелистые глины	—	34	—	1:3,5 1:5	1:2,5 1:4 1:6 1:2,5 (каменная призма)	27	Средний, мелкий и пылеватый песок		

Продолжение прил. 1

Наименование сооружения и год постройки	Река	Грунты основания (геология основания)	Сейсмичность района	Максимальная высота плотины в *м*	Ширина по гребню в *м*	Уклон откосов		Объем намытого грунта в млн. *м*³	Наименование грунта		Примечание
						верхового	низового		верхового	низового	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Камская плотина (русловая), 1953—1955 гг.	Кама	Разнозернистый песок, прикрывающий ваппы	—	30	—	1:2,5 1:4,5 1:12	1:2,5 1:6 1:3	2,6	Мелкий песок	Разнозернистый песок	С верховой стороны в состав тела плотины входит ряжевая перемычка
Камская плотина (пойменная), 1949—1955 гг.	Кама	Супесь с прослоем торфа (2 *м*)	—	14	—	1:2,5 1:4,5 1:12	1:2,5 1:4 1:6 1:3	1,4	То же	Разнозернистый песок с гравием	
Южно-Уральская плотина, 1951—1952 гг.	Увелька	Разнозернистые пески (до 4 *м*), прикрывающие опоковые глины	—	16	—	1:4	1:4	0,5	Суглинок тяжелый	Крупный и средний песок	Песчаная толща в основании пробита металлическим шпунтом, гребень которого входит в основание ядра
Мингечаурская плотина, 1952—1954 гг.	Кура	Глинистые сланцы и песчаники	7 баллов	80	—	1:2,5 1:3 1:3,7 1:4	1:2 1:3,5 1:4 1:5	15,5	Супесь с прослойками суглинка и глины	Гравий и гравелистый песок	

Продолжение прил. I

Наименование сооружения и год постройки	Река	Грунты основания (геология основания)	Сейсмичность района	Максимальная высота плотины в *м*	Ширина по гребню в *м*	Уклон откосов		Объем намытого грунта в млн. *м*³	Наименование грунта		Примечание
						верхового	низового		верхового	низового	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Горьковская плотина № 3 (русловая), 1954—1955 гг.	Волга	Средний и мелкий песок	—	30	—	1:4 1:5	1:3,5 1:4 1:2 (каменная призма)	3	Средний и мелкий песок		
Горьковские плотины № 1 — 2 и 4 (пойменные), 1949—1955 гг.	Волга	То же	—	24	—	1:3 1:12	1:2,5 1:4	7,8	То же		
Каховская плотина (русловая), 1955—1956 гг.	Днепр	Мелкий песок, прикрывающий древние илы	—	30	—	1:5 1:6 1:2 (каменная призма)	1:4 1:7 1:4 1:6	—	Мелкий песок		

Продолжение прил. 1

Наименование сооружения и год постройки	Река	Грунты основания (геология основания)	Сейсмичность района	Максимальная высота плотины в *м*	Ширина по гребню в *м*	Уклон откосов		Объем намытого грунта в млн. *м*³	Наименование грунта		Примечание
						верхового	низового		верхового	низового	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Русловая земляная плотина Волжской ГЭС им. В. И. Ленина. 1954—1956 гг.	Волга	Средний и мелкий песок, прикрывающие известняки	—	48	—	1:4 1:6 1:30 1:5 1:2,5 (каменная призма)	1:3 1:9 1:3,5 1:15 1:3 (каменная призма)	70	Мелкий песок		
Кайрак-Кумская плотина (русловая), 1953—1956 гг.	Сыр-Дарья	Мелкие третичные пески	8 баллов	30	—	1:4 1:5 1:2 (гравийная призма)	1:4 1:1,5 (каменная призма)	2,7	Мелкий песок		
Дубоссарская плотина, 1954—1955 гг.	Днестр	Мелкий песок, прикрывающий гравелистый песок	6 баллов	21	—	1:3 1:3,5	1:2,5 1:3	0,4	Разнозернистый песок с гравием	Гравий и гравелистый песок	

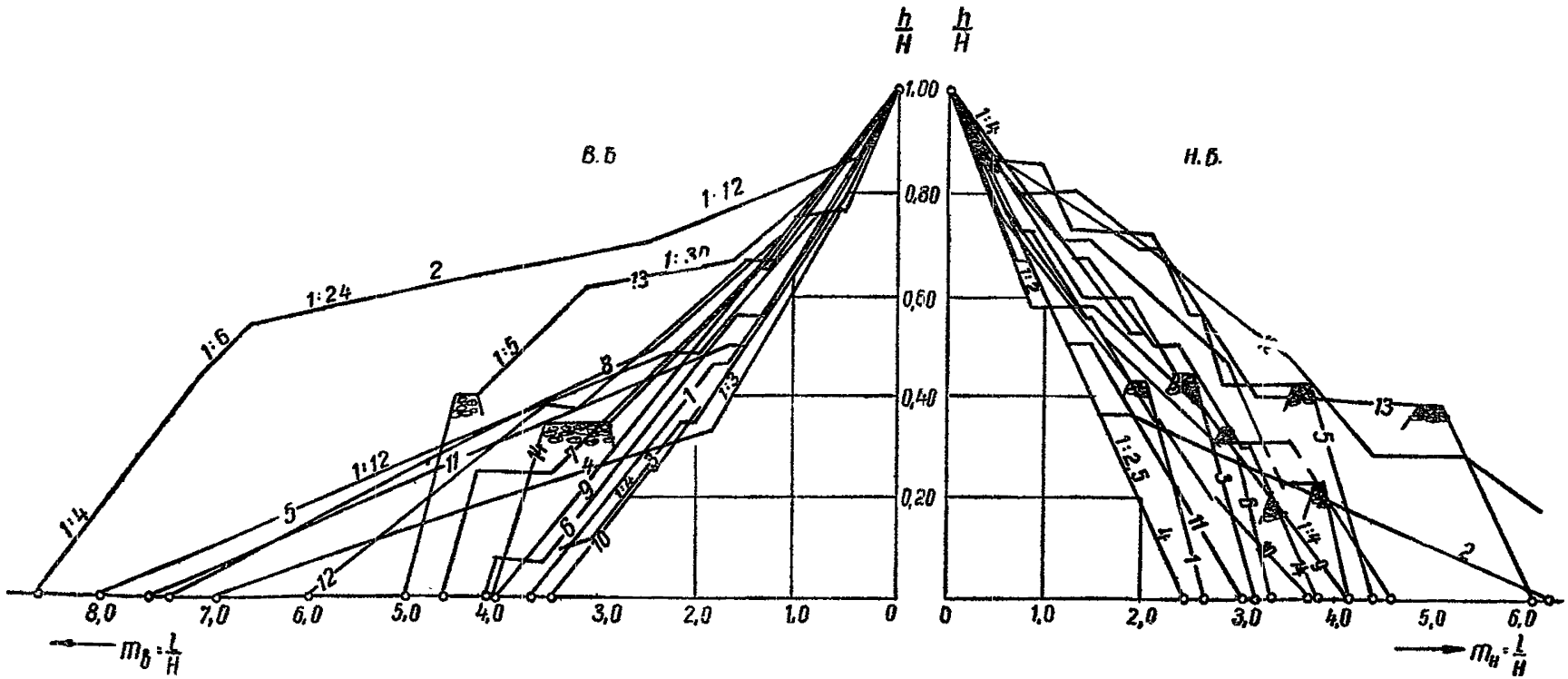


Рис. 1-1. Совмещенные профили откосов намывных плотин СССР, построенные в безразмерных координатах $\frac{h}{H}$ и $\frac{l}{H}$

1 — Иваньковская плотина; *2* — Горьковская плотина № 5; *3* — Угличская плотина; *4* — Шекснинская дамба № 46; *5* — Шекснинская плотина № 5; *6* — Переборская плотина № 3; *7* — Цимлянская плотина; *8* — Камская плотина; *9* — Южно-Уральская плотина; *10* — Мингечаурская плотина; *11* — Горьковская плотина (пойменная); *12* — Каховская плотина; *13* — плотина Волжской ГЭС им. В. И. Ленина; *14* — Кайрак-Кумская плотина (*h* — высота участка откоса; *l* — заложение участка откоса; *H* — полная высота плотины)

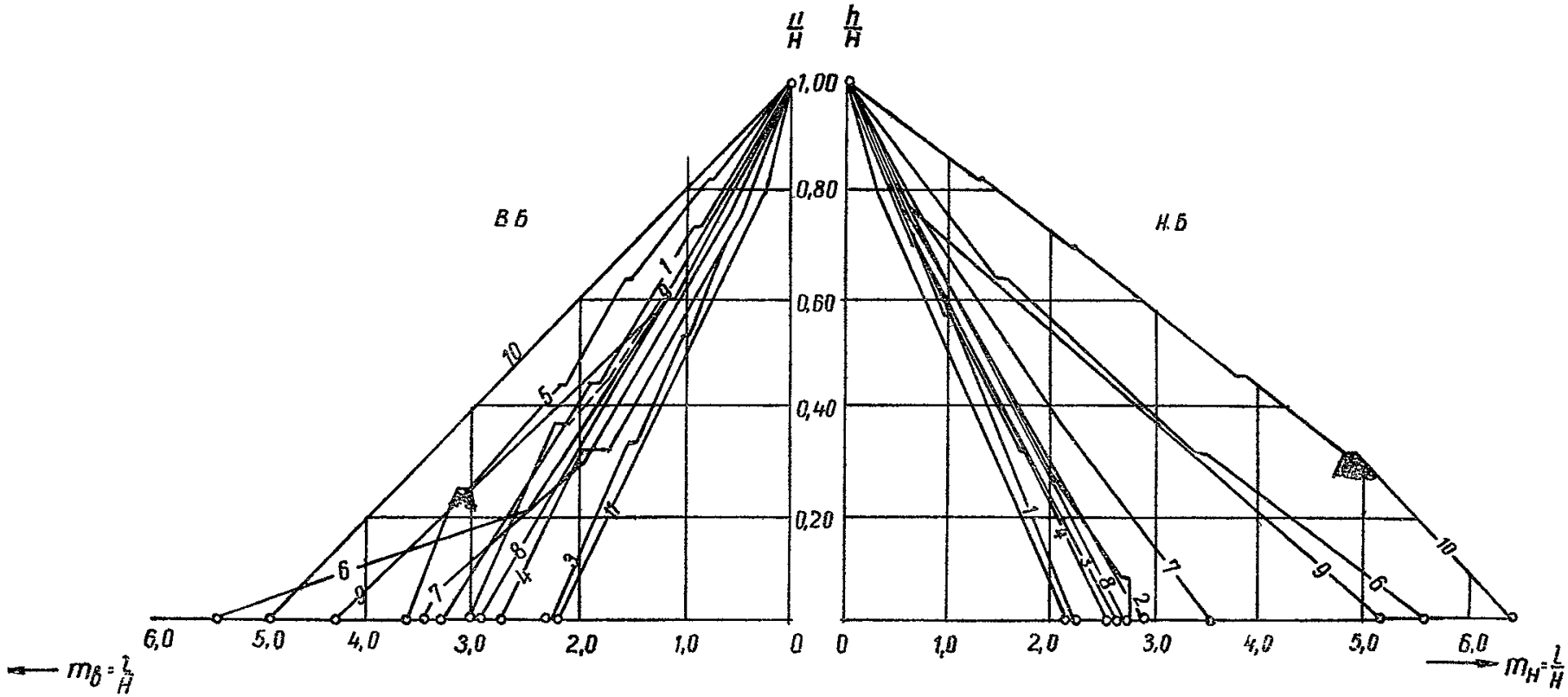


Рис. I-2. Совмещенные профили откосов зарубежных намывных плотин, построенные в тех же безразмерных координатах

1 — плотина Александер, 1932 г.; *2* — плотина Коббл-Маунтен, 1932 г.; *3* — плотина Эль-Кэптен, 1935 г.; *4* — плотина Квеббин, 1937 г.; *5* — плотина Форт-Пек, 1940 г.; *6* — плотина Сардис, 1940 г.; *7* — плотина Кингсли, 1940 г.; *8* — плотина Нейтвил, 1941 г.; *9* — плотина Санти-Купер, 1941 г.; *10* — плотина Никольз, 1942 г.; *11* — плотина Хэсс, 1947 г.

КОНСТРУКЦИИ ГИБКИХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ДИАФРАГМ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

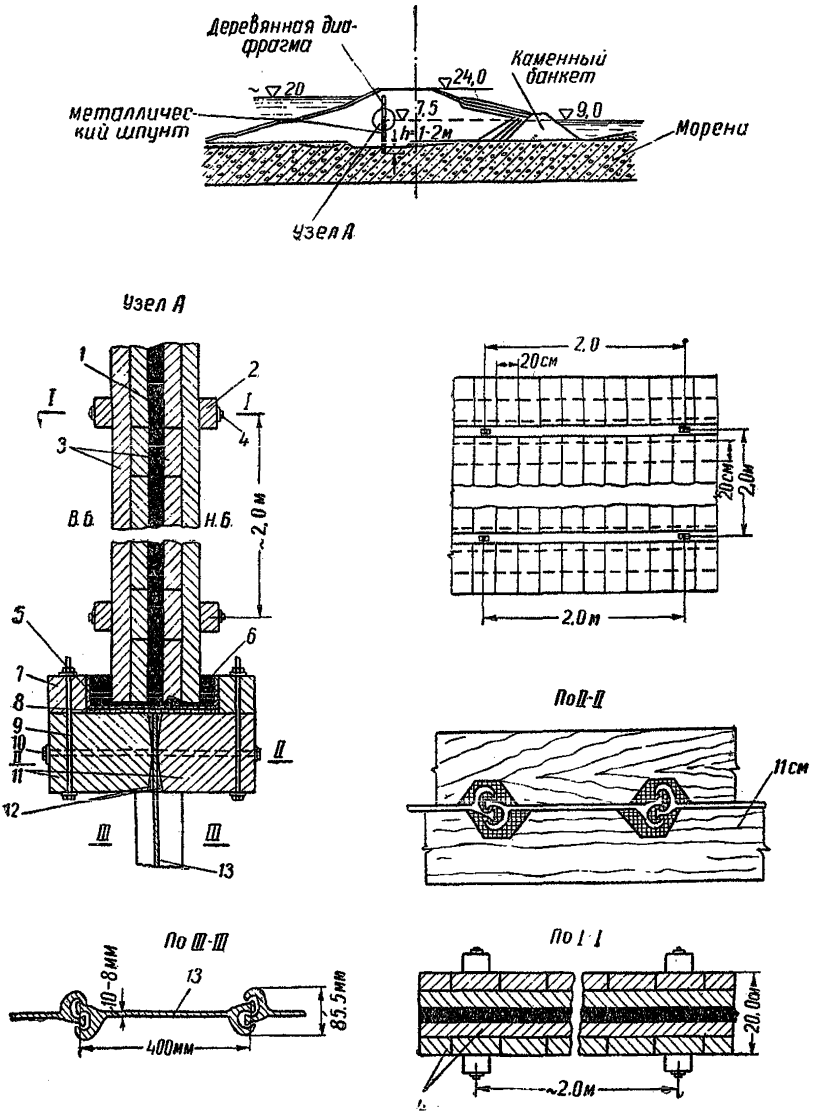


Рис. II-1. Поперечный разрез плотины с противофильтрационной комбинированной гибкой диафрагмой

1 — два слоя битумного мата толщиной 2 *см*; *2* — горизонтальные схватки 8 × 20 *см*; *3* — доски 4 × 20 *см*, просмоленные с обеих сторон; *4* — болт 24 × 450 *мм*; *5* — просмоленный войлок; *6* — битумная смесь; *7* — брус 10 × 10 *см*; *8* — битумный мат; *9* — болт; *d* = 15 *мм*; *10* — болт, *d* = 25 *мм*; *11* — брус 18 × 18 *см*; *12* — просмоленная пакля; *13* — плоский металлический шпунт

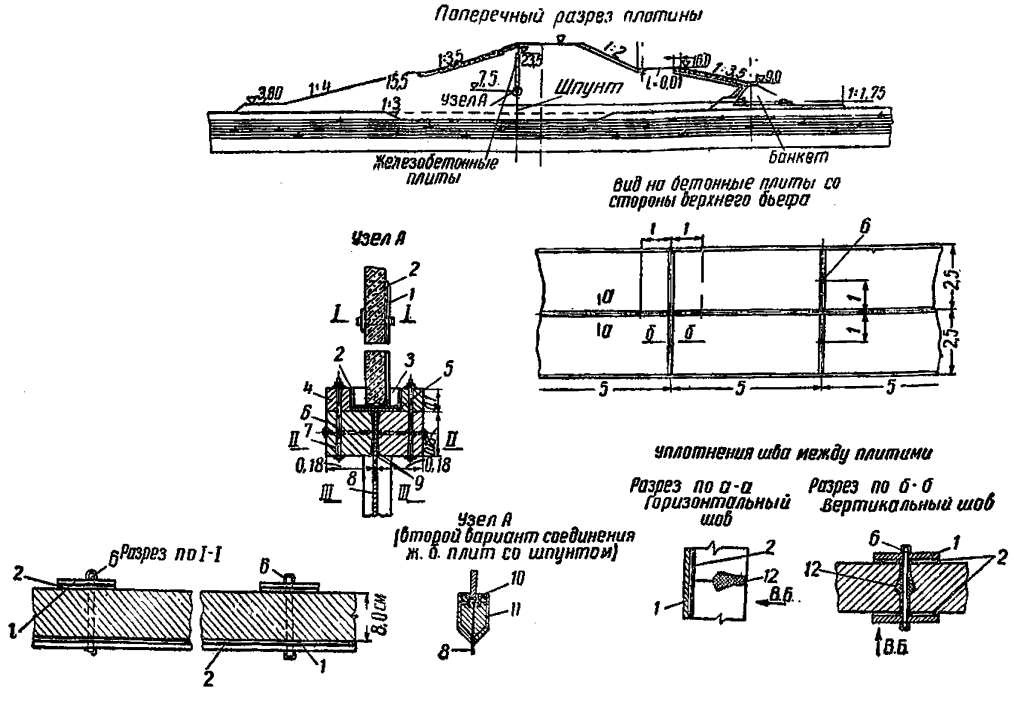


Рис. II-2. Поперечный разрез плотины с противофильтрационной комбинированной гибкой диафрагмой

1 — полосовая сталь; *2* — просмоленный войлок; *3* — битумная смесь; *4* — брус 10 × 10 *м*; *5* — битум; *6* — болт; *7* — брус 18 × 18 *м*; *8* — плоский металлический шпунт; *9* — набивка, просмоленная паклей; 10 — стержень (пропускается через одну шпунтину); *11* — уплотнение из пакли, пропитанной битумом; *12*—просмоленная пакля или войлок (разрез II—II и III—III см. рис. II-1)

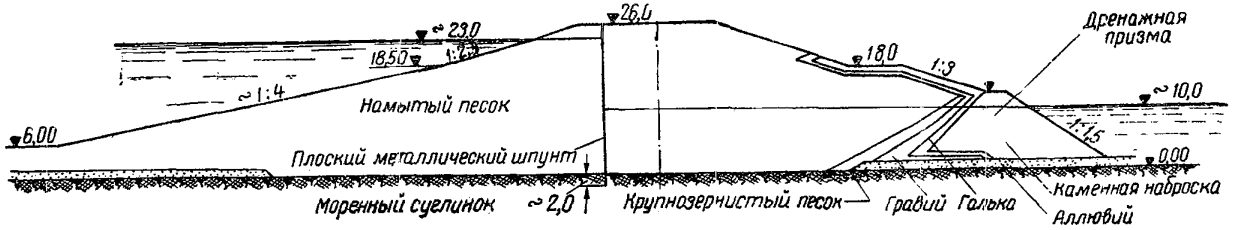


Рис. II-3. Поперечный разрез плотины с противофильтрационной гибкой диафрагмой

РАСЧЕТ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ВЕРХОВЫХ ОТКОСОВ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

Определение нагрузок, влияющих на устойчивость и прочность защитных покрытий

Нагрузки от ветровой волны, действующие на покрытие, могут использоваться для оценки его прочности или устойчивости.

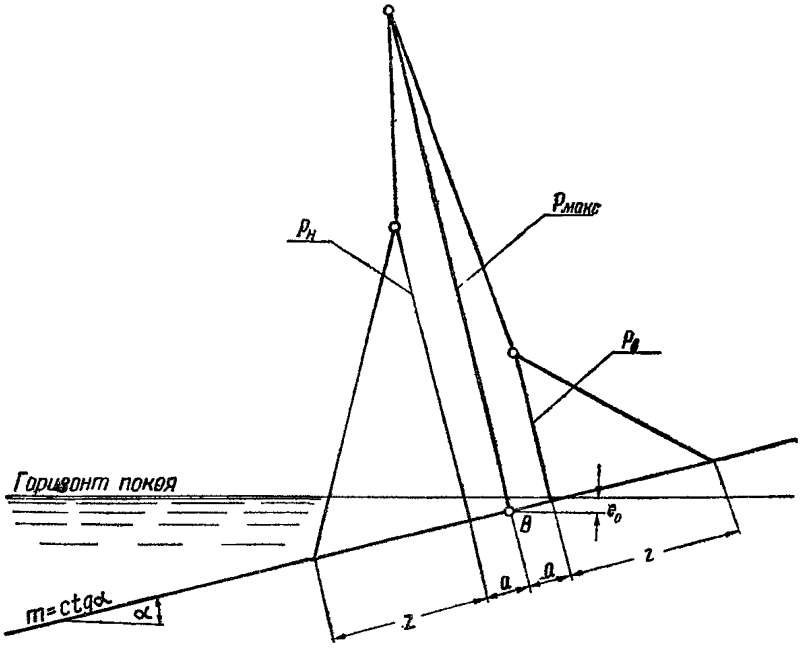


Рис. III-1. Эпюра избыточного максимального волнового давления на откос в момент удара волны

При расчете покрытий на прочность от воздействия волнового давления, возникающего при разрушении ветровой волны непосредственно на откосе, следует учитывать эпюру максимального волнового давления.

Максимальную величину местного волнового давления $P_{макс}$ можно определять по различным формулам.

Рекомендуется определять $P_{макс}$ по формуле П. А. Шанкина (ЦНИИЭВТ) и формуле А. В. Кульчицкого.

Распределение волнового давления по откосу рекомендуется производить, пользуясь схемой П. А. Шанкина (рис. III—1).

Формулу П. А. Шанкина для определения $P_{макс}$ следует применять при заложении откосов $3 \leqslant m \leqslant 5$ (где $m=\operatorname{ctg}\alpha$) и при $10 \leqslant \frac{\lambda}{h} \leqslant 20$ (где λ — длина и h — высота волны).

При заложении откосов $m > 5$ и $m < 3$ рекомендуется пользоваться формулой А. В. Кульчицкого.

Для ответственных сооружений при $h > 2{,}5$ *м* при определении местного максимального волнового давления рекомендуется пользоваться формулой А. В. Кульчицкого и формулой П. А. Шанкина для сопоставления результатов.

Определение величины местного максимального волнового давления $P_{макс}$ $т/м^2$ и распределение волнового давления по откосу по формулам П. А. Шанкина:

$$P_{макс} = 0{,}11\,(8 - m)\sqrt{\lambda}\,h^{*}. \qquad \text{(III-1)}$$

Точка приложения максимального давления на откосе B (рис. III—1) по отношению к горизонту покоя определится из формулы

$$e_0 = 0{,}55\sqrt{\frac{0{,}5\,h\lambda}{m+2}}\,, \qquad \text{(III-2)}$$

Для получения картины распределения волнового давления по откосу по схеме П. А. Шанкина, изображенной на рис. III—1, значения z, a, $P_н$ и $P_в$ следует определять из следующих зависимостей:

$$\left.\begin{aligned} z &= 0{,}16\,\lambda\,; \\ a &= 0{,}2\,z = 0{,}032\,\lambda\,; \\ P_н &= 0{,}26\sqrt{\lambda}\,h\,; \\ P_в &= 0{,}5\,P_н\,. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III-3)}$$

Формулы (III—2) и (III—3) действительны при условии $3 \leqslant m \leqslant 5$ и $10 \leqslant \frac{\lambda}{h} \leqslant 20$.

2. Определение местного максимального волнового давления на откос по формуле А. В. Кульчицкого:

$$P_{макс} = K_1\,\Delta\frac{v_в^2}{2g}\sin^2(\alpha + \beta)\,, \qquad \text{(III-4)}$$

где K_1 — коэффициент, равный 1,8;

g — ускорение силы тяжести в $м/сек^2$;

Δ — объемный вес воды в $т/м^3$ ($\Delta = 1$);

α — угол наклона откоса к горизонту;

$v_в$ — скорость струи воды при ударе ее об откос на глубине H_1 (рис. III—2).

$$v_в = p\sqrt{u^2 + \left(\frac{g\,(H_{разр} - H_1)}{ui}\right)^2}\,,$$

здесь $u = n_1 c + v_0$;

$$H_{разр} = (0{,}2 + 2{,}1i)\,h\left(\frac{\lambda}{h}\right)^{0{,}05};$$

$$H_1 = 0{,}25\,h\left(\frac{\lambda}{h}\right)^{0{,}05}\sqrt{(13{,}7 - 19{,}6\,i)\,i}\,;$$

$$c = \sqrt{gH_{разр}}\,;$$

$$v_0 = \frac{h_{обр}}{2}\sqrt{\frac{\pi g}{0{,}5\lambda}\operatorname{cth}\frac{\pi H_{разр}}{0{,}5\lambda}}\,;$$

$$h_{обр} = (0{,}503 + 0{,}44\,i)\,h\left(\frac{\lambda}{h}\right)^{0{,}05};$$

---

* Указания по проектированию и расчету бетонных покрытий откосов земляных гидротехнических сооружений на воздействие ветровых волн, Министерство речного флота, 1956.

$$p = n\left(0{,}9 - 0{,}005\frac{\lambda}{h}\right);$$

$$n_1 = (1 - 1{,}25\,i)\left(1{,}2 - 0{,}015\,\frac{\lambda}{h}\right),$$

n — коэффициент, берется по графику (рис. III—3);

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{g\,(H_{\text{разр}} - H_1)}{u^2\,i}.$$

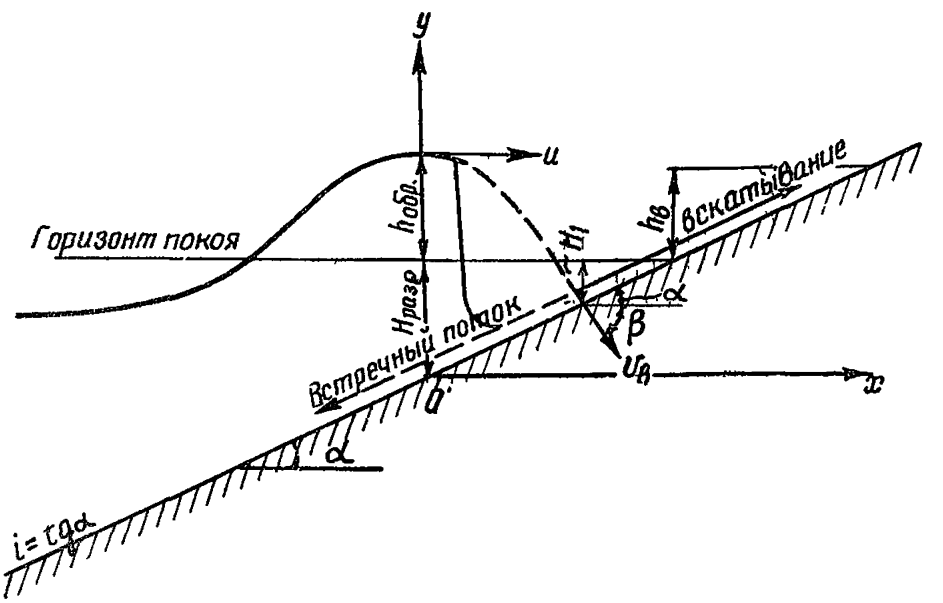


Рис. III-2. Схема разрушения волны на откосе

Примечание. Ординаты эпюры волновой нагрузки (рис. III—1) можно уменьшать на коэффициент 0,8, учитывая временный характер действия волновой нагрузки.

При расчете покрытий на устойчивость следует учитывать максимальное взвешивающее волновое давление $P'_{\text{макс}}$, составляющее обычно 8—12% от максимального волнового давления.

Максимальную величину взвешивающего давления $P'_{\text{макс}}$ и зону его распространения рекомендуется определять по схеме М. И. Бурякова и А. В. Кульчицкого (рис. III—4,*а* и *б*).

При известных элементах волны

$$P'_{\text{макс}} = 0{,}2\,\Delta\,\frac{v_{\text{в}}^2}{2g}\sin^2(\alpha + \beta). \qquad \text{(III-5а)}$$

При известной высоте вскатывания

$$P'_{\text{макс}} = \Delta\,\frac{h_{\text{в}}}{2{,}6\,k\sin\alpha}, \qquad \text{(III-5б)}$$

где k — коэффициент; k=0,72 для покрытий из камня и k=0,83 для покрытий из плит.

Зона, в которой наблюдается воздействие максимального взвешивающего давления (при любых покрытиях, кроме покрытий из железобетонных плит,

см. рис. III—4,*а*) расположена между глубинами z_1 и z_2. Значения z_1 и z_2 определяются по эмпирическим формулам:

$$\left.\begin{aligned} z_1 &= 0{,}9\,(h)\,i; \\ z_2 &= h\,(0{,}37+i)\,\left(1{,}5-10\,\frac{h}{\lambda}\right) \end{aligned}\right\}. \qquad \text{(III-6)}$$

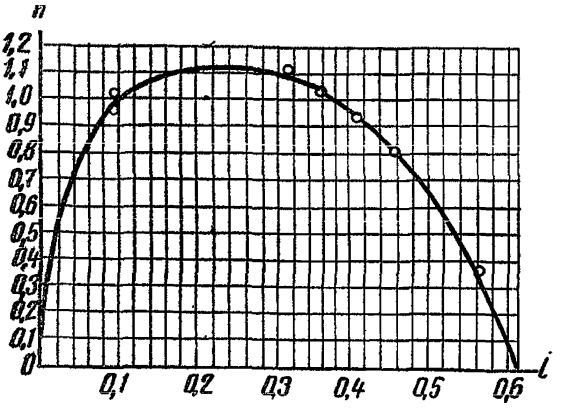


Рис. III-3. График для определения n

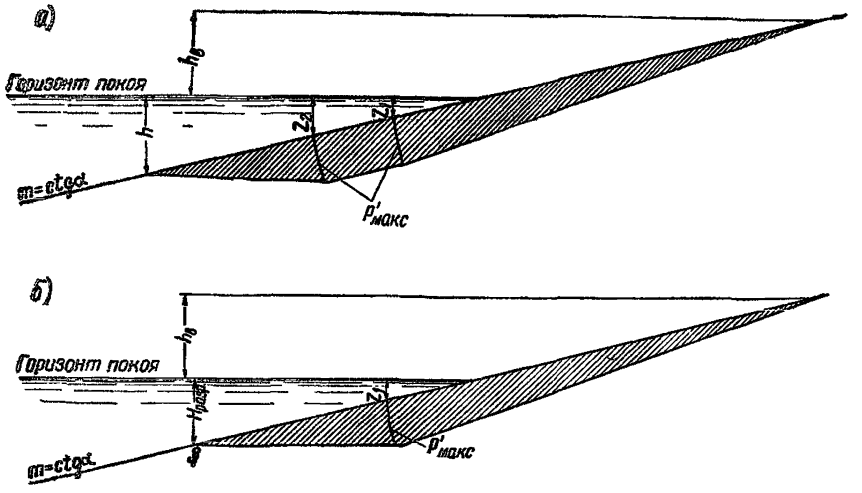


Рис. III-4. Эпюра максимального волнового взвешивающего давления

а — для любых покрытий; *б* — для покрытий из плит

Верхняя нулевая точка взвешивающего давления находится на высоте $h_в$, а нижняя — на глубине h. Высоту вскатывания следует определять по формулам 25 и 26.

При наличии бетонных покрытий максимум взвешивающего давления будет на глубине z_1 (см. рис. III—4,*б*); верхняя нулевая точка — на высоте $h_в$, а нижняя нулевая — на глубине $H_{разр}$, равной

$$H_{разр} = (0{,}2+2{,}1i)\,h\left(\frac{\lambda}{h}\right)^{0{,}05}. \qquad \text{(III-7)}$$

Примечание. Формулы (III—5), (III—6) и (III—7) выведены в условиях сплошного обратного фильтра под покрытиями и открытых швов между плитами.

Расчет отдельных плит железобетонных покрытий на устойчивость

Расчет устойчивости отдельных плит железобетонных покрытий должен быть произведен на опрокидывание (относительно верхнего и нижнего ребра, т. е. точка А и Б) и на всплывание от взвешенных нагрузок, приходящихся на плиту (рис. III—5).

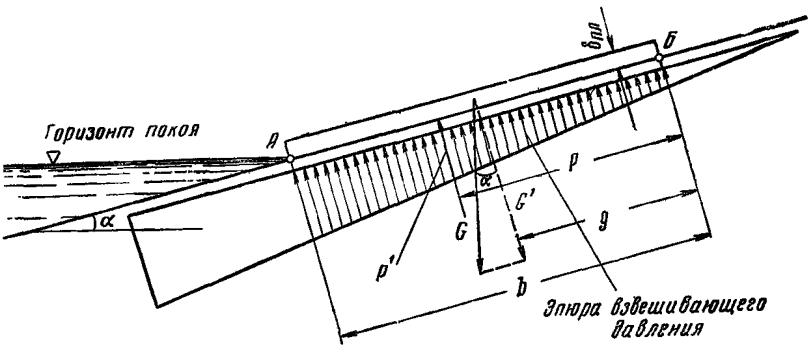


Рис. III-5. Расчетная схема для определения устойчивости бетонных плит

$$G = b\delta_{пл}\,\gamma_{пл};\quad G^1 = G\cos\alpha;\quad \sum M_Б = P^1p - G^1q = 0$$

Толщина плиты из условий опрокидывания должна быть определена по формуле

$$\delta_{пл} = \frac{P'_c pK}{\gamma_{пл}\, bg\cos\alpha}, \qquad \text{(III-8)}$$

а из условий всплывания — по формуле

$$\delta_{пл} = \frac{P'_c K}{b\,\gamma_{пл}\cos\alpha}, \qquad \text{(III-9)}$$

где P'_c — суммарная взвешивающая нагрузка, приходящаяся на плиту;

K — коэффициент запаса; $K = 1{,}1 \div 1{,}2$;

b — размер плиты по откосу;

p и g — плечи приложения сил (рис. III—5).

Если на участке возможного возникновения взвешивающего давления плиты имеют постоянную толщину, то их необходимая толщина из условия устойчивости может быть определена по формуле П. А. Шанкина, которая рекомендуется для плит сравнительно больших размеров (15×15; 10×10; 5×5 *м* и т. п.),

$$\delta = 0{,}108\,h\sqrt{\frac{\Delta}{\gamma_{пл}-\Delta}\cdot\frac{\lambda}{mb}}, \qquad \text{(III-10)}$$

где b — размер плиты по откосу;

h и λ — высота и длина волны в *м*;

$$m = \operatorname{ctg}\alpha;$$

$\gamma_{пл}$ — объемный вес плиты;

Δ — объемный вес воды.

Формула (III—10) справедлива при $2 \leqslant m \leqslant 5$; $10 \leqslant \frac{\lambda}{h} \leqslant 20$ и $1 \leqslant \frac{b}{h} \leqslant 10$.

Формула (III—10) обеспечивает следующие коэффициенты запаса:

а) для случая открытых швов между плитами в пределах всего откоса— 1,45;

б) для случая открытых швов в верхней части плит и закрытых в нижних частях плит — 1,1.

Формула (III—10) выведена при наличии сплошного фильтра под плитами.

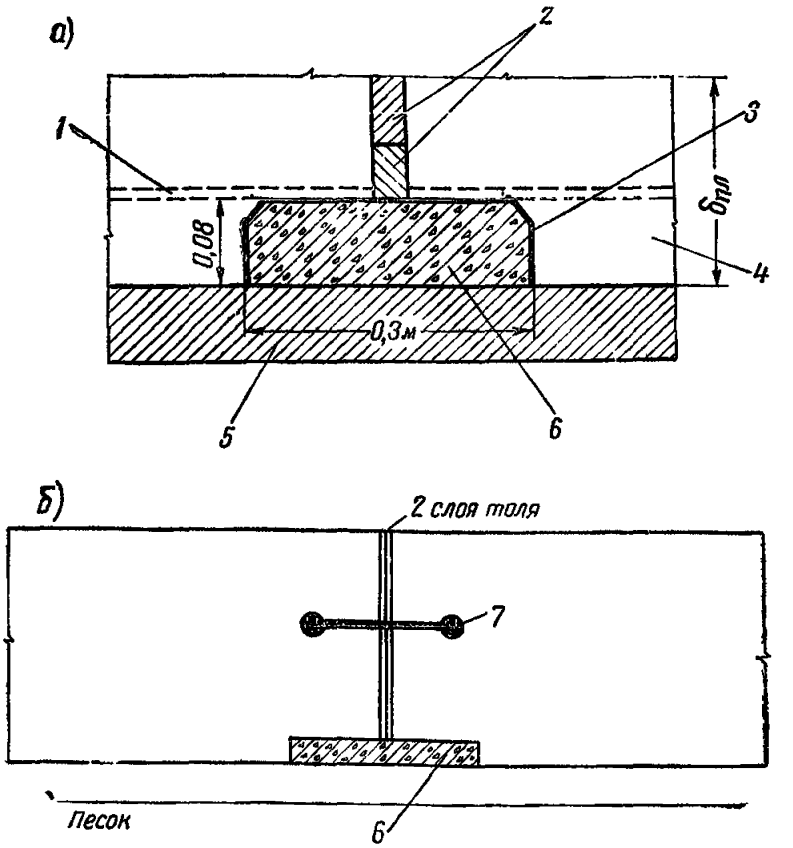


Рис. III-6. Детали закрытого шва между плитами

а — жесткое уплотнение; *б* — гибкое уплотнение; *1* — арматура нижней сетки; *2* — просмоленные доски, $\delta = 0{,}03$ *м*; *3* — битумные маты толщиной 1 *см*; *4* — железобетонная плита; *5* — бетонная подготовка; *6* — железобетонная балка, $\delta = 0{,}08$ *м*; *7* — резиновое уплотнение

Толщина плит небольших размеров (2×2; 1,5×1,5 *м* и т. п.) из условия их устойчивости при наличии под плитами сплошного фильтрующего слоя и открытых швов может быть определена по формуле М. И. Лупинского[1]:

$$\delta_{пл} = K \frac{0{,}11\,h}{(\gamma_{пл} - 1)\sqrt{b}} \frac{\sqrt{1+m^2}}{m}, \qquad \text{(III-11)}$$

где K — коэффициент запаса устойчивости, в зависимости от класса сооружения равный 1,5—1,25.

[1] М. И. Лупинский, Крепление верхнего откоса земляных плотин из плит, «Гидротехника и мелиорация» № 10, 1953.

Примечание. В верхней части крепления при наличии больших плит желательно иметь закрытые швы (рис. III—6). В нижней части на некотором участке следует иметь открытые швы для уменьшения взвешивающего давления.

РАСЧЕТ КАМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ОТКОСОВ

Для каменной наброски расчетный вес камня (в тоннах) рекомендуется определять по формуле П. А. Шанкина[1]:

$$Q = \frac{7{,}2\,\gamma_к\,\psi_н\,(h)^3}{(\gamma_к - 1)^3}\,, \qquad \text{(III-12)}$$

где $\gamma_к$ — удельный вес камня;

$$\psi_н = \left[\frac{\sqrt{1+m^2}}{m(m+2)}\right]^3, \quad \psi_н \text{ можно брать по табл. III—1.}$$

Таблица III-1

$m = \operatorname{ctg}\alpha$	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5
$\psi_н$	0,039	0,022	0,014	0,0093	0,0069	0,0049	0,0034

Формула (III—13) справедлива при наличии коротких волн, для длинных волн $\left(\frac{\lambda}{h} > 15\right)$ вместо коэффициента 7,2 следует принимать коэффициент, равный 8,2.

Толщина слоя каменной наброски во всех случаях должна быть не менее двойного расчетного размера камня и ее следует определять по формуле

$$t_{наб} \geqslant 2{,}5\sqrt[3]{\frac{Q}{\gamma_к}}\,. \qquad \text{(III-13)}$$

Вес камня, определяемый по формуле (III—12), соответствует полномерному камню. Допускается применение в наброске неполномерных камней весом q=0,5Q ÷ Q. Количество их должно быть таким, чтобы эта площадь составляла не более 25% общей площади крепления при условии равномерного распределения камней.

Примечание. В тех случаях, когда вес камня, определяемый по формуле (III—12) оказывается чрезмерно большим, для его уменьшения рекомендуется уполаживать откосы. При высоте волн h>2 иногда целесообразнее перейти на крепление бетонными плитами.

Толщина каменного покрытия в виде мостовой определяется по формуле П. А. Шанкина:

$$t_{мост} = 1{,}7\,\frac{\Delta}{\gamma_к - \Delta}\,\frac{\sqrt{1+m^2}}{m(m+2)}\,(h), \qquad \text{(III-14)}$$

где Δ — удельный вес воды в *т/м*³;

[1] Формулы (III—12)—(III—14) помещены в работе «Указания по проектированию и эксплуатации каменных креплений земляных гидротехнических сооружений и судовых каналов», ЦНИИЭВТ, 1955.

$\gamma_к$ — удельный вес камня в $т/м^3$;

$\frac{\sqrt{1+m^2}}{m(m+2)} = \psi_м$ дано в табл. III—2.

Таблица III-2

$m = \operatorname{ctg}\alpha$	1,5	2	2,5	3	3,5	4
$\psi_м$	0,34	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17

Формула (III—15) применяется в случае коротких волн; при длинных волнах $\left(\text{при } \frac{\lambda}{h} > 15\right)$ в эту формулу вместо коэффициента 1,7 следует подставлять коэффициент 1,85.

Толщина мостовой по формуле (III—14) соответствует наибольшему размеру камня, равному расчетной толщине мостовой.

Примечание. Следует отметить, что каменное покрытие в виде мостовой не является индустриальным типом крепления.

Расчет прочности железобетонных плит

Прочность плит проверяют воздействием на них нагрузок, вызванных максимальным волновым давлением в момент обрушения волны в центре плиты согласно схеме (см. рис. III—1).

При расчете плиты на прочность толщина ее должна быть определена из условия устойчивости при заданных плановых размерах плиты.

По максимальному значению изгибающего момента, полученному от воздействия этих нагрузок, определяют сечение рабочей нижней арматуры плиты. Расчет плит в этом случае может быть произведен по методу проф. Горбунова-Посадова[1] как балки, лежащей на упругом основании (плита рассматривается как работающая в условиях плоской деформации, поэтому можно элемент плиты при $b=1$ *м* принимать в виде балки на упругом основании).

Показатель гибкости балки определяется по формуле

$$t = 10\sqrt[4]{\frac{E_0}{E_1}\frac{l^3}{\delta_{пл}^3}}, \qquad \text{(III-15)}$$

где E_0 — модуль упругости основания в $т/м^2$ ($кг/см^2$);

E_1 — модуль упругости балки в $т/м^2$ ($кг/см^2$);

$2l$ — длина балки в *м*;

$\delta_{пл}$ — толщина балки в *м* (линейные размеры обязательно в *м*).

Собственный вес балки не учитывается. Обычно для ходовых размеров балок (полосы) они считаются бесконечно длинными, так как $t>10$.

Для расчета длинной балки (полосы) определяется ее характеристика

$$L = \delta_{пл}\sqrt[3]{\frac{E_1}{6E_0}}\ м.$$

Пример. Если дано E_0=300 $кг/см^2$; E_1=110 000 $кг/см^2$; $2l$=10 *м*; $\delta_{пл}$=35 *см* (марка бетона 150); плановый размер плиты 10×10 *м* (здесь толщина $\delta_{пл}$=35 *см* определена из условий устойчивости плиты), то

[1] М. И. Горбунов-Посадов, Расчет конструкций на упругом основании, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953.

$$t = 10\frac{E_0}{E_1}\frac{l^3}{\delta_{пл}^3} = 10\frac{300\cdot 5^3}{110\,000\cdot 0{,}35^3} = 79 > 10;$$

$$L = \delta_{пл}\sqrt[3]{\frac{E_1}{6E_0}} = 0{,}35\sqrt[3]{\frac{110\,000}{6\cdot 300}} = 1{,}37.$$

Для того, чтобы воспользоваться готовыми таблицами, приведенными в книге Горбунова-Посадова[1], следует распределенную эпюру волнового давления

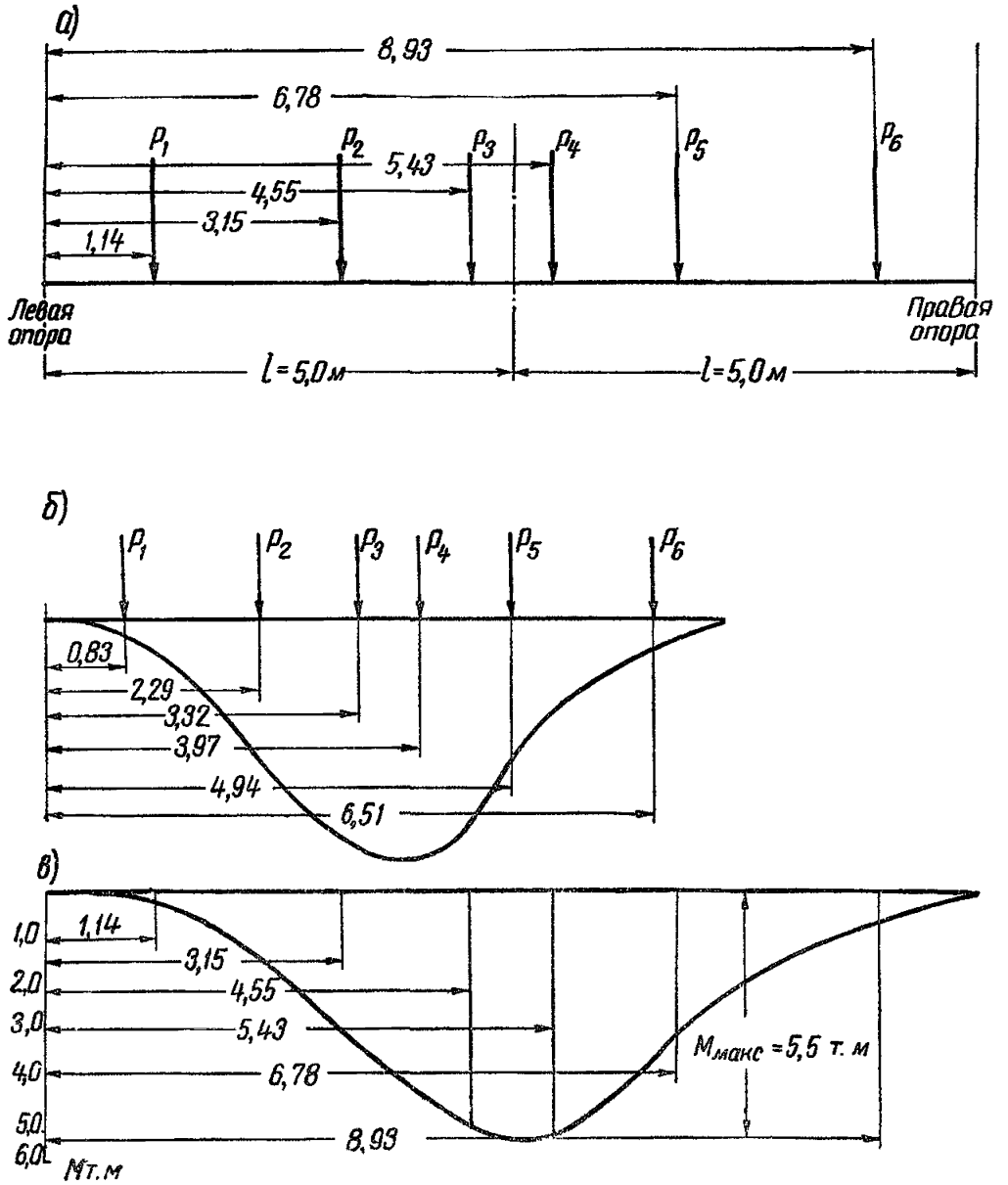


Рис. III-7. Схема для расчета балки (плиты) на упругом основании

а — истинные расстояния до приложения сосредоточенных сил; *б* — эпюра моментов, отнесенных к приведенным расстояниям; *в* — эпюра моментов, отнесенных к истинным расстояниям

[1] М. И. Горбунов-Посадов, Расчет конструкций на упругом основании, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953.

(см. рис. III—1) заменить несколькими сосредоточенными силами (рис. III—7). При наличии сосредоточенных нагрузок определяем приведенные расстояния от точки приложения нагрузки до левого конца полосы $\alpha_л = \frac{a_л}{L}$ и до правого конца полосы $\alpha_п = \frac{a_п}{L}$. Определяем общую приведенную длину полосы $\lambda^0 = \frac{2l}{L}$ и округляем ее до четного числа десятых. Условно перемещаем все сосредоточенные силы до ближайших к месту их приложения сечений, имеющих приведенное расстояние до концов полосы с четным числом десятых.

Для балки, нагруженной сосредоточенными силами, могут быть два случая:

1) каждая из величин $\alpha_л$ и $\alpha_п$ больше числа 2; в этом случае расчет ведется по табл. 43,*в* книги М. И. Горбунова-Посадова как для бесконечно длинной полосы;

2) одна из величин $\alpha_л$ и $\alpha_п$ меньше или равна 2, тогда расчет ведется для полубесконечной полосы по табл. 45,*в*.

Примечание. Следует отметить, что в табл. 43 ξ есть разность между расстоянием от конца балки до точки приложения силы и расстоянием от конца балки до рассматриваемого сечения.

В табл. 45 ξ есть расстояние от края балки до рассматриваемого сечения;

$\alpha_л$ — приведенное расстояние от левого конца балки до точки приложения силы.

Значения приведенных расстояний от левого и правого конца балки до сосредоточенных сил даны в табл. III—3.

Таблица III-3

Наименование сил	Величина сил	$a_л$	$\alpha_л = \frac{a_л}{L}$	$\alpha_п = \lambda^0 - \alpha_л$
P_1	2,73	1,14	0,83	6,47
P_2	6,38	3,15	2,29	5,01
P_3	6,95	4,55	3,32	3,98
P_4	6,53	5,43	3,97	3,33
P_5	5,98	6,78	4,94	2,96
P_6	1,4	8,93	6,51	0,79

Примечание. $\lambda^0 = \frac{2l}{L} = \frac{10}{1,37} = 7,3.$

Вычисляем согласно табл. III—3 изгибающие моменты в сечениях под силами, т. е. при $\xi = \alpha_л = 0,83$; 2,29; 3,32; 3,97; 4,94 и 6,51;

$$M_{\xi=0,83} = L\,[0,24P_1 - 0,01P_2 - 0,05P_3 - 0,05P_4 - 0,03P_5 + 0P_6];$$

$$M_{\xi=2,29} = L\,[-0,06P_1 + 0,38P_2 + 0,06P_3 - 0,025P_4 - 0,05P_5 - 0P_6];$$

$$M_{\xi=3,32} = L\,[-0,06P_1 + 0,06P_2 + 0,38P_3 + 0,15P_4 - 0,02P_5 - 0,05P_6];$$

$$M_{\xi=3,97} = L\,[-0,05P_1 + 0,02P_2 + 0,15P_3 + 0,388P_4 + 0,06P_5 - 0,06P_6];$$

$$M_{\xi=4,94} = L\,[0P_1 - 0,03P_2 - 0,02P_3 + 0,06P_4 + 0,38P_5 - 0,06P_6];$$

$$M_{\xi=6,51} = L\,[0P_1 - 0,04P_2 - 0,05P_3 - 0,05P_4 + 0,02P_5 + 0,24P_6],$$

Подставив в эти формулы значения L и P, получим выражения для изгибающих моментов:

$$M_{\xi=0,83} = 0,0836;$$

$$M_{\xi=2,29} = 3,035;$$

$$M_{\xi=3,32} = 5;$$

$$M_{\xi=3,97} = 5,19;$$

$$M_{\xi=4,94} = 3,083;$$

$$M_{\xi=6,51} = 0,62;$$

$$M_{\text{макс}} = 5,5 \text{ } тм.$$

Подбираем необходимый процент армирования плиты, например для марки бетона 140 и расчетного предела текучести стали $\sigma_т = 2\,500$ *кг/см*^{2}.

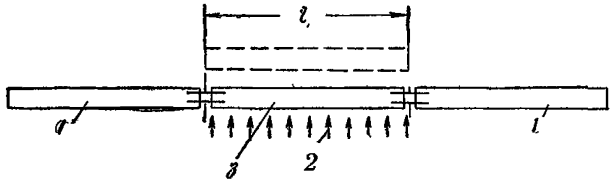


Рис. III-8. Расчетная схема для шарнирно соединенных плит

1 — неподвижная плита; *2* — взвешивающая нагрузка; *3* — плита, приподнимаемая взвешивающим давлением

Принимаем расстояние от низа плиты до центра нижней арматуры $a=5$ *см*, тогда $h_0=35-5=30$ *см*.

Для определения процента армирования μ воспользуемся табл. 14, приведенной в книге К. В. Сахновского[1] (в табл. 14 процент армирования обозначен p). Предварительно, для пользования таблицей, находим по формуле величину r:

$$r = \frac{h_0}{\sqrt{\frac{kM_{\text{макс}}}{b}}} = \frac{30}{\sqrt{\frac{1,8 \cdot 550\,000}{100}}} = 0,3,$$

где k — коэффициент запаса, равный 1,8.

Следовательно (по табл. 14), процент армирования будет 0,45%.

Количество расчетной нижней арматуры, подобранной по $M_{\text{макс}}$, применяется постоянным по всей длине плиты; расчетная арматура укладывается вдоль по откосу.

Перпендикулярно расчетной арматуре следует укладывать такое же количество арматуры, так как плиты покрытия работают в двух направлениях — от волновой нагрузки и возможной неравномерной деформации основания.

Верхняя арматура железобетонного покрытия должна быть рассчитана на нагрузку от взвешивающего давления воды в момент максимального отката волны (см. рис. III—4) и на возможные неравномерные деформации основания при наличии волновой нагрузки. В первом приближении площадь сечения верхней арматуры плиты должна составлять 50—60% от площади сечения нижней арматуры плиты. Верхнюю арматуру следует укладывать также в двух направлениях.

При расчете плит, соединенных шарнирно выпусками рабочей арматуры или путем пропуска рабочей арматуры между плитами, следует учитывать их взаим-

[1] К. В. Сахновский, Железобетонная конструкция, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1951.

ное соединение и при расчете плит на устойчивость и прочность считать, что одновременно работает от двух до четырех плит. Нижняя арматура рассчитывается так же, как в плитах, не соединенных шарнирно.

Верхняя и нижняя арматура при шарнирных связях между плитами рассчитывается на срез от воздействия взвешивающей нагрузки. Если рабочая арма-

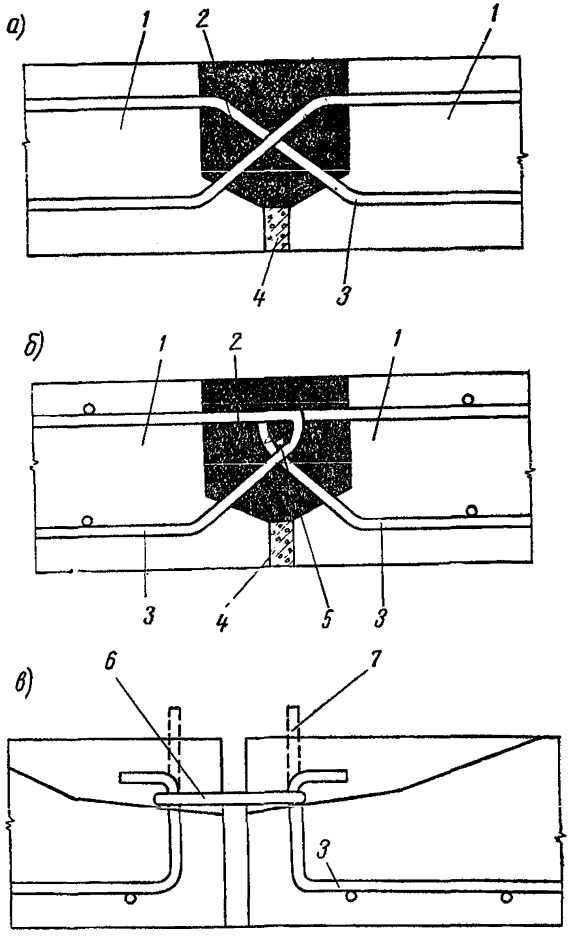


Рис. III-9. Типы шарнирных соединений плит

1 — плита; *2* — заполнение асфальтобетоном; *3* — рабочая арматура; *4* — брусок, пропитанный битумом

тура плит соединена, в работе следует учитывать два шарнирных соединения (рис. III—8).

Нагрузка равна

$$\Sigma P' = P'_{\text{макс}}\, lb, \qquad \text{(III-16)}$$

где l — длина плиты по откосу;

$$b = 1\ м;$$

$P'_{\text{макс}}$ следует определить по формуле (III—5) настоящего приложения.

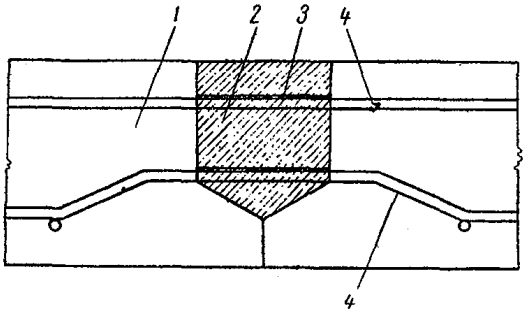


Рис. III-10. Замоноличиваемый шов

1 — железобетонная плита; *2* — заполнение бетоном; *3* — сварка; *4* — рабочая арматура

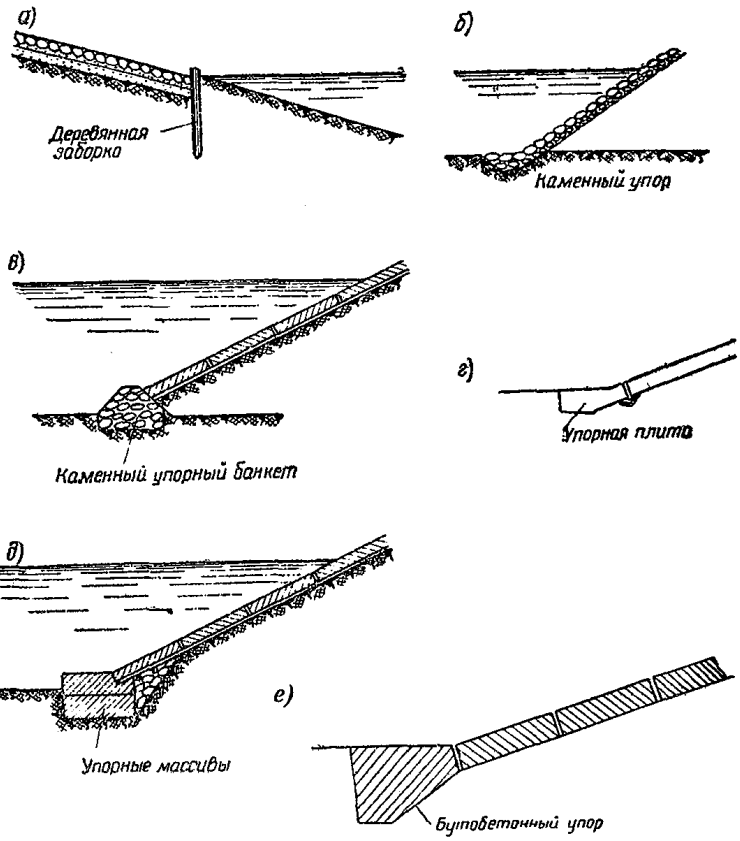


Рис. III-11. Типы упоров защитных покрытий

Необходимая на срез площадь сечения верхней и нижней арматуры шарнирного соединения в узлах рассчитывается на срез, она равна

$$F = \frac{\Sigma P'}{2\sigma_{\text{среза}}}, \qquad \text{(III-17)}$$

где $\sigma_{\text{среза}} = 0{,}8\ \sigma_{\text{растяж}}$.

Железобетонные шарнирные плиты при воздействии на них взвешивающего давления воды должны быть устойчивы с коэффициентом запаса $K=1{,}1$, если в работу конструкций шарнирного соединения включена рабочая арматура плиты (рис. III—9,*а*).

Если рабочая арматура плиты (чистые шарниры, рис. III—9,*б*, *в*) не включается, то плиты должны быть устойчивы с коэффициентом запаса $K=1{,}3 \div 1{,}5$.

В случае необходимости соединения нескольких сборных железобетонных плит в одну большую, соединение может быть выполнено путем сварки рабочей арматуры (рис. III—10).

Процент армирования μ железобетонных плит, бетонируемых на месте, а также на стороне, т. е. сборных железобетонных плит, колеблется в пределах 0,4—0,6%, что составляет 30—50 *кг* арматуры на 1 $м^3$ железобетонного крепления.

Примечание. При назначении плановых размеров больших железобетонных плит на основании опыта эксплуатации следует предусматривать их удлинение параллельно гребню плотины со следующим отношением сторон (1,3 : 1 и 1,5 : 1 и т. п.).

Правильный выбор всех конструктивных и производственных решений для железобетонных покрытий может быть произведен для каждого конкретного случая отдельно.

При наличии воды в нижнем бьефе крепление низового откоса плотины должно быть рассмотрено с учетом возможности возникновения волновых нагрузок. Крепление низового откоса плотины должно быть увязано с принятыми в проекте дренажными устройствами и пригрузками этого откоса.

Для устойчивости покрытий откосов против сползания и подмыва следует внизу крепления устраивать упор.

Отдельные типы упоров приведены на рис. III—11,*а*—*е*.

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

А. Расчеты плотин в период эксплуатации при постоянном горизонте воды в верхнем бьефе

1. Плотина с наслонным дренажом (рис. IV—1,*а*) и без дренажа при отсутствии воды в нижнем бьефе может быть рассчитана по формулам Г. К. Михайлова[1] и Н. Н. Павловского:

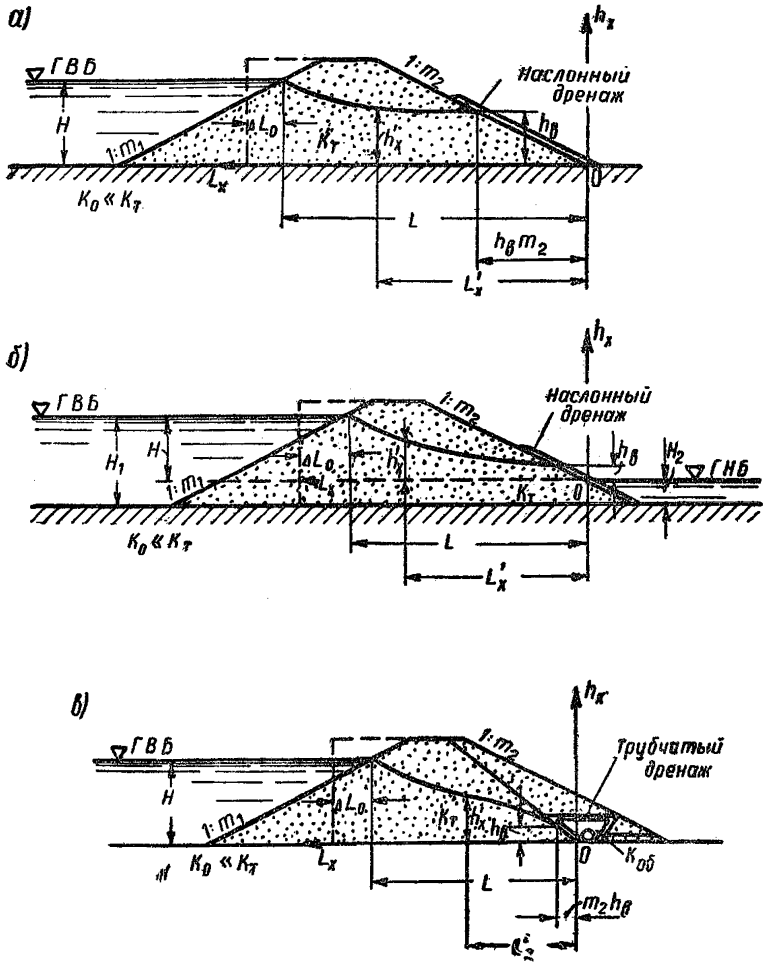


Рис. IV-1. Схемы к расчету фильтрации в однородных плотинах на непроницаемом основании

а — с наслонным дренажом без воды в нижнем бьефе; *б* — с наслонным дренажом с водой в нижнем бьефе; *в* — с трубчатым дренажом без воды в нижнем бьефе

[1] Г. К. Михайлов, О фильтрации в трапецеидальных плотинах на горизонтальном водоупоре, «Гидротехника и мелиорация» № 1, 1952.

а) ширина фиктивного прямоугольника ΔL_0, учитывающего сопротивление верхового клина с заложением откоса m_1, — по формуле

$$\Delta L_0 = H \frac{m_1}{2m_1+1}, \qquad \text{(IV-1)}$$

где H — напор на плотине;

б) расчетная ширина сечения плотины по формуле

$$L_{\text{расч}} = L+\Delta L_0; \qquad \text{(IV-2)}$$

в) расход через тело плотины при коэффициенте фильтрации грунта тела плотины $k_т$ (его величина определяется в соответствии с рекомендациями ч. III, разд. 5) — по формуле

$$\frac{q_т}{k_т} = \frac{H^2}{L_{\text{расч}} + \sqrt{L^2_{\text{расч}} - m_1^2 H^2}}; \qquad \text{(IV-3)}$$

г) высота выхода депрессионной кривой на низовой откос с заложением m_2 — по формуле

$$h_в = \frac{q_т(\alpha m_2+6-\alpha)}{4k_т}, \qquad \text{(IV-4)}$$

где $\alpha = 4$ при $m_2 > 1$
и $\alpha = 3$ при $m_2 < 1$; (IV-5)

д) положение депрессионной кривой в теле плотины на участке $h_в\, m_2 < x < L - h_в\, m_2$ (рис. IV—1,*а*) — по формуле

$$h'_x = \sqrt{h_в^2 + \frac{H^2-h_в^2}{L_{\text{расч}}} \cdot L'_x}. \qquad \text{(IV-6)}$$

Плотина, имеющая воду в нижнем бьефе (рис. IV—1,*б*), может быть приближенно рассчитана по формулам В. М. Шестакова[1].

Фильтрационный расход вычисляется по формуле

$$\frac{q_т}{k_т} = \frac{H_1^2-H_2^2}{2L_{\text{расч}}}, \qquad \text{(IV-7)}$$

где $L_{\text{расч}}$ определяется по формуле (IV—2).

Высота выхода депрессионной кривой на откос при $H_2 \leqslant h_в$ вычисляется по формуле

$$h_в = \frac{L_{\text{расч}}+m_2H_2}{m_2-0,5} - H_2 - \sqrt{\left(\frac{L_{\text{расч}}+m_2H_2}{m_2-0,5}\right)^2 - H_1^2 \frac{m_2+0,5}{m_2-0,5}}. \qquad \text{(IV-8)}$$

Расчет плотины с трубчатым дренажом при укладке его в траншею, заполненную грунтом с коэффициентом фильтрации $k_{об}$, более проницаемым, чем тело плотины, т. е. $k_{об} \gg k_т$ (рис. IV—1,*в*), может быть выполнен также по формулам (IV—1) — (IV—6).

2. **Плотина с ядром и наклонным дренажом (рис. IV—2,*а*) и без дренажа** при отсутствии воды в нижнем бьефе рассчитывается по формулам (IV—3)—(IV—6) с учетом различной проницаемости грунта тела плотины $k_т$ и грунта ядра $k_я$ на основе способа «виртуальных длин» Н. Н. Павловского[2]. Этот учет

[1] В. М. Шестаков, Методика определения участка высачивания фильтрационного потока на откос, ВНИИ ВОДГЕО, 1955.

[2] Н. Н. Павловский, О фильтрации через земляные плотины на непроницаемых основаниях, издательство «Кубуч», 1932.

может быть выполнен для ядра шириной внизу $b_н$ и шириной вверху $b_в$ (рис. IV—2,*а*) по формуле

$$L_я = \left(\frac{k_т}{k_я} - 1\right)\left(\frac{b_н + b_в}{2}\right). \qquad \text{(IV-9)}$$

Для этого случая расчетная ширина сечения плотины в формуле (IV—2) принимается равной

$$L_{расч} = L + L_я. \qquad \text{(IV-10)}$$

Депрессионная кривая в теле плотины за ядром вычисляется по формуле (IV—6).

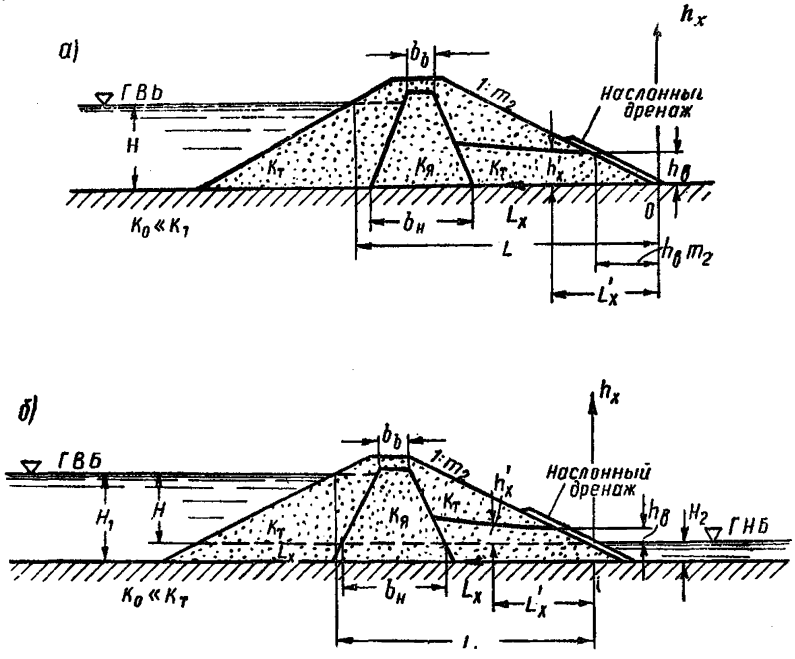


Рис. IV-2. Схема к расчету фильтрации в плотинах с ядром

а — без воды в нижнем бьефе; *б* — с водой в нижнем бьефе

Плотину, имеющую воду в нижнем бьефе (рис. IV—2,*б*), можно рассчитывать подобно тому, как это сделано для плотины без ядра (рис. IV—1,*б*) по формулам (IV—7) и (IV—8), вставляя в них $L_{расч}$ из формулы (IV—10).

3. Плотина на проницаемом основании с наклонным дренажом (рис. IV—3) и без дренажа при наличии и отсутствии воды в нижнем бьефе может быть рассчитана по приближенным формулам В. М. Шестакова.

Для случая, когда $k_т \leqslant k_{01} = k$ и $k_{02} \ll k$, фильтрационный расход вычисляется по формуле

$$\frac{q}{k} = \frac{(H_1 - H_2)(H_1 + H_2 + 2T)}{2L_{расч}}, \qquad \text{(IV-11)}$$

где $L_{расч}$ — расчетная ширина сечения плотины вычисляется по формуле (IV—2), все прочие обозначения приведены на рис. IV—3.

Градиенты фильтрационного потока по дну нижнего бьефа для случая плотины (рис. IV—3) могут быть определены приближенно, подобно тому, как это выполняется для плотины, изображенной на рис. IV—13:

а) при $\frac{T}{H_1} \leqslant m_2 + 1$ высота выхода депрессионной кривой на низовой откос плотины вычисляется по формуле

$$h_{\text{в}} = \sqrt{\left(\frac{a_1}{2}\right)^2 + 0{,}44T\left(\frac{q}{k} - \frac{H_2}{m_2}\right)} - \frac{a_1}{2}, \qquad \text{(IV-12)}$$

где

$$a_1 = H_2 + T\left(1 + \frac{0{,}44}{m_2} + 0{,}44\frac{T}{L_{\text{расч}}}\right) - m_2\frac{q}{k}. \qquad \text{(IV-13)}$$

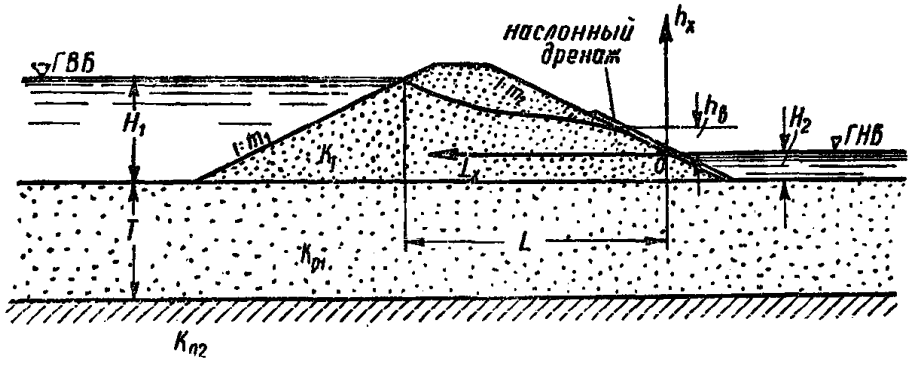


Рис. IV-3. Расчетная схема однородной плотины на проницаемом основании

Уравнение депрессионной кривой в теле плотины на участке $h_{\text{в}}\, m_2 < x < L - h_{\text{в}}\, m_2$ выражается формулой

$$h'_x = \sqrt{(H_2 + T)^2 + h_{\text{в}}^2 + 2h_{\text{в}}(H_2 + T) + \frac{2q}{k}(L'_x - m_2 h_{\text{в}})} - H_2 - T; \qquad \text{(IV-14)}$$

б) при $\frac{T}{H_1} > m_2 + 1$

$$h_{\text{в}} = \frac{\sqrt{a_2^2 + \frac{2m_2}{2m_2+1}\cdot\frac{H_2}{L_{\text{расч}}}} - a_2}{2} H_1, \qquad \text{(IV-15)}$$

где

$$a_2 = \left(1 + \frac{0{,}3}{m_2}\right)\frac{H_2}{H_1} - (0{,}6m_2 + 0{,}25)\frac{H_1}{L_{\text{расч}}}. \qquad \text{(IV-16)}$$

При отсутствии воды в нижнем бьефе плотины в формулы (IV—11) — (IV—16) подставляется H_2=0.

Для случая, когда $k_{01} < k_{\text{т}}$ (рис. IV—4), фильтрационный расход вычисляется по формуле

$$\frac{q}{k_{\text{т}}} = \frac{0{,}5H_1^2 + \frac{k_{01}}{k_{\text{т}}}H_1 T}{L_{\text{расч}}}. \qquad \text{(IV-17)}$$

Высота выхода депрессионной кривой на откос плотины вычисляется по формуле

$$h_в = \sqrt{\left(\frac{a_з}{2}\right)^2 + 0{,}44\,T\,\frac{q}{k_т}} + \frac{a_з}{2}, \qquad \text{(IV-18)}$$

где

$$a_з = (m_2 + 0{,}5)\frac{q}{k_т} - \left(\frac{0{,}44}{m_2 + 0{,}5} + \frac{k_{01}}{k_т}\right)T. \qquad \text{(IV-19)}$$

Уравнение депрессионной кривой на участке $h_в \cdot m_2 < x < L - h_в\, m_2$ вычисляется по формуле

$$h'_x = \sqrt{h_в^2 + \left(\frac{k_{01}}{k_т}T\right)^2 + 2\frac{k_{01}}{k_т}h_в T + 2\frac{q}{k_т}\left(L'_x - m_2 h_в\right)} - \frac{k_{01}}{k_т}T. \qquad \text{(IV-20)}$$

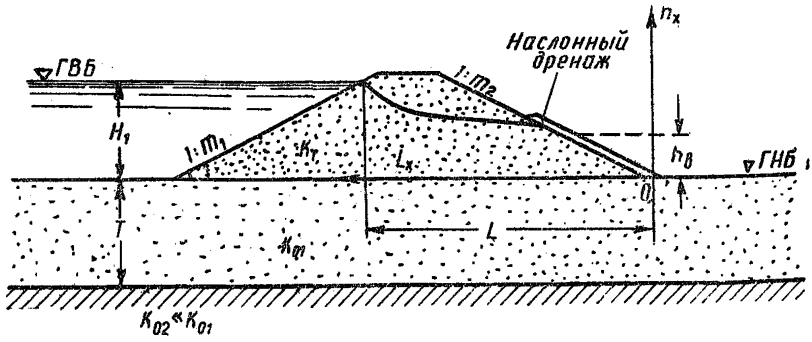


Рис. IV-4. Расчетная схема однородной плотины на проницаемом основании при $k_{01} < k_т$ и $k_{01} > k_т$

Для случая, когда $k_{01} > k_т$ (рис. IV—4), фильтрационный расход вычисляется по формуле

$$\frac{q}{k_{01}} = \frac{\frac{H_1^2}{2}\cdot\frac{k_т}{k_{01}} + H_1 T}{L_{расч}}. \qquad \text{(IV-21)}$$

Высоту выхода депрессионной кривой на откос вычисляют, пользуясь формулами (IV—12) и (IV—13), вставляя в них значение $\frac{q}{k}$ из формулы (IV—21) и приравнивая $\frac{q}{k} = \frac{q}{k_{01}}$.

Депрессионную кривую вычисляют по формуле (IV—20), подставляя в нее значение $\frac{q}{k_т}$ из формулы (IV—21), приравнивая $\frac{q}{k_т} = \frac{q}{k_{01}}$.

Градиенты фильтрационного потока по дну нижнего бьефа могут быть приближенно определены подобно тому, как это выполняется для плотины, изображенной на рис. IV—13.

4. Плотина с горизонтальным дренажом (рис. IV—5) рассчитывается с использованием формул С. Н. Нумерова и Г. К. Михайлова (при этом принимается решение С. Н. Нумерова для схемы плотины, изображенной на рис. IV—6, а влияние верхового клина плотины учитывается по данным Г. К. Михайлова).

Фильтрационный расход через тело плотины (рис. IV—6), выполненной из грунта с коэффициентом фильтрации $k_т$, вычисляется по формуле

$$\frac{q_т}{k_т} \simeq \frac{3H^2}{3L_{расч} + \sqrt{9L^2_{расч} + 3H^2}}. \qquad \text{(IV-22)}$$

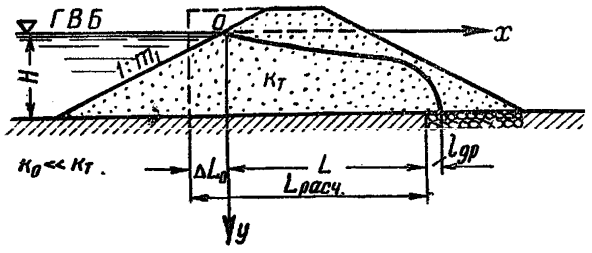


Рис. IV-5. Расчетная схема для плотин с горизонтальным дренажом

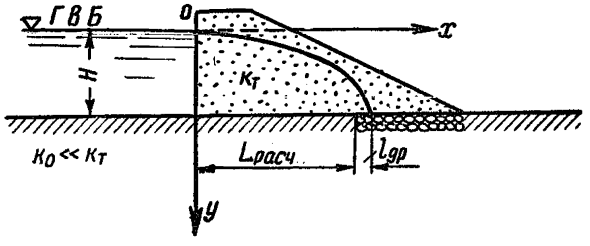


Рис. IV-6. Расчетная схема для плотин с горизонтальным дренажом

Уравнение депрессионной кривой для $0 \leqslant y \leqslant H$ выражается формулой

$$\frac{x}{H} \simeq \frac{k_т}{q_т} y\left(1 - 0{,}5\frac{y}{H}\right) + \frac{q_т}{Hk_т} F(u), \qquad \text{(IV-23)}$$

где $u = th\left(\frac{\pi k_т}{2q_т} y\right)$,

значения которого можно найти по графику рис. IV—7, принимая $q_r = \frac{q_т}{k_т}$; значения $F(u)$ приведены в табл. IV—1.

Таблица IV-1

u	$F(u)$	u	$F(u)$	u	$F(u)$	u	$F(u)$
0,05	0,068	0,3	0,205	0,55	0,27	0,8	0,310
0,1	0,108	0,35	0,221	0,6	0,279	0,85	0,317
0,15	0,139	0,4	0,235	0,65	0,288	0,9	0,323
0,2	0,164	0,45	0,247	0,7	0,296	0,95	0,328
0,25	0,186	0,5	0,259	0,75	0,303	1	0,333

Рабочая длина горизонтального дренажа вычисляется по формуле

$$l_{др} \approx \frac{q_т}{2k_т}. \qquad \text{(IV-24)}$$

Для расчета плотины с заложением верхового откоса m_1, изображенной на рис. IV—5, сопротивление верхового клина учитывается в формуле (IV—1); рас-

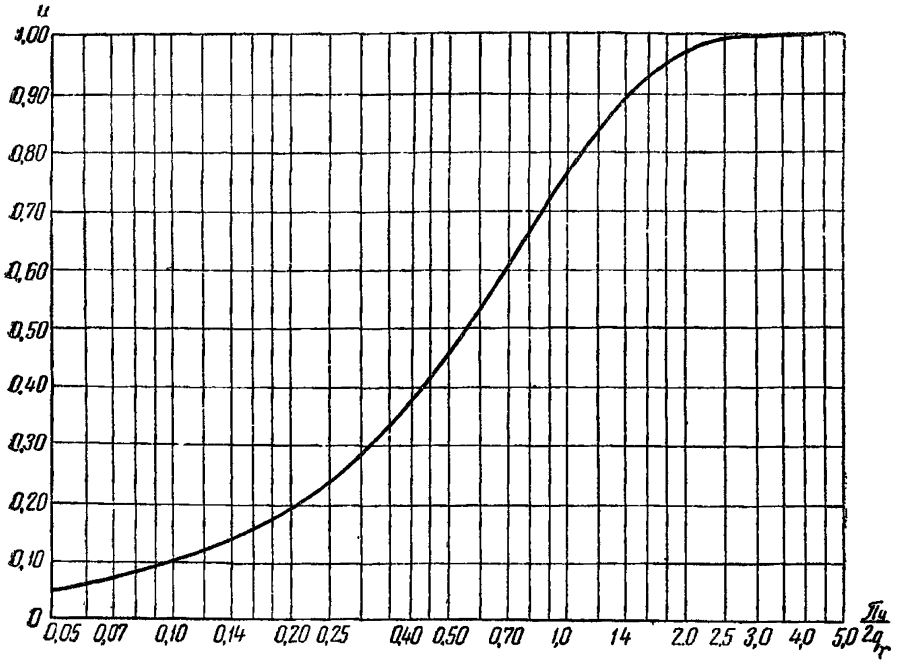


Рис. IV-7. График зависимости $u = \text{th}\left(\frac{\pi y}{2q_r}\right)$

четная ширина сечения $L_{расч}$ определяется по формуле (IV—2); фильтрационный расход — по формуле (IV—22) с подстановкой $L_{расч}$ из формулы (IV—2); депрессионная кривая — по формуле (IV—23); длина дренажа — по формуле (IV—24).

5. **Плотина с дренажной призмой (рис. IV—8,*а*)** при отсутствии воды в нижнем бьефе может быть рассчитана по тем же формулам, что и плотина с горизонтальным дренажом (рис. IV--5).

Координаты выхода депрессионной кривой в дренажную призму возможно определить приближенно по формулам:

$$\left.\begin{aligned} h_{пр} &= \frac{q_т}{k_т}\alpha; \\ l_{пр} &= \frac{q_т}{k_т}\beta, \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IV-25)}$$

Таблица IV-2

m	α	β
0,5	0,618	0,309
1	0,414	0,414
1,5	0,303	0,455
2	0,236	0,472

где α и β — коэффициенты, берутся в зависимости от заложения откоса дренажной призмы m из табл. IV—2.

Депрессионная кривая на участке $0 < x < L$ строится по формуле (IV—23), на участке же $L < x < L + l_{пр}$ — проводится на глаз.

Плотина с трубчатым дренажом, уложенным в траншею (рис. IV—8,*б*), может быть рассчитана по тем же формулам, что и плотина, изображенная на рис. IV—8,*а*.

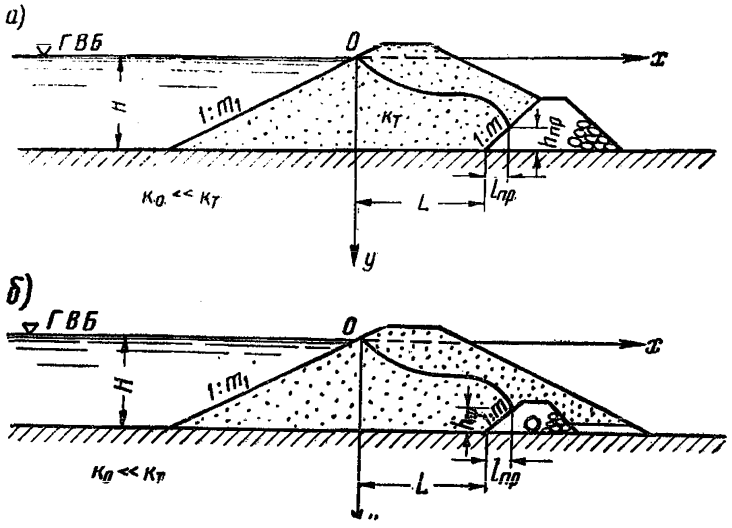


Рис. IV-8. Расчетная схема плотины с дренажной призмой без воды в нижнем бьефе

а — с дренажной призмой; *б* — с трубчатым дренажом, уложенным в траншею

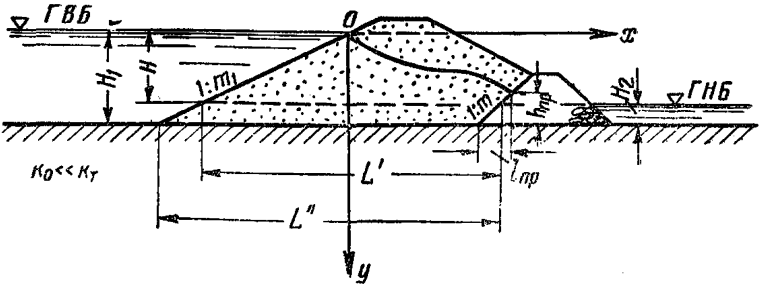


Рис. IV-9. Расчетная схема плотины с дренажной призмой при наличии воды в нижнем бьефе

6. Плотина, имеющая воду в нижнем бьефе (рис. IV—9), может быть рассчитана отдельно в «верхней» и «нижней» частях. Расход и положение депрессионной кривой в верхней части плотины находятся так же, как и для случая, изображенного на рис. IV—8,*а*.

Расход в нижней части плотины $q_н$ (рис. IV—9) определяется по формуле

$$\frac{q_н}{k_т} = \frac{2HH_2}{L' + L''}. \qquad \text{(IV-26)}$$

Общий расход через плотину при подстановке соответствующих $q_т$ и $q_н$ из формул (IV—22) и (IV—26) определяется по формуле

$$q = q_т + q_н. \qquad \text{(IV-27)}$$

Координаты выхода депрессионной кривой в дренажную призму можно определить приближенно по формулам:

$$\left.\begin{aligned} h_{\text{пр}} &= H_2 + \frac{q_{\text{т}}}{k_{\text{т}}}\alpha; \\ l_{\text{пр}} &= mH_2 + \frac{q_{\text{т}}}{k_{\text{т}}}\beta. \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IV-28)}$$

7. Плотина на проницаемом основании (рис. IV—10) при соотношениях коэффициентов фильтрации грунта тела и основания плотины $\frac{k_{\text{т}}}{k_{01}} \leqslant 0{,}1$ может быть приближенно рассчитана по рекомендации С. Н. Нумерова[1].

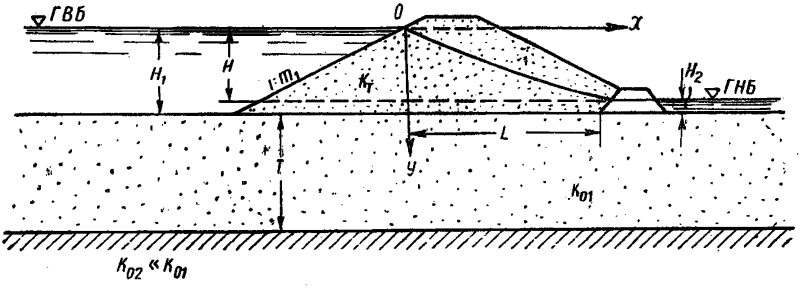


Рис. IV-10. Расчетная схема для плотины, однородной по профилю, на проницаемом основании

Фильтрационный расход

$$q = q_{\text{т}} + q_0, \qquad \text{(IV-29)}$$

где

$$q_{\text{т}} = k_{\text{т}} \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L}, \qquad \text{(IV-30)}$$

обозначения видны из рис. IV—10;

$$q_0 = k_{01} H q_r, \qquad \text{(IV-31)}$$

где q_r является функцией $\frac{L + m_1 H_1}{2T}$ и его возможно найти из графика рис. IV—11.

При $\frac{L + m_1 H_1}{T} \geqslant 1$ фильтрационный расход через основание имеет выражение

$$q_0 = k_{01} \frac{HT}{L + m_1 H_1 + 0{,}882T}. \qquad \text{(IV-32)}$$

Уравнение депрессионной кривой в этом случае для $0 \leqslant x \leqslant L$ выражается приближенно формулой

$$\frac{y}{H} = f\left(\frac{x}{L}\right); \qquad \text{(IV-33)}$$

[1] В. И. Аравин и С. Н. Нумеров, Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955.

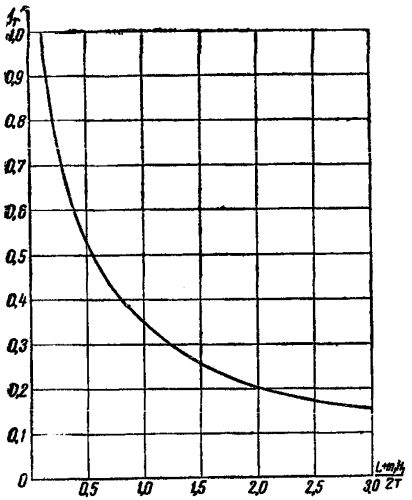


Рис. IV-11. График зависимости $q_r = f\left(\frac{L+m_1H_1}{2T}\right)$

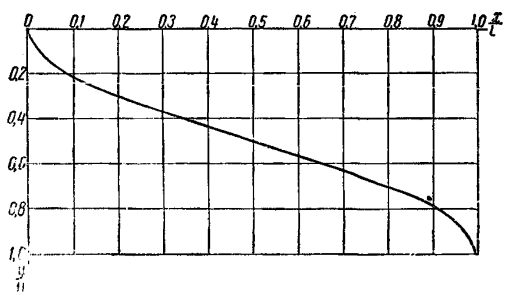


Рис. IV-12. График для определения координат депрессионной кривой

координаты кривой можно найти по графику рис. IV—12. О вычислении градиентов фильтрационного потока в основании см. п. 8.

8. Плотину на проницаемом основании (рис. IV—13) можно рассчитать приближенно, выполняя расчеты отдельно для основания, сначала считая, что основание плотины непроницаемо, затем считая; что тело плотины непроницаемо. При этом общий фильтрационный расход вычисляется по формуле (IV—29), фильтрационный расход через тело плотины — по формуле (IV—22) с учетом $L_{расч}$ по формуле (IV—2), фильтрационный расход через основание — по формуле (IV—31).

Уравнение депрессионной кривой находится или по формуле (IV—23) с запасом (см. примечание к § 3, ч. III, разд. 10), или по формуле (IV—33) и графику рис. IV—12 в зависимости от проницаемости тела плотины и грунта основания.

Рабочая длина горизонтального дренажа вычисляется по формуле (IV-24).

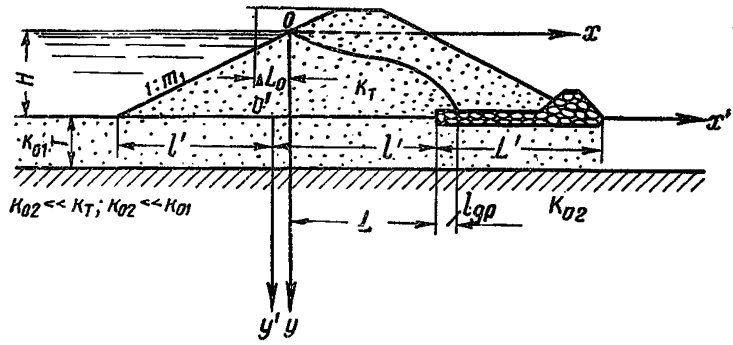


Рис. IV-13. Расчетная схема для приближенного расчета однородной земляной плотины на проницаемом грунте

Градиенты фильтрационного потока в основании[1], в местах его выхода за плотиной, для случаев $T > 5\,l'$ вычисляются приближенно, по формуле Н. Н. Павловского[2]:

$$J = \frac{Hv_r}{l'}, \qquad \text{(IV-34)}$$

где v_r — приведенная скорость для значения $x' > 1{,}015\,l'$ определяется по графику рис. IV—14.

Градиенты фильтрационного потока за плотиной для случаев $T \leqslant 5\,l'$ вычисляются приближенно по формуле

$$J = \frac{H\pi v_r}{2T}, \qquad \text{(IV-35)}$$

где v_r — приведенная скорость для значений $x' > 1{,}015l'$ находится из графика рис. IV—15.

По формулам IV—34 и IV—35 могут быть приближенно найдены градиенты фильтрационного потока в местах его выхода в нижний бьеф за плотиной и для плотин, изображенных на рис. IV—4 и на рис. IV—10. Направление осей координат $o'x'$ и $o'y'$ принимается такое же, как это показано на схеме (рис. IV—13).

---

[1] Градиенты фильтрационного потока и напоры в любых местах области фильтрации могут определяться по сетке движения (см. ч. III, разд. 10, § 7).

[2] Н. Н. Павловский, Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями, 1922.

Для плотины, изображенной на рис. IV—10, вычисление градиентов фильтрационного потока J в основании возможно выполнять по формулам (IV—34) и (IV—35) для значений $x' > 1{,}015\left(\frac{L+m_1H_1}{2}\right)$, принимая $l' = \frac{L+m_1H_1}{2}$ и используя графики рис. IV—14 и IV—15.

9. Плотина на проницаемом основании без дренажа (рис. IV—16) может быть рассчитана по формуле Дюпюи[1].

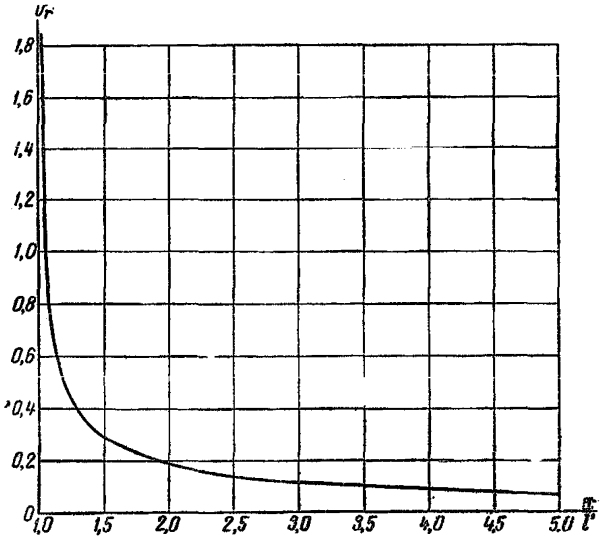


Рис. IV-14. График зависимости $v_r = f\left(\frac{x'}{l'}\right)$

Уравнение депрессионной кривой имеет вид

$$h_x = \sqrt{\left(H_1^2 - H_2^2\right)\frac{x}{L} + H_2^2}\ . \qquad \text{(IV-36)}$$

10. Плотина с горизонтальным трубчатым дренажом (рис. IV—17) может быть рассчитана по решению А. В. Романова[2].

Область фильтрации разбивается на два фрагмента линиями I—I; II—II; III—III таким образом, чтобы на линии II—II глубина фильтрационного потока от водоупора H_1' была равна его глубине в трубчатом дренаже

$$H_1' = T = H_0, \qquad \text{(IV-37)}$$

---

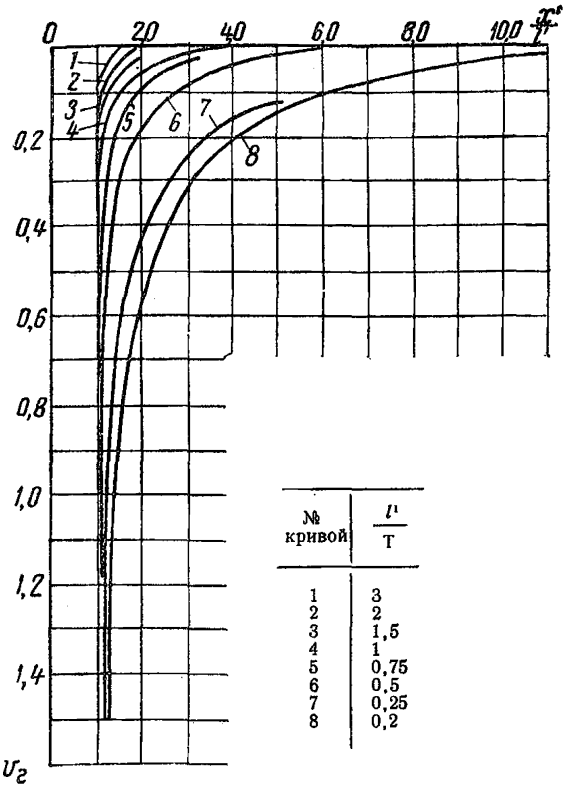
[1] Используется для предварительных расчетов при выборе места дренажа в пойменных частях плотины (см. ч. III, разд. 7, § 5), при расчетах криволинейных сечений вдоль линий токов a, $б$; a_2, $б_2$; a_3, $б_3$ (рис. 42).

[2] А. В. Романов, Приток воды к водозаборам подземных вод и дренам, Сб. № 1 ВНИИ ВОДГЕО «Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений», 1952.

Расстояние от центра дренажа до линии II—II, равное l_2, определяется подбором из уравнения

$$(H_1 - H_1')\left[\frac{T}{l_1+l_2} - \frac{\pi l_1 l_2}{\left(\ln\frac{2T}{\pi D} + \frac{\pi l_1 l_2}{(l_1+l_2)T}\right)l_1 + l_2}\right] = \frac{(H_1')^2 - H_2^2}{2(L - l_1 - l_2)}. \quad \text{(IV-38)}$$

Обозначения H_1, H_2, L, l_1, l_2 и T приведены на рис. IV—17; D — диаметр дренажа.



№ кривой	$\frac{l'}{T}$
1	3
2	2
3	1,5
4	1
5	0,75
6	0,5
7	0,25
8	0,2

Рис. IV-15. График зависимости

$$v_r = f\left(\frac{x'}{l'};\ \frac{l'}{T}\right)$$

Величина l_1 определяется из выражения

$$l_1 = l.' + \Delta L_0, \quad \text{(IV-39)}$$

в котором ΔL_0 находится из формулы (IV—1), если принять в ней $H = H_1$. Фильтрационный расход, протекающий в дренаж, выражается формулой

$$q = \frac{k(H_1 - T)^2}{2l_1} + \frac{\pi k\left(H_1 - H_1'\right)l_2}{\left[\ln\frac{2T}{\pi D} + \frac{\pi l_1 l_2}{L_1 T}\right]L_1}, \quad \text{(IV-40)}$$

где k — коэффициент фильтрации.

Ординаты депрессионной кривой в пределах первого фрагмента определяются из уравнения

$$h_x = \frac{q}{\pi k} \ln |A| + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{L_1}\right) \cdot (H_1 - H_1') + H_1' - \frac{q l_1}{k T_0}\left(\frac{1}{2} - \frac{x}{L_1}\right), \quad \text{(IV-41)}$$

где h_x — ордината депрессионной кривой на расстоянии x от начала координат 0;

$$\ln |A| = \ln \left| 1 - e^{-\frac{\pi(x - x_0)}{T}} \right|$$

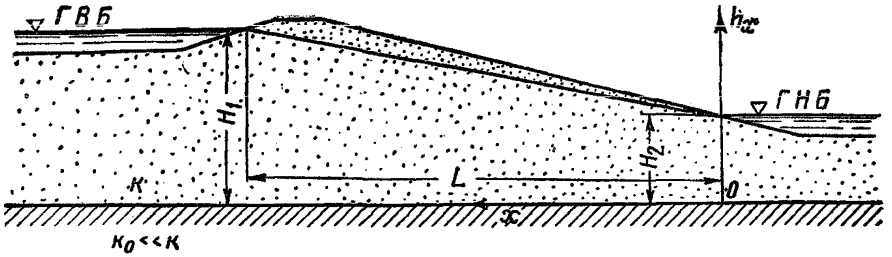


Рис. IV-16. Расчетная схема для однородной по профилю плотины без дренажа на проницаемом основании

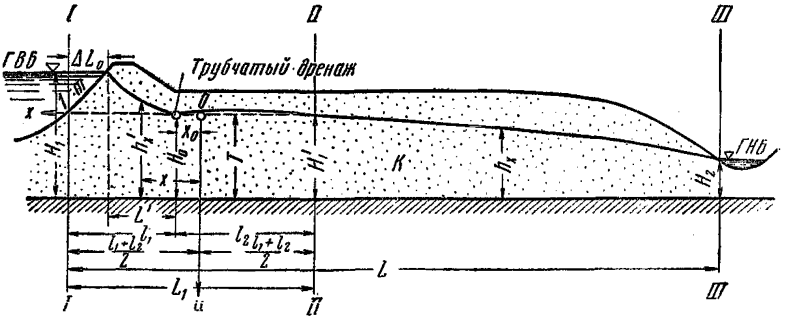


Рис. IV-17. Расчетная схема для плотины с горизонтальным трубчатым дренажом

находится из графика (рис. IV—18);

$$T_0 = T + \frac{H_1 - T}{2} \cdot \quad \text{(IV-42)}$$

Ординаты депрессионной кривой в пределах второго фрагмента определяются из уравнения

$$h_x = \sqrt{(H_1')^2 + \left[(H_1')^2 - H_2^2\right] \frac{x}{L - L_1}} \cdot \quad \text{(IV-43)}$$

11. **Плотина с горизонтальным трубчатым дренажом и вертикальным дренажом в виде ряда скважин (рис. IV—19)** может быть рассчитана по решению А. В. Романова для ряда совершенных скважин.

Расчет ведется следующим образом. Фильтрационный расход одной скважины вертикального дренажа определяется по формуле

$$q_0 = \frac{\pi k \left(H_s^2 - H_0^2\right)}{\ln \frac{s}{\pi D} + \frac{2\pi l_1 l_2}{s(l_1 + l_2)}}, \qquad \text{(IV-44)}$$

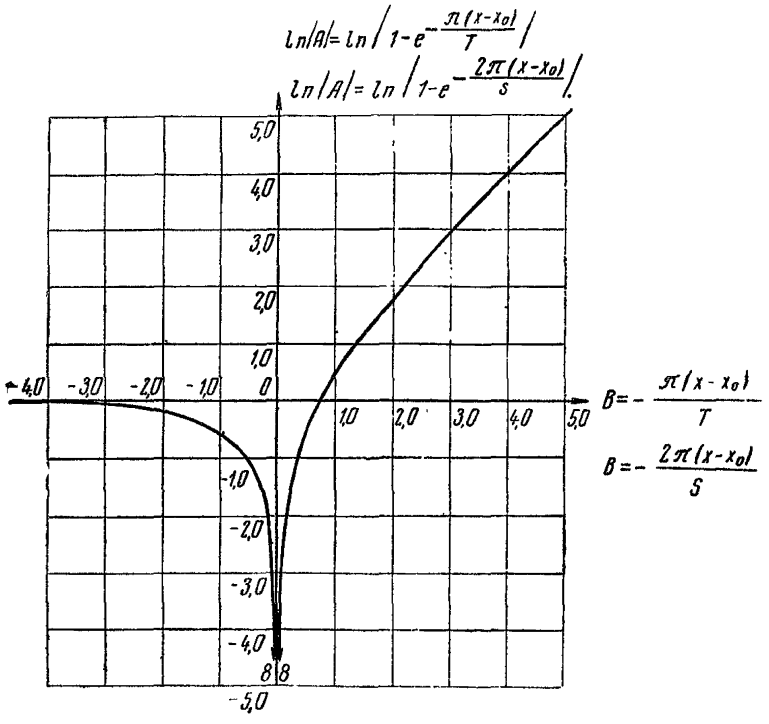


Рис. IV-18. График для определения значений

$\ln A = \ln \left| 1 - e^{\frac{-\pi(x-x_1)}{T}} \right|$ — для горизонтального дренажа; $\ln |A| = \ln \left| 1 - e^{\frac{-2\pi(x-x_1)}{S}} \right|$ — для вертикального дренажа; при значениях $B > 5$ величина $\ln |A| = B$

где

$$H_s = \sqrt{\frac{l_2}{L}\left(H_1^2 - H_2^2\right) + H_2^2};$$

s — расстояние между скважинами;
D — диаметр скважин.

Ординаты депрессионной кривой в теле плотины и за дренажом определяются из формулы

$$h_x = \sqrt{\frac{q_0}{\pi k} \ln |A| + \left(\frac{1}{2} - \frac{x}{L}\right)\left(H_1^2 - H_2^2\right) + H_2^2 - \frac{2q_0 l_1}{ks}\left(\frac{1}{2} - \frac{x}{L}\right)}, \qquad \text{(IV-45)}$$

где

$$\ln |A| = \ln \left| 1 - e^{-\frac{2\pi(x-x_1)}{s}} \right|$$

находится по графику рис. IV—18.

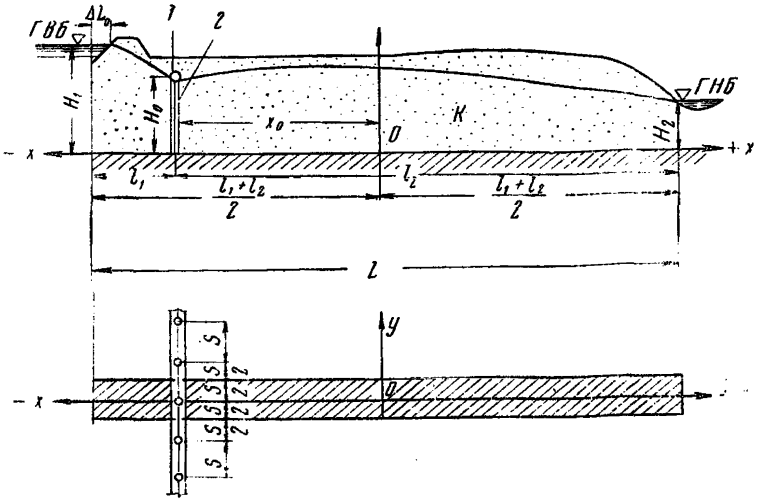


Рис. IV-19. Расчетная схема для плотины с горизонтальным трубчатым дренажом и вертикальным дренажом в виде ряда скважин

1 — горизонтальный дренаж; *2* — ряд скважин вертикального дренажа

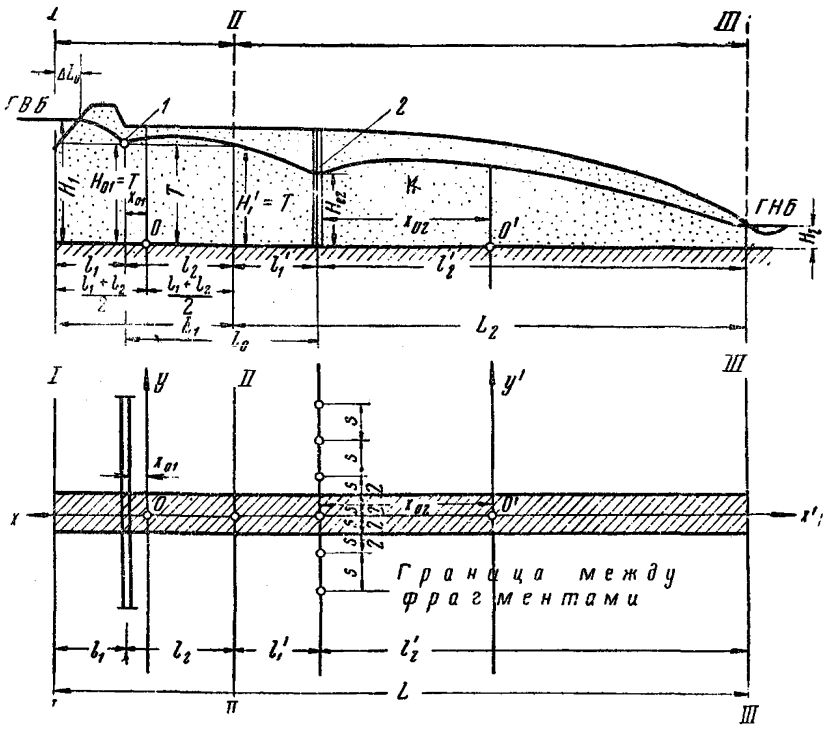


Рис. IV-20. Расчетная схема для плотины с горизонтальным дренажом и вертикальным дренажом на расстоянии l_0 от горизонтального

1 — горизонтальный дренаж; *2* — ряд скважин вертикального дренажа

12. Плотина с горизонтальным дренажом и вертикальным дренажом на расстоянии l_0 от горизонтального (рис. IV—20) по решению А. В. Романова может быть рассчитана аналогично плотине, изображенной на схеме рис. IV—17. Глубина воды на границе между фрагментами H_1' равна

$$H_1' = T = H_{01}. \tag{IV-46}$$

Расстояние l_1' следует находить подбором из уравнения

$$s\left[\frac{(H_1-T)T}{L_1} - \frac{\pi l_1 \Delta H}{M_1 L_1}\right] = \frac{(T^2-H_2^2)\,s}{2L_2} - \frac{\pi l_1'\,(H_s^2-H_{02}^2)}{M_2 L_2}, \tag{IV-47}$$

где

$$\Delta H = \frac{(H_1-T)\,l_2}{L_1}; \tag{IV-48}$$

$$H_s = \sqrt{\frac{l_1'}{L_2}(T^2-H_2^2)+H_2^2}; \tag{IV-49}$$

$$M_1 = \ln\frac{2T}{\pi D} + \frac{\pi l_1 l_2}{L_1 T}; \tag{IV-50}$$

$$M_2 = \ln\frac{s}{\pi D} + \frac{2\pi l_1'\,l_2'}{sL_2}. \tag{IV-51}$$

Расход горизонтального дренажа определяется по формуле (IV—40), депрессионная кривая в пределах первого фрагмента — по формуле (IV—41), расход вертикального дренажа — по формуле (IV—44), депрессионная кривая в пределах второго фрагмента — по формуле (IV—43).

Б. Расчеты плотин в период эксплуатации при изменяющемся горизонте воды в верхнем бьефе

Ординаты депрессионной кривой в теле плотины при понижении горизонта воды в водохранилище, по данным В. М. Шестакова[1], определяются следующим образом.

1) Для случая

$$i = \frac{\mu\, v_{г.в}}{k_т} \geqslant 5, \tag{IV-52}$$

где $v_{г.в}$ — скорость понижения горизонта воды в водохранилище;

$k_т$ — коэффициент фильтрации грунта тела плотины в тех же измерениях, что и $v_{г.в}$;

μ — коэффициент водоотдачи грунта, который для песков может быть приближенно принят в соответствии с данными А. М. Агаджанова[2] и

---

[1] В. М. Шестаков, Определение гидродинамических сил в земляных сооружениях и откосах при падении уровней в бьефах, сб. № 2 «Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений», ВНИИ ВОДГЕО, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

[2] А. М. Агаджанов, Гидрогеология и гидравлика подземных вод, Гостоптехиздат, 1950.

Н. Н. Биндемана (ВНИИ ВОДГЕО) по табл. IV—3 так же, как ординаты установившейся депрессионной кривой при неизменном горизонте верхнего бьефа, т. е. кривая депрессии считается не меняющейся в процессе спада (схема «мгновенного спада» уровня).

2) Для случая

$$i = \frac{\mu v_{г.в}}{k_т} < 5 \qquad \text{(IV - 53)}$$

ординаты депрессионной кривой в теле плотины (рис. IV—21) при понижении горизонта воды перед откосом от первоначального уровня H_1 до уровня h_1 можно вычислить по формуле

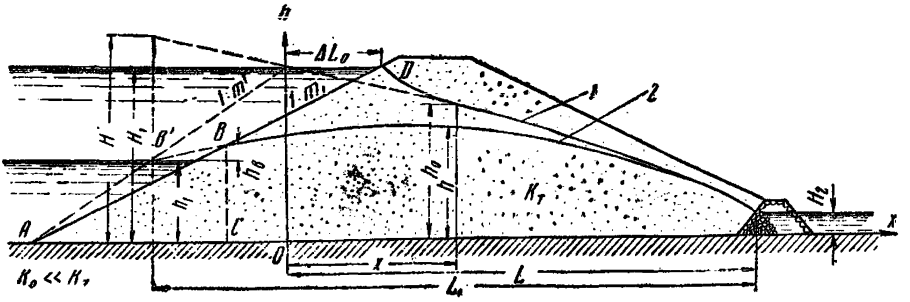


Рис. IV-21. Расчетная схема для определения положения депрессионной кривой в теле плотины при понижении горизонта

1 — начальное положение кривой депрессии; *2* — положение кривой депрессии в расчетный момент времени *t*

Таблица IV-3

Действующий диаметр песка d_{10} в *мм*	0,1	0,15	0,2	0,5
Коэффициент водоотдачи μ	0,18	0,22	0,25	0,27

$$h = \sqrt{h_0^2 - \left[(H')^2 - h_1^2\right]\left[F(\lambda_1; n) - \frac{y}{L} F(\lambda_2; n)\right]}, \qquad \text{(IV - 54)}$$

где

$$h_0^2 = H_1^2 + \frac{H_1^2 - H_2^2}{L} x; \qquad \text{(IV - 55)}$$

$$(H')^2 = H_1^2 - \frac{H_1^2 - H_2^2}{L} m'(H_1 - h_1); \qquad \text{(IV - 56)}$$

$$y = x + m'(H_1 - h_1); \qquad \text{(IV - 57)}$$

$$\lambda_1 = 0{,}7\sqrt{i}\,\frac{y}{\sqrt{H_1^2 - h_1^2}}; \qquad \text{(IV - 58)}$$

$$\lambda_2 = 0{,}7\sqrt{i}\,\frac{L_1}{\sqrt{H_1^2 - h_1^2}}; \qquad \text{(IV - 59)}$$

$$n = 0{,}7m' \sqrt{i} \sqrt{\frac{H_1 - h_1}{H_1 + h_1}}, \qquad \text{(IV - 60)}$$

где $F(\lambda_1; n)$ и $F(\lambda_2; n)$ — функции, значения их берутся по графику рис. IV—22.

Для учета сопротивления клина плотины ABC (рис. IV—21) заложение верхового откоса m_1 заменяется фиктивным заложением m', равным

$$m' = \frac{m_1^2}{m_1 + 0{,}5}. \qquad \text{(IV-61)}$$

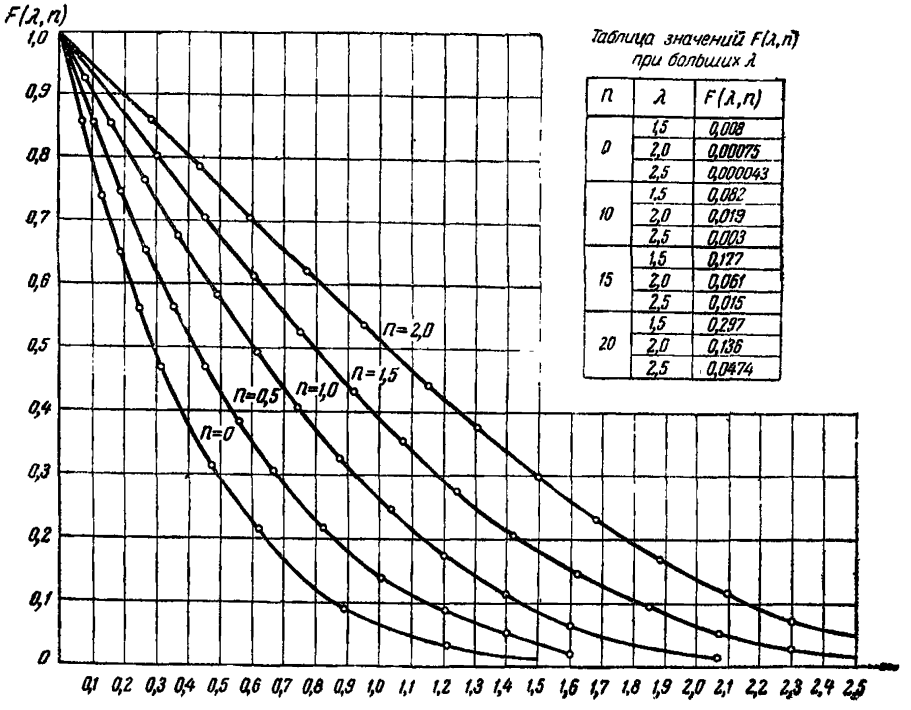


Таблица значений F(λ,n) при больших λ

n	λ	F(λ,n)
0	1,5	0,008
	2,0	0,00075
	2,5	0,000043
10	1,5	0,082
	2,0	0,019
	2,5	0,003
15	1,5	0,177
	2,0	0,061
	2,5	0,015
20	1,5	0,297
	2,0	0,136
	2,5	0,0474

Рис. IV-22. График функции $F(\lambda, n)$

Тогда начало координат располагается на расстоянии ΔL_0 от уреза верхнего бьефа, причем величина ΔL_0 определяется согласно формуле (IV—1).

Ординаты кривой депрессии для плотины с ядром (рис. IV—23) могут быть найдены из уравнения

$$h = h_2 - (h_2 - h_1)\frac{x^2}{b^2}, \qquad \text{(IV - 62)}$$

где

$$h_2 = h_0 - 2(h_0 - h_1)\frac{F(\lambda_3; n)}{1 + F(\lambda_4; n)}; \qquad \text{(IV - 63)}$$

$$\lambda_3 = 0{,}7\sqrt{i}\,\frac{b}{\sqrt{h_0^2 - h_1^2}}; \qquad \text{(IV - 64)}$$

$$\lambda_4 = 2\lambda_3; \qquad \text{(IV - 65)}$$

$$b = b_0 + m_1 h_0 - m' h_1 . \qquad \text{(IV - 66)}$$

Наличие фильтрационного потока в сторону верхнего бьефа плотины (рис. IV—21), по данным В. М. Шестакова, возможно для случаев, когда

$$v_{г.в} > v_{к.р} , \qquad \text{(IV - 67)}$$

где $v_{г.в}$ имеет то же значение, что и в формуле (IV—52)

$$v_{к.р} = \frac{2k_т n_к^2}{\mu m_1^2} \cdot \frac{H_1 + h_1}{H_1 - h_1} , \qquad \text{(IV - 68)}$$

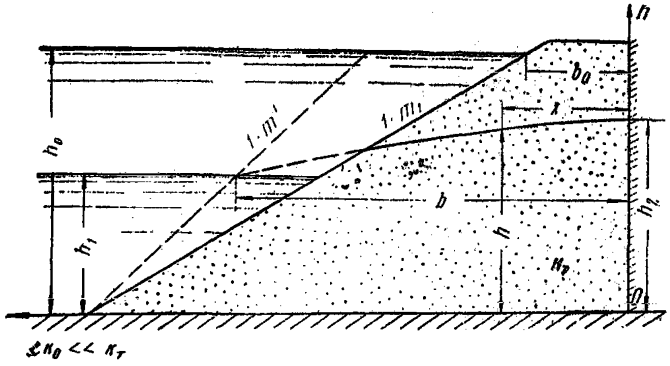


Рис. IV - 23. Расчетная схема для определения ординат кривой депрессии для плотин с ядром или диафрагмой

H_1, h_1, $k_т$, μ, m_1 имеют те же значения, что и в п. 1 настоящего подраздела; $h_к$ определяется из табл. IV—4, по функции $p_к$:

$$p_к = \frac{1}{1 + \dfrac{L(H_1 + h_1)}{m_1 (H_1^2 - H_2^2)}} . \qquad \text{(IV - 69)}$$

Таблица IV-4

Функция $p_к$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Величина $n_к$	0,05	0,1	0,16	0,22	0,29	0,37	0,46	0,6

В. Расчеты плотин в период намыва

Для плотин высотой более 10 *м*, намываемых из песчано-гравелистых, песчаных и супесчаных грунтов, необходимо определять для ряда промежуточных стадий строительства положение депрессионной поверхности фильтрационного потока при различной, возможной в рассматриваемых условиях, интенсивности намыва. Такие данные позволят наметить наиболее целесообразные методы защиты устойчивости откосов плотины в процессе ее намыва и выбрать оптимальную интенсивность намыва.

Расчет фильтрации в теле плотины в процессе ее намыва может быть произведен по излагаемому ниже приближенному методу, предложенному В. П. Недрига.

Возникающий в теле земляной плотины при ее намыве фильтрационный поток складывается из:

а) потока, фильтрующего из постоянно действующего прудка, расположенного в средней части плотины;

б) водоотдачи слоя грунта, насыщаемого водой в процессе намыва путем инфильтрации с поверхности намываемого откоса;

в) водоотдачи свеженамытого грунта.

Максимальный среднесуточный расход воды на 1 *м* плотины при условии отрыва депрессионной поверхности от прудка, как это показано на рис. IV—24—IV—28, может быть вычислен по формуле

$$q = k_я J L_п + \mu_т \left(k_т J \frac{t}{24} + \Delta H \right) L_н \; м^3/сутки \,, \qquad \text{(IV - 70)}$$

где $k_я$ — коэффициент фильтрации ядра плотины в *м/сутки*;
$k_т$ — коэффициент фильтрации тела плотины в *м/сутки*;
$\mu_т$ — коэффициенты водоотдачи грунта тела плотины;
$J=1$ — уклон потока при инфильтрации;
t — время, в течение которого откос смачивается водой в сутки (в часах);
ΔH — высота намыва за 1 сутки (в *м*);
$L_п$ — длина прудка в *м*;
$L_н$ — длина намываемого откоса без прудка в *м*.

При заданной величине расхода q *м³/сутки* и интенсивности намыва ΔH среднесуточное время, в течение которого допускается смачивание намываемого пляжа водой на участке намыва $L_н$, может быть определено по следующей формуле, полученной из зависимости (IV—70) при $J=1$:

$$t = \frac{q - k_я L_п - \mu_т \Delta H L_н}{\mu_т k_т L_н} \cdot 24 \; час \,. \qquad \text{(IV - 71)}$$

Возможное по условиям производства работ максимальное среднесуточное время смачивания намываемого пляжа водой при торцовом намыве может быть определено по приближенной формуле В. А. Мелентьева (ВНИИГ):

$$t_{макс} = 0{,}63 \frac{\omega}{\Omega} \cdot 24 \; час \,, \qquad \text{(IV - 72)}$$

где ω — площадь смоченной поверхности карты (без прудка) в момент намыва;
Ω — полная площадь поверхности карты (без прудка), на которой происходит намыв в течение суток.

Примечание. При ином методе намыва максимальное суточное время смачивания намываемой карты водой определяется по данным проекта организации работ.

Расчет фильтрации в теле плотины в процессе ее намыва сводится к определению высоты выхода фильтрационного потока на откос и положения кривой депрессии на всем протяжении намываемого профиля для ряда характерных ярусов намыва. При этом для верхних ярусов намыва следует считать за предельно высокое положение кривой депрессии то, при котором ее ордината в створе 3—3 равна ординате точки A, т. е. $y_x = H_н$.

Ниже дается приближенный метод расчета фильтрации для некоторых наиболее характерных схем строения основания плотин. При этом предполагается, что прудок имеет малую ширину $L_п = (0{,}10 \div 0{,}15)(L_н + L_п)$ и между депрессионной поверхностью и поверхностью намыва имеется разрыв.

1. Плотина на водонепроницаемом основании (рис. IV—24). Высота выхода депрессионной кривой $h_в$ на низовой откос при отсутствии воды в нижнем бьефе

определяется по формуле (IV—4) и при наличии воды в нижнем бьефе — подбором из следующей зависимости В. М. Шестакова:

$$\frac{q}{k_т} = \frac{h_в}{m_2}\left(1 + \frac{H_2}{h_в + \frac{H_2}{2m_2+1}}\right), \qquad \text{(IV - 73)}$$

где q определяется по формуле (IV—70).

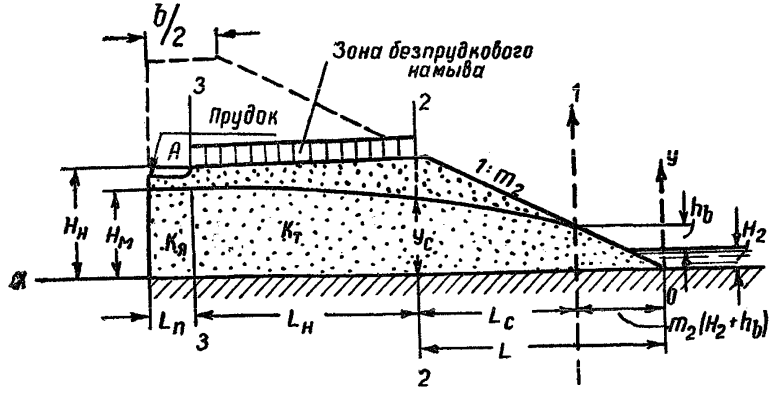


Рис. IV-24. Схема к расчету фильтрации в период намыва при водонепроницаемом основании

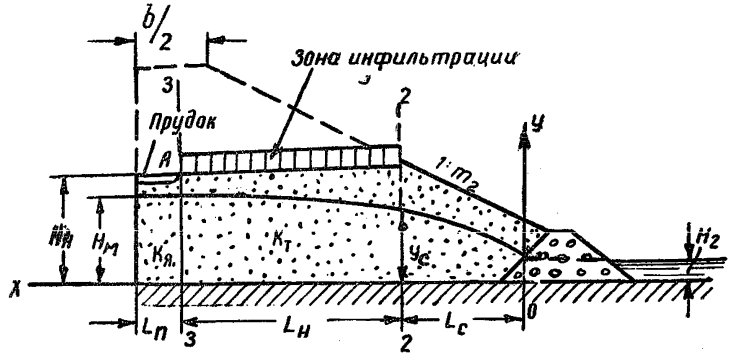


Рис. IV-25. Схема к расчету фильтрации в период намыва при водонепроницаемом основании и наличии дренажной призмы

Кривая депрессии вычисляется по формулам:
на участке между сечениями *1—1* и *2—2*

$$y_x = \sqrt{(h_в + H_2)^2 + 2\frac{q}{k_т}\left[x - m_2(h_в + H_2)\right]}; \qquad \text{(IV - 74)}$$

на участке между сечениями *2—2* и *3—3*

$$y_x = \sqrt{y_c^2 + \frac{w}{k_т}\left[2L_н(x-L) - (x-L)^2\right] + 2\frac{k_я}{k_т}L_п(x-L)}, \qquad \text{(IV - 75)}$$

где y_c — глубина потока в сечении *2—2*, определяемая по формуле (IV—74), полагая в ней $x=L_c+m_2(h_в+H_2)$;

w — инфильтрация (т. е. количество воды, просачивающейся в 1 сутки через единицу площади), которая может быть найдена по формуле

$$w = \mu_т \left(k_т \frac{t}{24} + \Delta H \right). \qquad \text{(IV-76)}$$

2. Плотина с дренажом в виде каменной призмы (рис. IV—25). Кривая депрессии вычисляется по формулам:

на участке между началом координат и сечением *2—2*

$$y_x = \sqrt{H_2^2 + 2\frac{q}{k_т} x}\ ; \qquad \text{(IV-77)}$$

на участке между сечениями *2—2* и *3—3*

$$y_x = \sqrt{y_c^2 + \frac{w}{k_т}\left[2L_н(x-L_c) - (x-L_c)^2\right] + 2\frac{k_я}{k_т} L_п (x-L_c)}, \qquad \text{(IV-78)}$$

где y_c следует определять, полагая в формуле (IV—77), $x = L_c$.

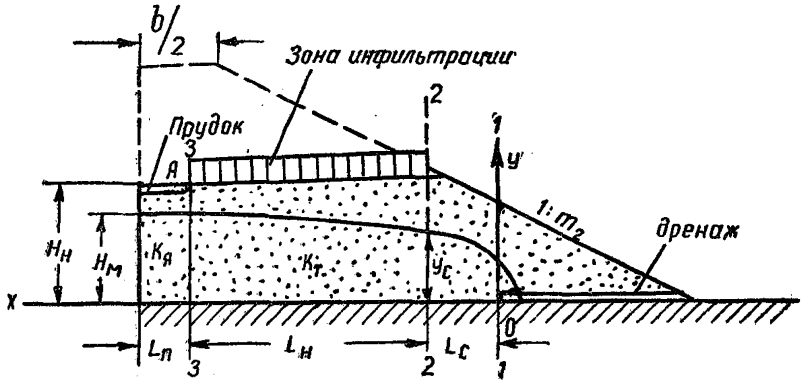


Рис. IV-26. Схема к расчету фильтрации в период намыва при водонепроницаемом основании и наличии дренажного тюфяка

3. Плотина с дренажным тюфяком (рис. IV—26). Кривая депрессии вычисляется по формулам:

на участке между сечениями *1—1* и *2—2*

$$y_c = \sqrt{\left(\frac{q}{k_т}\right)^2 + 2\frac{q}{k_т} x}\ ; \qquad \text{(IV-79)}$$

на участке между сечениями *2—2* и *3—3* — по формуле (IV—78), если подставить в нее ординату y_c, определяемую по формуле (IV—79) при $x=L_c$.

4. Плотина на водопроницаемом основании (рис. IV—27). Высота выхода депрессионной кривой на откос $h_в$ определяется подбором из зависимостей, предложенных Шестаковым В. М.:

при отсутствии воды в нижнем бьефе

$$\frac{q}{k_т} = \frac{h_в}{m_2}\left(1 + \frac{T}{h_в + \dfrac{0{,}45}{m_2} T}\right); \qquad \text{(IV-80)}$$

при наличии воды в нижнем бьефе

$$\frac{q}{k_т} = \frac{h_в}{m_2}\left(1 + \frac{H_2}{h_в + \dfrac{H_2}{2m_2+1}} + \frac{T}{h_в + \dfrac{0{,}45}{m_2}T}\right). \qquad \text{(IV-81)}$$

Кривая депрессии вычисляется по формулам:
на участке между сечениями *1—1* и *2—2*

$$y_x = \left(1 - \frac{k_0}{k_т}\right)T + \sqrt{\left(\frac{k_0}{k_т}T + h_в + H_2\right)^2 + 2\frac{q}{k_т}[x - m_2(h_в + H_2)]}; \qquad \text{(IV-82)}$$

на участке между сечениями *2—2* и *3—3*

$$y_x = \frac{k_т}{k_0}\sqrt{\left(\frac{k_0}{k_т}\right)^2 y_c^2 + \frac{w}{k_т}\left[2L_н(x - L) \quad (x - L)^2\right]} + 2\frac{k_я}{k_т}L_п(x - L), \qquad \text{(IV-83)}$$

где y_c следует определять по формуле (IV—82), полагая в ней $x = L_c + m_2(h_в + H_2)$.

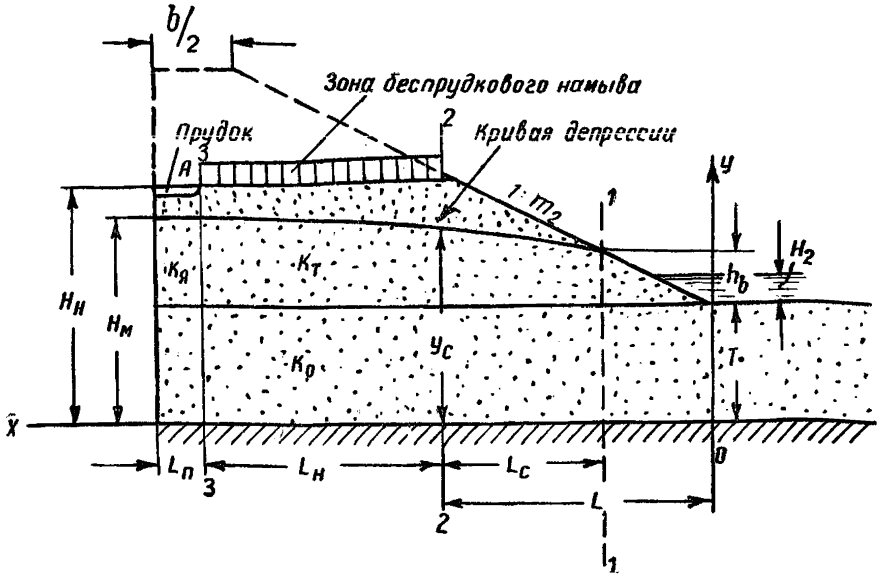


Рис. IV-27. Схема к расчету фильтрации в период намыва при проницаемом основании

5. Плотина на водопроницаемом основании при наличии естественной дрены (рис. IV—28). При наличии вблизи намываемой плотины реки или местного понижения, оказывающих дренирующее влияние на фильтрационный поток (рис. IV—28), кривая депрессии вычисляется по следующим формулам:
на участке между началом координат и сечением 1—1

$$y_x = \sqrt{H_2^2 + 2\frac{q}{k_0}x}, \qquad \text{(IV-84)}$$

где x изменяется от нуля до $L_р$

$$L_р = k_0\frac{T^2 - H_2^2}{2q}; \qquad \text{(IV-85)}$$

на участке между сечениями *1—1* и *2—2*

$$y_x = \left(1 - \frac{k_0}{k_т}\right) T + \sqrt{\left(\frac{k_0}{k_т} T\right)^2 + 2 \frac{q}{k_т} (x - L_р)} \; ; \qquad \text{(IV-86)}$$

на участке между сечениями *2—2* и *3—3*

$$y_x = \frac{k_т}{k_0} \sqrt{\left(\frac{k_0}{k_т} y_c\right)^2 + \frac{w}{k_т} [2L_н (x - L_c - L_р) - (x - L_c - L_р)^2] + 2 \frac{k_я}{k_т} L_п (x - L_c - L_р)}, \qquad \text{(IV-87)}$$

где y_c определяется по формуле (IV—86), если принять $x = L_c + L_р$.

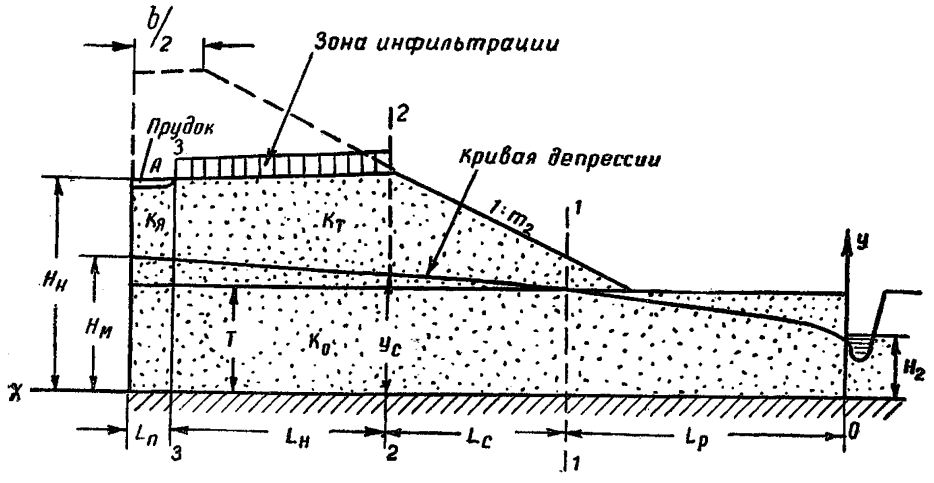


Рис. IV-28. Схема к расчету фильтрации в период намыва при проницаемом основании и наличии естественной дрены

6. Плотина на водопроницаемом основании при наличии в нем естественной дрены и бытового потока (рис. IV—29). Если плотина намывается на водопроницаемом основании вблизи реки, являющейся дреной для бытового грунтового потока с расходом q_0, то положение кривой депрессии следует определять исходя из величины расхода, складывающегося из бытового расхода q_0 и расхода, фильтрующего из тела плотины 2 q.

Кривая депрессии вычисляется по следующим формулам:

на участке между началом координат и сечением *2—2*

$$y_x = \sqrt{H_2^2 + 2 \frac{2q + q_0}{k_0} x} \; , \qquad \text{(IV-88)}$$

где q_0 — расход бытового грунтового потока в *м³/сутки* на 1 *м*;

q — расход, поступающий в тело плотины при намыве, определяемый по формуле (IV—70);

на участке между сечениями *2—2* и *3—3*

$$y_x = \sqrt{y_c^2 + \frac{2q}{k_0 L} [2L (x - L_c) - (x - L_c)^2] + 2 \frac{q_0}{k_0} (x - L_c)} \; , \qquad \text{(IV-89)}$$

где y_c — глубина потока в сечении *2—2*, определяемая по формуле (IV—88), при $x = L_c$;

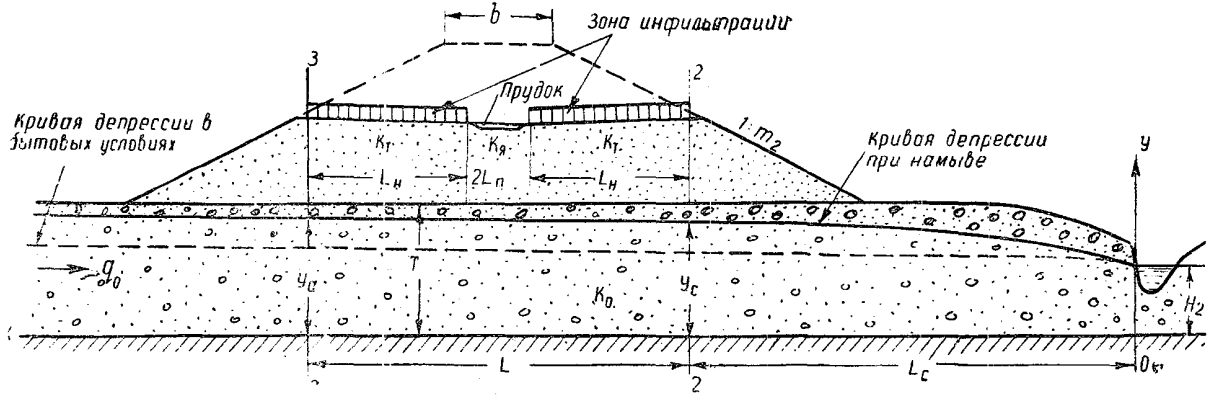


Рис. IV-29. Схема к расчету фильтрации в период намыва при проницаемом основании и наличии бытового грунтового потока

на участке выше сечения *3—3*

$$y_x = \sqrt{y_a^2 + 2\frac{q_0}{k_0}(x - L_c - L)}\ , \qquad \text{(IV-90)}$$

где y_a — глубина потока в сечении *3—3*, определяемая по формуле (IV—89), при $x = L_c + L$.

Если окажется, что $y_a > T$, тогда расчет следует производить используя зависимости, приведенные в пп. 1—5 настоящего приложения.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

А. Расчет устойчивости откосов по круглоцилиндрической поверхности

При расчетах необходимо учитывать, что в данном случае на сползающий массив могут действовать, помимо собственного веса G, следующие силы:

а) взвешивания B;

б) гидродинамические при фильтрации воды через плотину $Ф$;

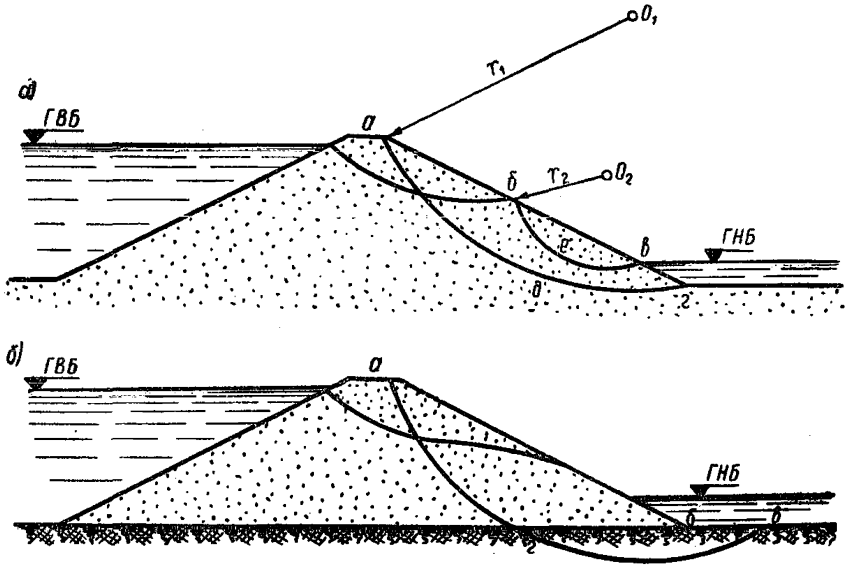


Рис. V-1. Схемы к определению наиболее опасной кривой сползания

в) гидродинамические при динамическом воздействии на водонасыщенный песчаный откос $Д$ (сейсм, взрыв и пр.);

г) гидродинамические при неустановившейся консолидации грунтов ядра и связных грунтов основания $П$;

д) инерционные, возникающие при сейсме, S.

При расчетах по круглоцилиндрическим поверхностям следует определять такую поверхность оползания, для которой коэффициент устойчивости будет минимальным. Это производится путем ряда подсчетов, производимых с учетом следующих замечаний:

а) наиболее опасная кривая сползания песчаного откоса на песчаном основании (при расчете всего откоса по высоте в целом) проходит через подошву откоса *адг* (рис. *V*—1,*а*), а при расчете лишь некоторого участка откоса по высоте она проходит через нижнюю точку рассматриваемого участка, например через точку *в* участка *бев* (рис. V—1,*а*);

б) наиболее опасная кривая сползания песчаного откоса на глинистом основании может проходить не только через подошву откоса, но также и в его основании (*агв* на рис. V—1,*б*);

в) приближенно наиболее опасную кривую сползания (исключая случай *частичного сползания*)[1] *можно определять, проводя прямую ab* (рис. V—2), соединяющую бровку откоса *B* и точку *b*, лежащую ниже подошвы откоса на его высоту и в сторону от подошвы *A* на расстояние, равное пятикратной высоте откоса — $5h$; на этой прямой и берется ряд центров кривой сползания 0; 0_1; 0_2.

Вычислив коэффициенты запаса на устойчивость K, K_1, K_2... графическим путем (рис. V—2), находят минимальное из значений K—$K_{мин}$; затем *проводят из точки*, где $K = K_{мин}$, *линию*, перпендикулярную линии *ab*. На этой прямой намечают ряд центров кривой сползания 0′, 0″ и аналогичным путем находят $K_{мин\cdot мин}$.

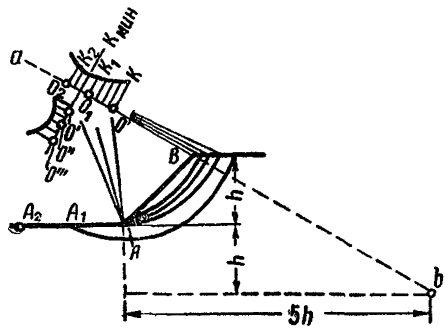


Рис. V-2. Схема к приближенному определению наиболее опасной кривой сползания

Подобное построение нужно сделать затем для кривых скольжения, начинающихся в точках A_1, A_2 и т. д.[1]

Примечание. При отыскании положения наиболее опасной поверхности сползания (положения центра и величины радиуса кривой) могут быть использованы и другие приемы, рекомендуемые в ТУиН гидротехнических сооружений или в курсах *по гидротехническим сооружениям*[2].

При отыскании подбором наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности сползания или расчетных поверхностей сползания подсчет коэффициента запаса устойчивости K для каждой поверхности производится путем разбивки сползающего массива грунта на отдельные отсеки.

Примечание. Для упрощения расчетов ширину отсеков рекомендуется принимать $b = \frac{R}{10} \div \frac{R}{20}$ (R — радиус кривой сползания), при этом разбивку на отсеки следует начинать с нулевого, средина которого находится на одной вертикали с центром кривой сползания.

В тех случаях, когда откос и основание однородны, для расчета устойчивости может быть применен графоаналитический метод «круга φ», изложенный ниже (п. Б. настоящего приложения).

Коэффициент устойчивости при расчете откоса по способу круглоцилиндрических поверхностей, с разбивкой сползающего массива на отдельные отсеки шириной b, с учетом лишь веса отсеков G_n определяется по формуле

$$K = \frac{\Sigma G_n \cos \alpha_n \operatorname{tg} \varphi_n + \Sigma c_n l_n}{\Sigma G_n \sin \alpha_n}, \qquad \text{(V-1)}$$

где G_n — вес отсека брутто (вес грунта с водой в порах)

$$G_n = z_n' \gamma_{вл} b;$$

$\gamma_{вл}$ — объемный вес влажного грунта

$$\gamma_{вл} = \gamma_{ск} (1 + w);$$

---

[1] М. М. Гришин, Гидротехнические сооружения, ч. 1, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954.

[2] ВНИИ ВОДГЕО, Инструкция по проектированию, возведению и эксплуатации насыпных земляных плотин, Стройиздат, 1943.

ВНИИГ, Технические условия и нормы проектирования гидротехнических сооружений, Земляные насыпные плотины, Стройиздат, 1941.

ВНИИ ВОДГЕО, Справочник по гидротехнике, Госстройиздат, 1955.

$\gamma_{ск}$ — объемный вес скелета грунта определяется в соответствии с рекомендациями ч. III, разд. 5 текста;

w — влажность грунта в долях единицы;

z_n' — средняя высота отсека;

α_n — угол между вертикалью и радиусом, проведенным через середину дуги отсека (рис. V—3);

$\operatorname{tg}\varphi_n$ и c_n — коэффициенты трения и сцепления грунта в пределах поверхности основания отсека ($\operatorname{tg}\varphi_n$ и c_n определяются в соответствии с рекомендациями ч. III, разд. 5 текста);

l_n — длина поверхности сползания в пределах отсека шириной b

$$l_n = \frac{b}{\cos \alpha_n}.$$

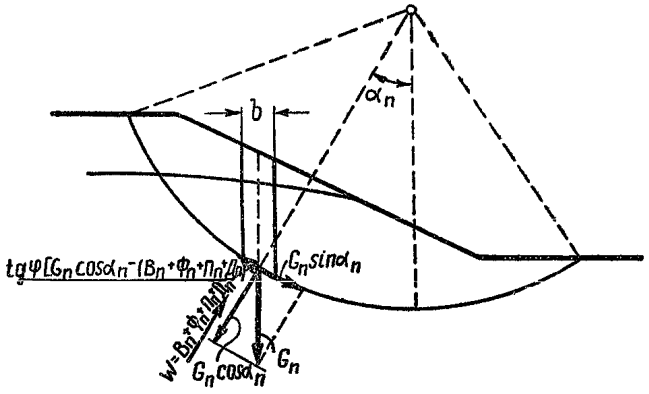


Рис. V-3. Схема к определению коэффициента устойчивости при расчете откоса по способу круглоцилиндрических поверхностей

При действии на отсеки сползающего массива, кроме собственного веса грунта еще и сил взвешивания В или гидродинамических $Ф$, $Д$, $П$ (рис. V—3), коэффициент устойчивости рекомендуется определять по формуле, предложенной А. А. Ничипоровичем:

$$K = \frac{\operatorname{tg}\varphi_n \Sigma\,[G_n \cos\alpha_n - (B_n + Ф_n + П_n + Д_n)] + \Sigma\, c_n l_n}{\Sigma\, G_n \sin\alpha_n}, \qquad \text{(V-2)}$$

где G_n — вес отсека брутто; на участке выше кривой депрессии принимается как вес влажного грунта $\gamma_{вл}$, а ниже кривой депрессии — как вес грунта, насыщенного водой $\gamma_{нас}$.

Примечания. 1. При реальном проектировании могут быть самые разнообразные комбинации сил $В$, $Ф$, $П$ и $Д$.

Только силы $В$ (при $Ф{=}П{=}Д{=}0$) могут действовать в случае практически горизонтальной поверхности грунтовых вод в пределах сползающего массива (рис. V—4,*а*).

Силы $В$ и $Ф$ (при $П{=}Д{=}0$) могут иметь место при установившемся (рис. V—4,*б*), а силы $В{+}Ф{+}П$ — при неустановившемся (быстрый спад горизонта верхнего бьефа) фильтрационном потоке через тело плотины (рис. V—4,*д*).

Силы $П$ и $В$ могут действовать в строительный период при слабопроницаемых грунтах основания и быстром возведении сооружения (рис. V—4,*в*) или в ядре плотины (только сила $П$) — в процессе его консолидации (рис. V—4,*г*).

Силы *Д* одновременно с *В* и *Ф* могут иметь место в песчаных грунтах при действии на сползающий массив, кроме сил тяжести, также инерционных сил (рис. V—4,*е*); об учете этих сил см. ниже.

2. Совместное действие сил *Д* и *П* для одного и того же грунта исключается, так как сила *Д* действует только в песчаных грунтах, а сила *П* — только в связных грунтах.

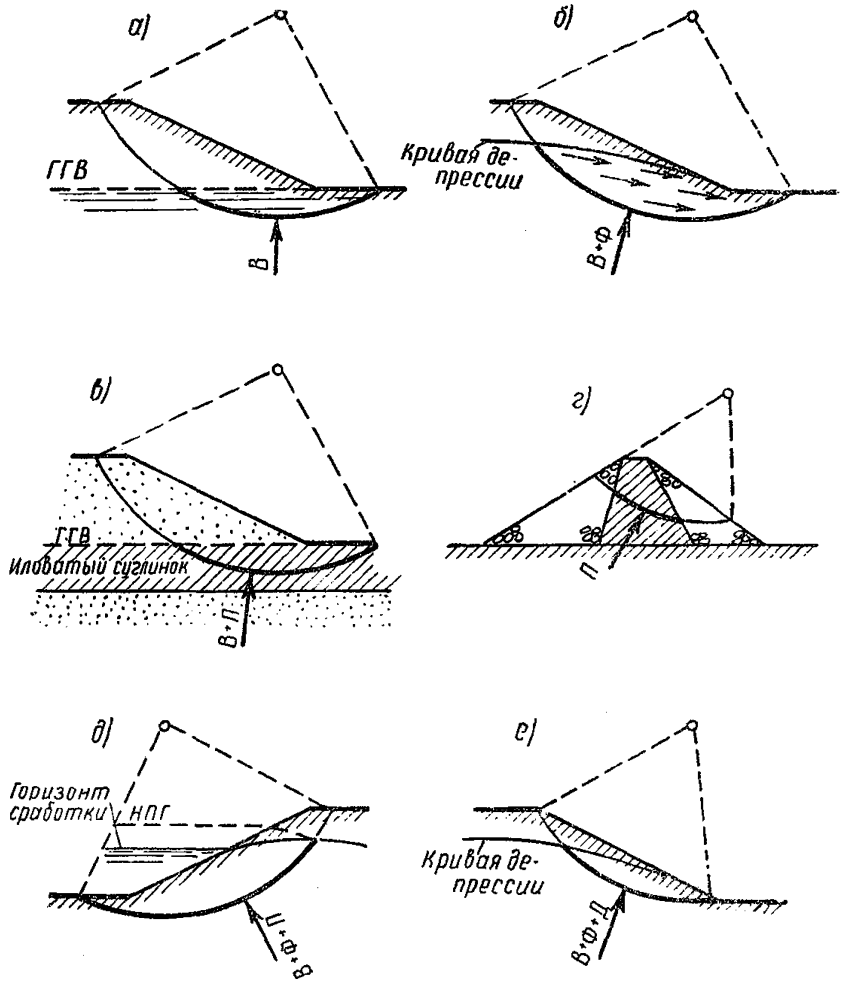


Рис. V-4. Схемы возможных комбинаций сил *В*, *Ф*, *П* и *Д*

3. Все указанные выше силы (*В*, *Ф*, *П* и *Д*) по отношению к сползающему массиву приводятся к силам внешним и выражаются через давление воды с направлением, нормальным к дуге поверхности сползания.

В случае, когда на сползающий массив, помимо других сил, действуют также сейсмические силы *S* (рис. V—5), коэффициент устойчивости рекомендуется определять по уравнению

$$K = \frac{\Sigma \operatorname{tg} \varphi_n \left[G_n \cos \alpha_n - (B_n + \Phi_n + \Pi_n + Д_n)\right] + \Sigma c_n l_n}{\Sigma G_n \sin \alpha_n + S \dfrac{r}{R}}, \qquad \text{(V-3)}$$

где r — плечо силы S относительно центра поверхности сползания;
R — радиус кривой сползания.

Все другие обозначения, входящие в формулу (V—3), те же, что и в формуле (V—2).

Учет сейсмических сил S, входящих в формулу (V—3), производится следующим образом. Ко всем силам тяжести сползающего массива грунта тела и основания плотины и объему воды, заключенному в его порах, прикладываются в центре тяжести дополнительные инерционные силы, направление которых принимается горизонтальным — в сторону возможного сползания грунта.

Примечание. Инерционные силы от прилегающей к сооружению массы воды верхнего или нижнего бьефа рекомендуется не учитывать.

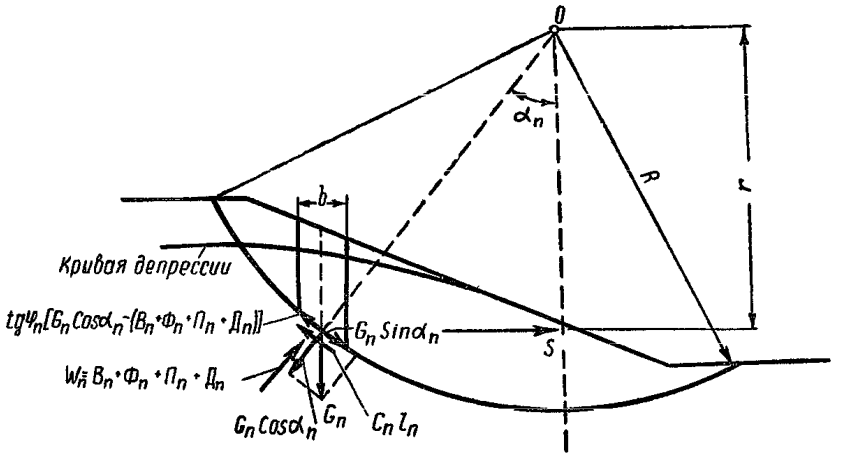


Рис. V-5. Расчетная схема при учете сейсмических сил S

Величина инерционных сил устанавливается на основании указаний, приведенных в СН 8-57*.

В соответствии с СН 8-57 эти силы по величине должны составлять такую часть сил тяжести, которая равна отношению сейсмического расчетного ускорения к ускорению силы тяжести (g) для соответствующего района.

Расчетная величина сейсмических сил инерции определяется по формуле

$$S = \alpha_c K_c P , \qquad \text{(V-4)}$$

где K_c — сейсмический коэффициент, принимаемый согласно СН 8-57 по табл. (V—1);

α_c — коэффициент, зависящий от динамических характеристик сооружения и характера сейсмических воздействий, принимаемый по СН 8-57;

P — силовые воздействия, зависящие только от массы; в данном случае P равно весу сползающего массива грунта G, который при подсчетах в пределах кривой депрессии принимается насыщенным водой.

Таблица V-1

Расчетная сейсмичность в баллах . . .	7	8	9
Значение сейсмического коэффициента K_c	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{10}$

* Нормы и правила строительства в сейсмических районах (СН 8-57) Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957.

В формуле (V—2) учет сил взвешивания B производится по зависимости

$$B_n = z_n'' \Delta \frac{b}{\cos \alpha_n}, \qquad (V\text{-}5)$$

где z_n'' — показана на рис. V—6;

Δ — объемный вес воды,

а учет G_n, согласно указаниям, приведенным выше,— по зависимости

$$G_n = b \left[\left(z_n' - z_n'' \right) \gamma_{вл} + z_n'' \gamma_{нас} \right] \qquad (V\text{-}6)$$

или, если откос находится полностью в подводном состоянии, по формуле

$$G_n = b z_n' \gamma_{нас} . \qquad (V\text{-}7)$$

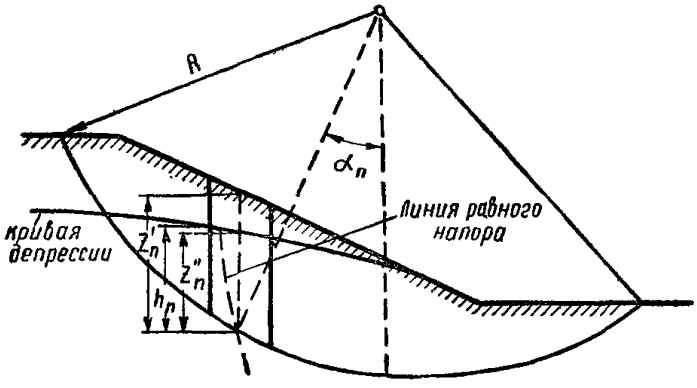


Рис. V-6. Схема к учету взвешивающих и гидродинамических сил

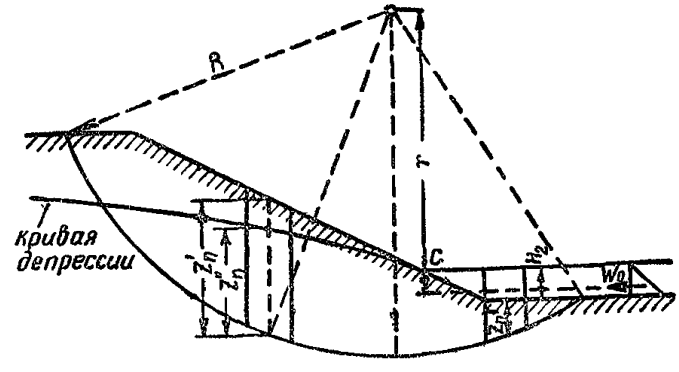


Рис. V-7. Расчетная схема для подводных отсеков

Учет сил взвешивания B и гидродинамических сил при фильтрации воды в пределах сползающего массива Φ может быть произведен, если вставить в формулу (V—2) значения B_n, Φ_n, полученные по зависимости, предложенной А. А. Ничипоровичем:

$$B_n + \Phi_n = h_n \frac{\Delta b}{\cos \alpha_n}, \qquad (V\text{-}8)$$

где h_n — пьезометрическая высота для центра отсека, определяемая по гидродинамической сетке (рис. V—6).

Примечание. Учитывая, что эквипотенциали фильтрационного потока в пределах сползающего массива часто бывают близки к вертикалям, в формуле (V—8) приближенно можно принимать $h_n = z''_n$.

Для отсеков, находящихся под водой и при наличии над ними слоя воды (рис. V—7), вес отсека G_n определяется с учетом веса воды

$$G_n = (h_n \gamma_{\text{нас}} + H_2 \Delta)\, b, \qquad \text{(V-9)}$$

где

$$h_n \approx z^1_n .$$

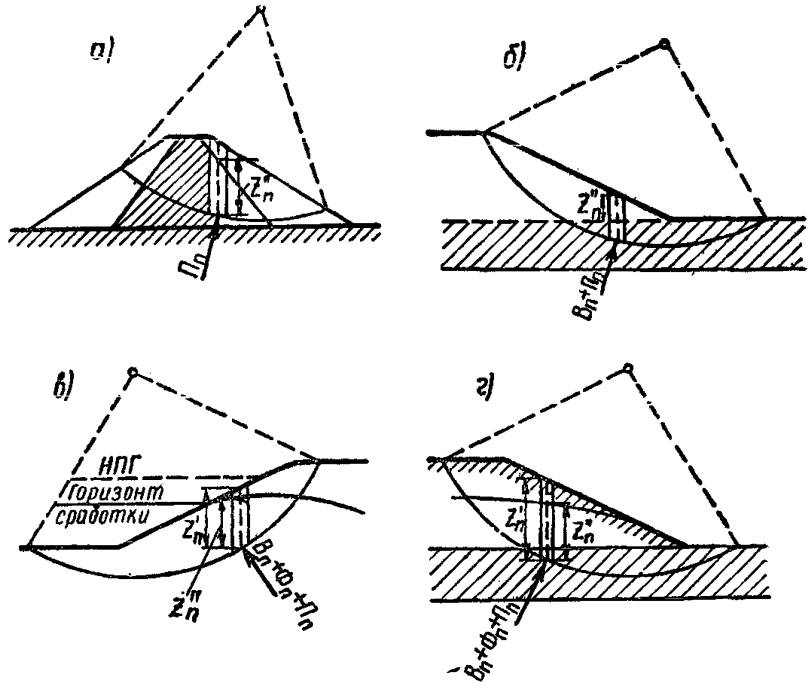


Рис. V-8. Схемы к учету порового давления $П$

При значительной глубине воды перед откосом в нижнем бьефе H_2 следует учитывать и горизонтальное давление воды на сползающий массив W_0 по формуле

$$W_0 = \frac{H_2^2 \Delta}{2}, \qquad \text{(V-10)}$$

вводя в уравнение (V—2) момент от этой силы в числитель в виде дополнительного члена $W_0 \frac{r}{R}$ (где r — плечо силы W_0 относительно центра окружности с радиусом R).

Примечание. При расчете верхового откоса в случае быстрой сработки воды в водохранилище порядок расчета остается без изменения. Кривая депрессии в этом случае строится в соответствии с указаниями приложения IV, Б.

Учет гидродинамических сил, возникающих в пределах сползающего массива вследствие незавершенной консолидации, может быть выполнен по рекомендации А. А. Ничипоровича подстановкой в формулу (V—2) для каждого отсека величины порового давления $П_n$, возникающего по поверхности сползания.

Величину $П_n$ рекомендуется определять следующим образом:

а) для расчетной схемы (рис. V—8,*а*) по формулам

$$П_n = П_{n\ макс}\ \alpha_n'; \tag{V-11}$$

$$П_{n\ макс} = z_n' \gamma_{вл} \frac{b}{\cos \alpha_n}, \tag{V-12}$$

где $П_{n\ макс}$ — максимальное поровое давление;

α_n' — коэффициент порового давления, который может изменяться в пределах от 0 до 1 и зависит как от степени консолидации, так и от плотности и характера грунта;

в первый период после приложения нагрузки величину α_n' рекомендуется определять, используя данные Павилонского В. М. (см. ч. III, разд. 5) или экспериментально;

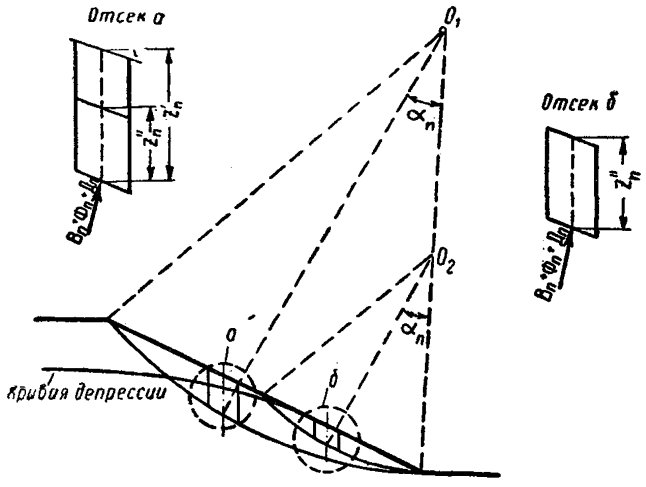


Рис. V-9. Схема к учету избыточного пьезометрического давления $Д_п$ на поверхности сползания

б) для расчетной схемы рис. V—8,*б* по формуле

$$П_n = z_n'' \gamma_{вл} \frac{b}{\cos \alpha_n} \alpha_n' \tag{V-13}$$

с обязательным учетом при этом сил B_n по формуле (V—5);

в) для расчетной схемы рис. V—8, *в*, *г* по формуле

$$П_n = \left(z_n' - z_n'' \right) \gamma_{вл} \frac{b}{\cos \alpha_n} \tag{V-14}$$

с обязательным учетом при этом сил $B_n + \Phi_n$ по формуле (V—8).

Для случаев динамических воздействий на водонасыщенный песчаный откос учет возникающих в результате этих воздействий гидродинамических сил в пределах сползающего массива может быть произведен согласно рекомендации А. А. Ничипоровича по формуле (V—2) путем подстановки в нее максимального избыточного пьезометрического давления на поверхности сползания $Д_п$.

Величину $Д_п$ рекомендуется определять по зависимости

$$Д_n = P_n \alpha_n'', \tag{V-15}$$

где P_n — нагрузка на поверхность сползания для каждого отсека;

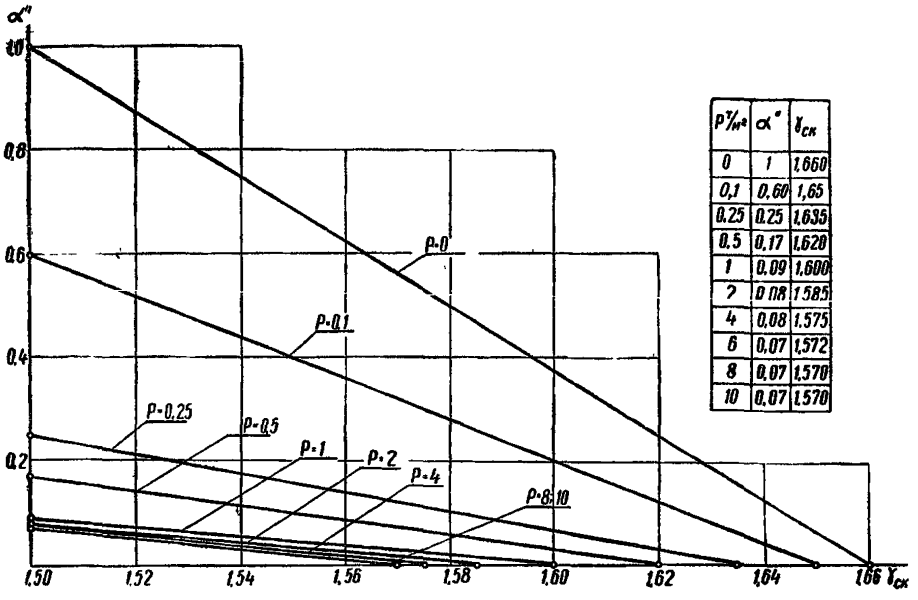
α''_n — коэффициент разжижения (см. ч. III, разд. 5, § 11 текста).

Величину P_n для случая заглубленной кривой депрессии (рис. V—9, отсек *а*) следует определять из выражения

$$P_n = \left(z'_n \gamma_{вл} - z''_n \Delta \right) \frac{b}{\cos \alpha_n}, \qquad \text{(V-16)}$$

а в случае выхода кривой депрессии на откос (рис. V—9, отсек *б*) или для откоса в подводном состоянии соответственно из выражения

$$P_n = z''_n \left(\gamma_{вл} - \Delta \right) \frac{b}{\cos \alpha_n}. \qquad \text{(V-17)}$$



ρ т/м²	α''	γск
0	1	1,660
0,1	0,60	1,65
0,25	0,25	1,635
0,5	0,17	1,620
1	0,09	1,600
2	0,08	1,585
4	0,08	1,575
6	0,07	1,572
8	0,07	1,570
10	0,07	1,570

Рис. V-10. График зависимости $\alpha'' = f(\gamma_{ск}, P)$

Величина α''_n зависит как от P_n, так и от плотности грунта $\gamma_{ск}$ (объемного веса скелета) в области, в которой проходит расчетная поверхность сползания. Значения $\gamma_{ск}$ грунта определяются в соответствии с рекомендациями ч. III, разд. 5 текста.

По известным величинам P_n и $\gamma_{ск}$ величину α'' рекомендуется определять, используя график рис. V—10, который действителен для мелкозернистых песков с коэффициентом неоднородности порядка $\eta = 3 \div 4$ и при динамическом воздействии, характеризуемом ускорением в пределах 1—1,1*g* *см/сек*². Для других грунтов и при других динамических воздействиях для определения α'' необходимо строить график $\alpha'' = f(\gamma_{ск}, P_n)$ экспериментально.

Б. Расчет устойчивости откосов по способу круга φ

При расчете устойчивости откоса по способу, называемому кругом φ*, в основу которого положено условие невозможности отклонения реакции грунта R от нормали к кривой сползания в сторону сползания на величину угла большего,

* Н. М. Герсеванов и Д. Е. Польшин, Теоретические основы механики грунтов и их практические применения, 1948.

чем угол внутреннего трения грунта φ (рис. V—11), коэффициент запаса на устойчивость условно** определяется по формуле

$$K = \frac{r \operatorname{s\cdot n} \varphi}{d}, \qquad \text{(V-18)}$$

где r — радиус наиболее опасной кривой сползания;

φ — угол внутреннего трения грунта;

d — плечо относительно центра сползания равнодействующей всех сил, действующих на откос.

Порядок расчета при указанном способе можно рекомендовать следующий:

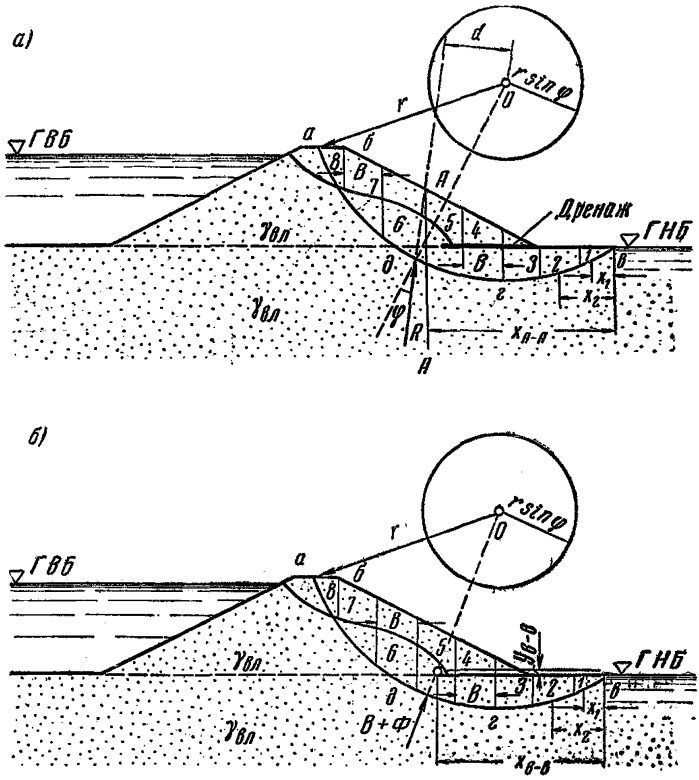


Рис. V-11. Общая схема к расчету устойчивости откоса по способу круга φ

1. Проводится дуга окружности радиусом r в соответствии с указаниями настоящего приложения, которая отделяет сползающий отсек грунта от ненарушаемой сползанием части откоса плотины.

2. Находится вес сползающего отсека по формуле

$$G = \Omega \gamma_{вл}, \qquad \text{(V-19)}$$

где Ω — площадь сползающего отсека;

$\gamma_{вл}$ — объемный вес грунта (с учетом наличия воды в его порах).

** Условность выражения (V—18) заключается в том, что предполагается отклонение равнодействующей сил, действующих на откос, на угол трения φ от нормали к поверхности для всех случаев работы откоса, а не только для случая предельного равновесия.

Примечание. Для удобства вычисления сползающий отсек *абвгд* (рис. V—11, *а* и *б*), начиная от точки *в*, возможно разбить вертикальными линиями на полосы шириной *b*, близкой по величине к 0,1 *r*.

3. Находится вертикаль, на которой лежит центр тяжести сползающего отсека, например *АА* (рис. V—11).

Примечание. Эту вертикаль можно определить по формуле

$$x_{AA} = \frac{\omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \cdots}{\omega_1 + \omega_2 + \cdots}, \qquad \text{(V-20)}$$

где ω_1; ω_2 — площади полос 1, 2... сползающего отсека (рис. V—11,*б*), если считать нумерацию полос от точки *в*;

x_1; x_2... — расстояния центров тяжести полос 1, 2... до точки *в*.

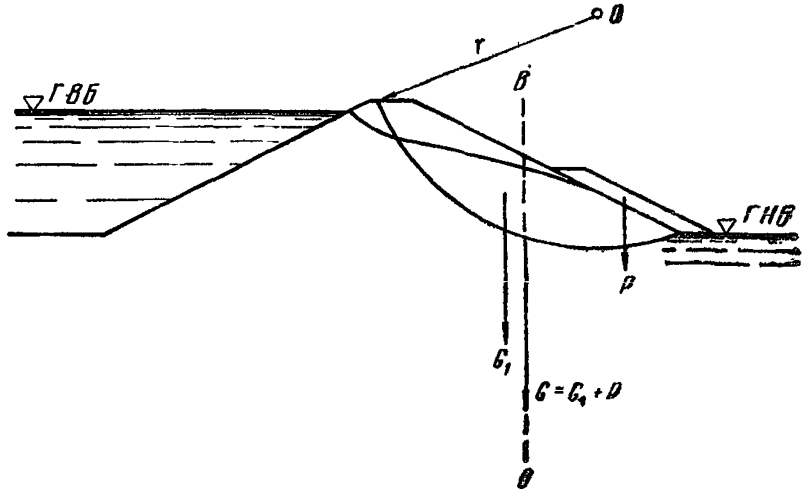


Рис. V-12. Схема к расчету устойчивости откоса по способу круга φ (сложение вертикальных сил)

4. При наличии на откосе внешней нагрузки *P* (в виде наслонного дренажа, пригрузки откоса или пригрузки его подошвы грунтом, а также и водой в нижнем бьефе, при наличии кривой сползания, проходящей ниже подошвы откоса и др.) находят равнодействующую внешней нагрузки и веса сползающего отсека (например, как показано на рис. V—12):

$$G_1 + P = G\,. \qquad \text{(V-21)}$$

5. Находят вертикаль *ВВ*, на которой лежит точка приложения равнодействующей, например для двух сил: собственного веса отсека и веса наслонного дренажа *P* (рис. V—12).

6. Находят равнодействующую $B + \Phi$ давления фильтрационного потока на сползающий отсек, которая в общем виде может быть найдена, если известно в отдельных точках давление по контуру сползающего отсека (например, на рис. V—13 равнодействующая фильтрационного давления, действующего в сползающем отсеке верхового откоса вследствие фильтрации воды из него при понижении горизонта воды перед откосом на полную его высоту).

Приближенно равнодействующая фильтрационного давления потока $B+\Phi$ может быть принята (с некоторым запасом) равной значению, вычисленному по формуле

$$B + \Phi = \Omega_\Phi \Delta\,, \qquad \text{(V-22)}$$

где Ω — площадь части сползающего отсека, занятого фильтрационным потоком (для случая рис. V—13 во всем отсеке *абв*);

Δ — объемный вес воды.

Линия действия фильтрационного давления $B+\Phi$ принимается направленной вдоль радиуса, проведенного через центр тяжести площади сползающего отсека, занятого фильтрационным потоком.

Центр тяжести этой площади находится, как точка пересечения двух прямых, отстоящих от точки b (см. рис. V—11,*б*) по горизонтали на расстояние x_{b-b} и по вертикали — на расстояние y_{b-b}. Значения x_{b-b} и y_{b-b} вычисляются по формулам:

$$x_{b-b} = \frac{\omega_{\Phi_1} x_1 + \omega_{\Phi_2} x_2 + \cdots}{\omega_{\Phi_1} + \omega_{\Phi_2} + \cdots}; \qquad \text{(V-23)}$$

$$y_{b-b} = \frac{\omega_{\Phi_1} y_1 + \omega_{\Phi_2} y_2 + \cdots}{\omega_{\Phi_1} + \omega_{\Phi_2} + \cdots}, \qquad \text{(V-23')}$$

где ω_{Φ_1}; ω_{Φ_2} — площади в полосах 1, 2, занятые фильтрационным потоком;

x_1; x_2 — расстояния по горизонтали центров тяжести площадей ω_{Φ_1}; ω_{Φ_2} от точки b;

y_1; y_2 — то же, по вертикали[1].

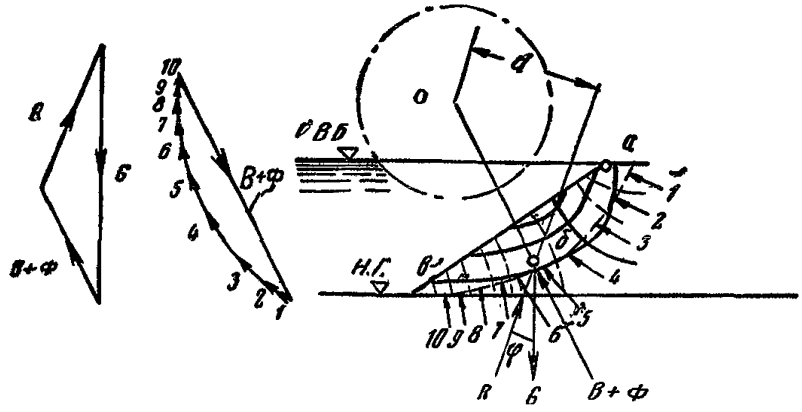


Рис. V-13. Схема к расчету устойчивости откоса по способу круга φ (учет фильтрационного давления)

7. Строят многоугольник всех сил, действующих на сползающий отсек (например, для случая, отраженного на рис. V—14,*а*), и находят направление равнодействующей R.

Примечание. Построение многоугольника сил удобнее выполнять вне рассчитываемого откоса (рис. V—14,*б*); например, сначала сложить равнодействующую вертикальных сил G и равнодействующую сил фильтрационного давления потока $B+\Phi$ и найти их равнодействующую Q; затем сложить силы Q и P (давление воды нижнего бьефа) и найти их равнодействующую, которая и является равнодействующей всех сил R; далее таким же путем найти ее направление.

8. Проводят линию по направлению действия равнодействующей и находят ее расстояние d от центра кривой сползания 0. На рис. V—14,*а* и *б* построение выполнено для песчаного откоса на песчаном основании при наличии воды в

[1] Знак y_1; y_2... в зависимости от положения площадей ω_{Φ_1}; ω_{Φ_2} .. (полос 1, 2) по отношению линии ∂b может быть положительным или отрицательным, соответственно и y_{b-b} может быть положительным или отрицательным.

нижнем бьефе. Здесь в вертикальную силу G входят как вес сползающего отсека грунта откоса *абвгд*, так и вес пригрузки откоса, находящейся частично в подводном, частично в сухом состоянии.

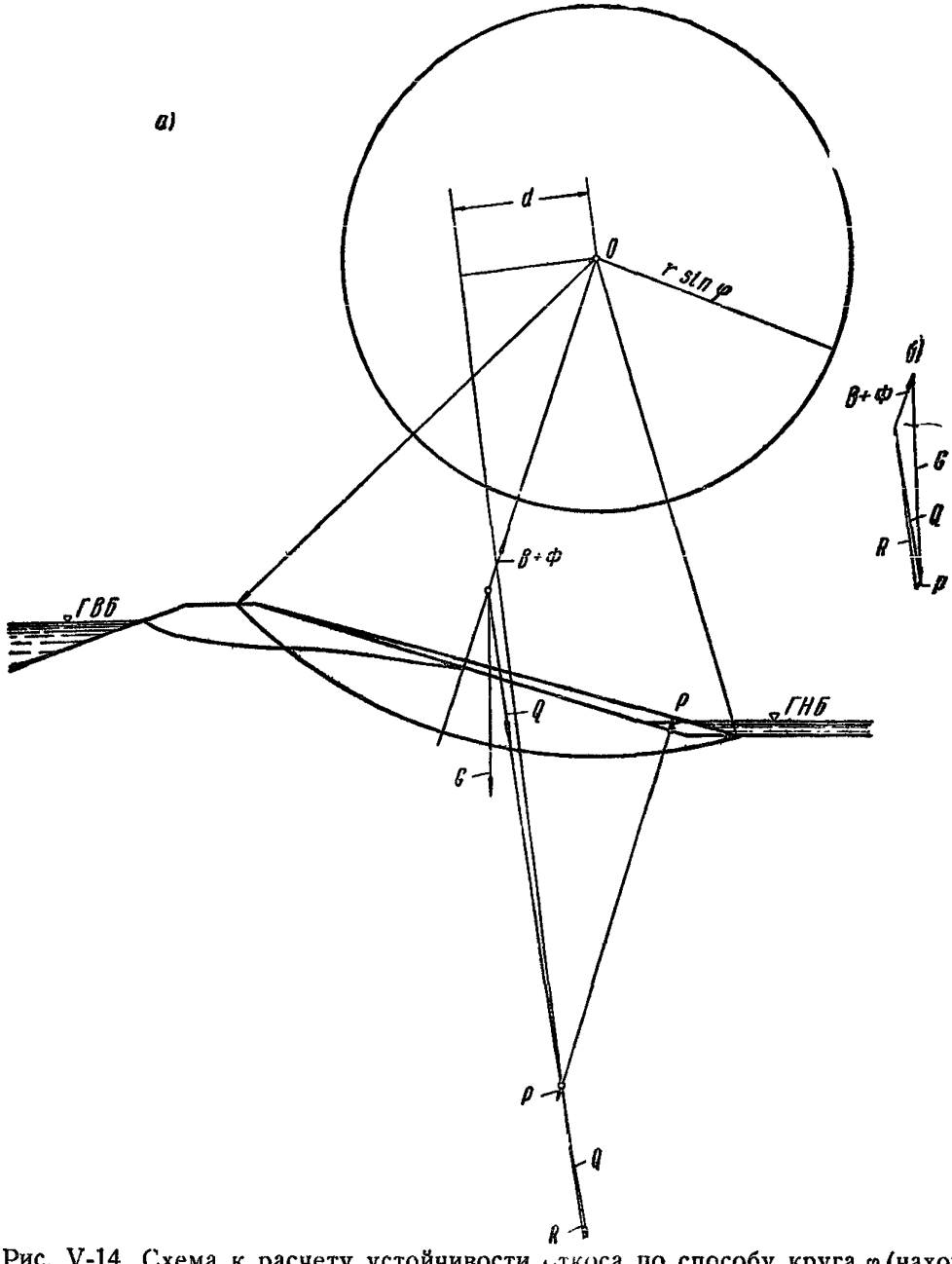


Рис. V-14. Схема к расчету устойчивости откоса по способу круга φ (нахождение равнодействующей и ее направление)

9. Вычисляется коэффициент запаса устойчивости всего откоса, например для откоса, изображенного на рис. V—14, при этом следует пользоваться формулой (V—18).

10. Производят учет действия инерционных сил, возникающих при сейсме, S, сил при динамическом воздействии на водонасыщенный откос $Д$, сил неуста-

новившейся консолидации грунтов ядра и основания $П$; выполняется он подобно тому, как это делается при расчете устойчивости откосов под действием сил собственного веса G и гидродинамического давления фильтрационного потока $B + Ф$.

При этом направление сил $Д$ и $П$ то же, что и направление сил $B+Ф$ (см. выше, п. А настоящего приложения), направление сил S берется также в соответствии с рекомендациями п. А настоящего приложения.

В. Обеспечение устойчивости откоса на участке, расположенном ниже выхода кривой депрессии

В случае выхода депрессионной кривой на откос, для обеспечения его устойчивости на участке, расположенном ниже кривой депрессии, назначение тол-

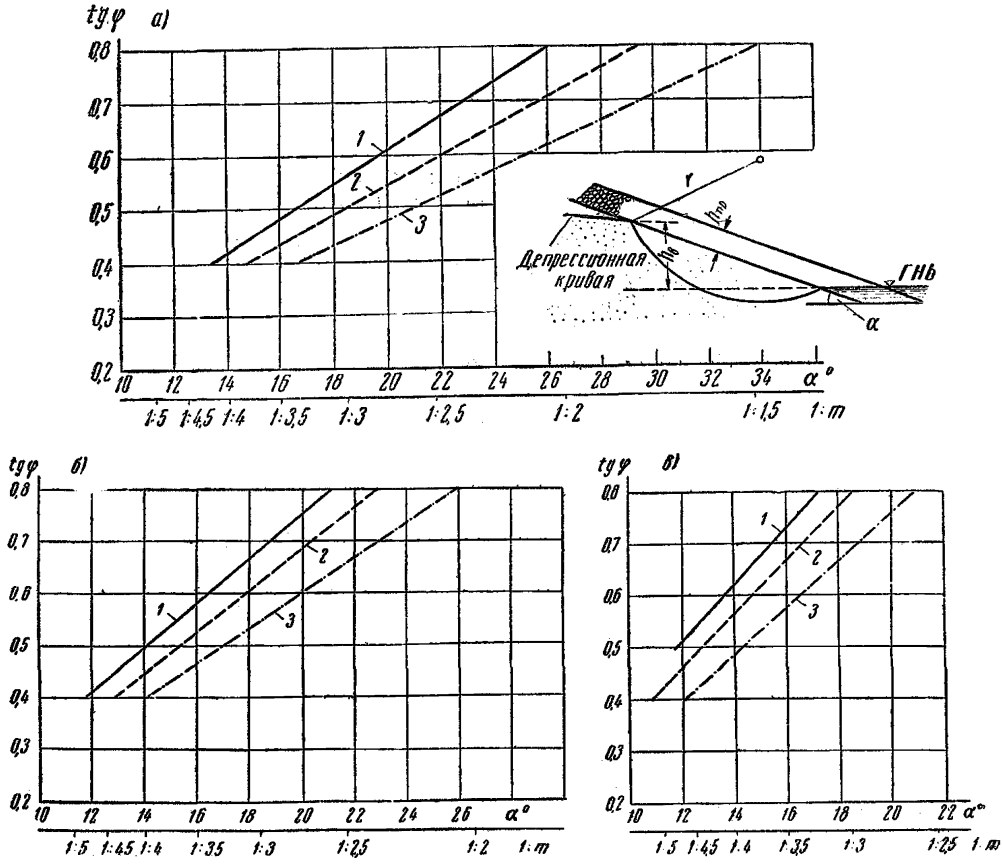


Рис. V-15. Графики $\frac{h_{пр}}{h_в} = f(\alpha, \operatorname{tg}\varphi)$ для расчета устойчивости откоса на участке ниже выхода кривой депрессии при $\frac{\gamma_{пр}}{\Delta} = 2$; $\frac{\gamma_{пр}}{\gamma_{гр}} = 0{,}78$

а) для коэффициента запаса $K = 1$;

б) $k = 1{,}2$; в) $k = 1{,}4$

$$1 - \alpha = \frac{h_{пр}}{h_в} = 0{,}05;\quad 2 - \alpha = \frac{h_{пр}}{h_в} = 0{,}1;\quad 3 - \alpha = \frac{h_{пр}}{h_в} = 0{,}2$$

щины пригрузки откоса возможно приближенно производить, пользуясь графиками рис. V—15,*а, б, в*, где по оси абсцисс даны углы заложения откоса α и уклоны $1 : m$, а по оси ординат — коэффициенты внутреннего трения $\operatorname{tg}\varphi$ грунта откоса для трех отношений толщины пригрузки $h_{пр}$ к высоте выхода депрессионной кривой на откос $h_в$.

Примечание. Порядок использования графиков рис. V—15,*а,б,в* может быть следующим: для заданного или выбранного при проектировании профиля плотины с заложением низового откоса m вычисляют по рекомендациям раздела 10 и приложения IV высоту выхода депрессионной кривой на откос $h_в$, по коэффициенту внутреннего трения грунта $\operatorname{tg}\varphi$ и, задаваясь коэффициентом запаса на устойчивость K, по одному из графиков рис. V—15,*а, б, в* находят отношение $\frac{h_{пр}}{h_в} = a$. Толщину пригрузки при объемном весе грунта тела плотины $\gamma_{гр} = 2$ *г/см*^{3} (*т/м*^{3}) и отношении объемных весов пригрузки и грунта $\frac{\gamma_{пр}}{\gamma_{гр}} = 0{,}78$ находят по формуле

$$h_{пр} = a h_в . \qquad \text{(V-24)}$$

При отличных от принятых при построении графиков рис. V—15,*а б, в* $\gamma_{пр}$ и $\gamma_{гр}$ толщину пригрузки можно вычислить приближенно (прикинуть), пользуясь формулой

$$h_{пр} = \frac{a}{0{,}78} = \frac{\gamma_{пр}}{\gamma_{гр}} = h_в . \qquad \text{(V-25)}$$

Г. Расчет устойчивости наружных призм намывной плотины с ядром

Расчет устойчивости намывной плотины с ядром состоит в определении коэффициента запаса на устойчивость наружных призм в соответствии с указаниями ч. III, разд. 1, 2, § 1 текста.

Наиболее опасным моментом в отношении устойчивости для намывной плотины с ядром является момент окончания постройки плотины вследствие значительного давления, развиваемого недостаточно уплотненным разжиженным ядром на внешние удерживающие призмы.

В процессе эксплуатации более опасным в отношении устойчивости, чем в период постройки, может быть случай наполненного водохранилища при наличии разжиженного ядра и при объемном весе материала призмы меньшем, чем у ядра $\left(\frac{\gamma_{пр}}{\gamma_я} < 1\right)$.

Для расчета устойчивости боковых призм намывной плотины с ядром можно использовать приближенный метод Гришина — Федорова[1], разработанный на основе следующих допущений; поверхность сползания внешней призмы является плоскостью, материал призм не обладает сцеплением, откосы ядра и призм прямолинейны, грунт основания деформироваться не может, гидродинамическое давление внутри наружных призм отсутствует.

Метод Гришина и Федорова для трапецеидального профиля плотин (рис. V—16) основан на рассмотрении условий устойчивости боковой призмы, находящейся под воздействием двух сил: давления ядра $Q_я$ и собственного веса призмы G. При этом предполагается, что часть призмы $ABED$ (рис. V—16) под влиянием силы $Q_я$ может сдвинуться по некоторой плоскости DE, наклоненной под некоторым углом λ° к горизонту. Этому сопротивляются силы трения, возникающие по указанной плоскости. Устойчивость призмы $ABED$ обеспечивается, если

---

[1] Проф. М. М. Гришин и инж. Б. Н. Федоров, О расчете намывных плотин. Труды лаборатории гидротехнических сооружений института ВОДГЕО, вып. 1, Стройиздат, 1939.

равнодействующая R сил $Q_я$ и G составляет с нормалью к плоскости скольжения DE угол $\psi°$, меньший угла внутреннего трения грунта призмы $\varphi°$.

Коэффициент запаса на устойчивость определяется по формуле

$$K = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\psi}. \qquad \text{(V-26)}$$

По методу Гришина — Федорова угол наклона к горизонту наиболее опасной плоскости скольжения $\lambda°$ определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{ps - rt \pm \sqrt{[(p-t)^2 + (r-s)^2]\,(pt - sr)}}{p^2 + r^2 - (pt + sr)}. \qquad \text{(V-27)}$$

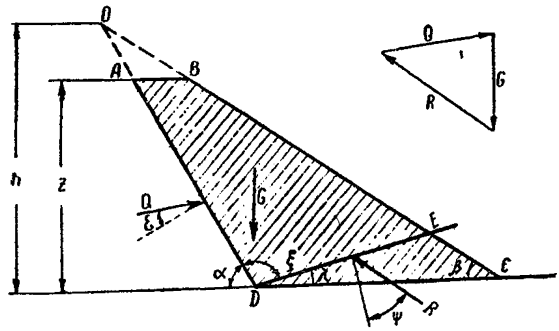


Рис. V-16. Схема к расчету устойчивости наружных призм намывной плотины с ядром

а угол $\psi°$ — по формуле

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{p\operatorname{tg}^2\lambda + (r-s)\operatorname{tg}\lambda + t}{r\operatorname{tg}^2\lambda + (t-p)\operatorname{tg}\lambda + s}. \qquad \text{(V-28)}$$

где

$$\left.\begin{aligned} s &= \gamma_{пр}\frac{z}{h}\left(2 - \frac{z}{h}\right)(\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha) - \frac{2Q}{h^2}\cos(\alpha + \varepsilon);\\ r &= \frac{2Q}{h^2}\sin(\alpha + \varepsilon)\operatorname{ctg}\beta;\\ p &= \gamma_{пр}(\operatorname{ctg}\beta - \operatorname{ctg}\alpha)^2 - s\operatorname{ctg}\beta;\\ t &= \frac{2Q}{h^2}\sin(\alpha + \varepsilon); \end{aligned}\right\} \qquad \text{(V-29)}$$

$\gamma_{пр}$ — средний объемный вес материала наружных призм;

z — высота плотины от гребня до рассматриваемого сечения DC (рис. V—16);

h — высота треугольника ODC.

ε — угол, в расчетах может приниматься равным 0.

Давление жидкого ядра определяется по зависимости

$$Q = \frac{\gamma_я z^2}{2\sin\alpha}, \qquad \text{(V-30)}$$

где $\gamma_я$ — объемный вес материала ядра.

Примечание. В ряде практических случаев более удобно бывает решать задачу методом подбора, задаваясь различными значениями угла λ° и пользуясь формулами (V—28) и (V—29).

Проверку устойчивости внешней призмы при этом методе достаточно производить только для плоскости, проходящей через точку D (рис. V—16) пересечения откоса ядра и основания плотины (наиболее опасной плоскости).

Примечания. 1. В случае, когда нижняя часть ядра полностью уплотнена, проверку устойчивости следует производить для плоскости, проходящей через точку пересечения откоса ядра с верхней границей уплотненной его части.

2. Если грунт основания менее прочен, чем материал внешних призм, то поверхность скольжения может пройти через основание, и расчет устойчивости в этом случае следует вести по методам, принятым для укатанных земляных плотин, с учетом особенностей намывных плотин.

РАСЧЕТ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН НА ОСАДКУ

А. Расчет осадки основания плотины

При расчете осадки основания плотины вся обжимаемая толща грунтов основания разбивается на ряд расчетных слоев в соответствии с результатами инженерно-геологических исследований.

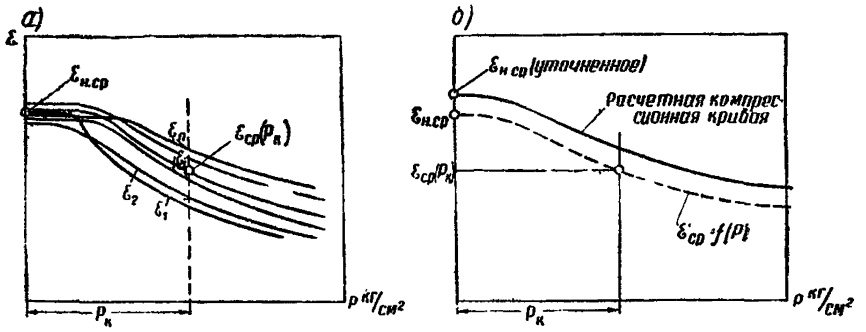


Рис. VI-1. Пример определения расчетной компрессионной кривой

а — компрессионные кривые расчетного слоя; *б* — переход от средней компрессионной кривой к расчетной

Для каждого расчетного слоя, однородного в стратиграфическом и литологическом отношении, следует определять осредненную компрессионную кривую $\varepsilon_{ср} = f(P)$ путем вычисления по имеющимся для данного слоя компрессионным кривым средней величины коэффициента пористости для каждого значения величины нагрузки P (рис. VI—1,*а*),
т. е.

$$\varepsilon_{ср}(P_к) = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i (P_к)}{n}, \qquad \text{(VI-1)}$$

где $P_к$ — определенное значение нагрузки;
n — число компрессионных кривых;
$\varepsilon_i (P_к)$ — значение коэффициента пористости при нагрузке $P_к$.

Среднее значение начального коэффициента пористости может быть определено с большей точностью, чем определяется среднее значение величины коэффициента пористости при любой нагрузке $P_к$, для чего рекомендуется использовать значения $\varepsilon_н$, полученные при $P=0$ по компрессионным кривым, а также значения $\varepsilon_н$, полученные при исследовании физико-механических свойств образцов. Тогда значение n в формуле (VI—1) будет равно числу компрессионных кривых плюс число исследованных при разведочном бурении образцов.

Разность между уточненным значением $\varepsilon_{н.ср}$ и значением $\varepsilon_{н.ср}$, определенным с использованием лишь компрессионных кривых, следует прибавить к каждо-

му значению $\varepsilon_{ср}=f(P)$, осуществляя таким образом параллельный перенос кривой $\varepsilon_{ср}=f(P)$ (рис. VI—1, *б*).

Нагрузка на основание плотины принимается равной нагрузке к концу строительного периода и определяется в каждой точке поперечного сечения подошвы плотины по формуле

$$P = \gamma_{вл} H, \qquad \text{(VI-2)}$$

где P — нагрузка в *кг/см²*;

$\gamma_{вл}$ — объемный вес влажного грунта в *кг/см³*;

H — высота плотины в рассматриваемой точке подошвы плотины в *см*.

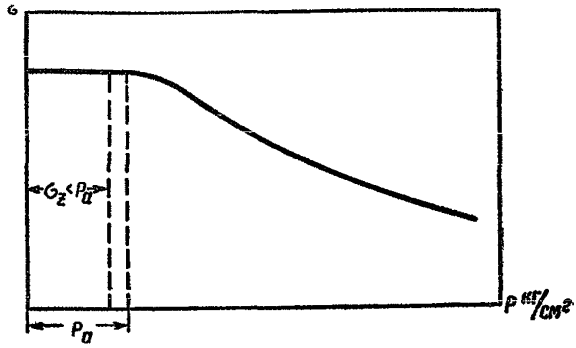


Рис. VI-2. Пример определения глубины сжимаемой зоны

Мощность сжимаемой толщи грунтов, так называемая активная зона, определяется расстоянием от подошвы плотины до скальной породы. Если скальная порода залегает на большой глубине, то граница активной зоны обычно расположена выше кровли скальной породы, так как осредненная компрессионная кривая $\varepsilon_{ср}=f(P)$ для плотных глинистых грунтов, у которых влажность меньше границы раскатывания, обычно имеет горизонтальный участок в пределах давлений $P \leqslant P_a$ (P_a — длина горизонтального участка) и, следовательно, при $\sigma_z < P_a$ (σ_z — вертикальное сжимающее напряжение в основании от веса плотины в *кг/см²*) осадка равна 0 (см. рис. VI—2).

Примечание. Компрессионные испытания связных грунтов следует проводить с образцами ненарушенной структуры при полном предварительном их замачивании в условиях невозможности их разбухания.

При отсутствии у осредненной компрессионной кривой горизонтального участка можно пренебречь малыми напряжениями (определение напряжений см. ниже) и определить глубину активной зоны $h_{акт}$ в *см* из формулы

$$\sigma_z = 0{,}2\,\gamma_{вл}\,h_{акт}\,. \qquad \text{(VI-3)}$$

Напряжения в основании земляной плотины при небольшой мощности сжимаемой толщи грунтов (для высоких плотин — при $h<0{,}1B$ и для средних плотин — при $h<0{,}25B$, где B — ширина плотины понизу) принимаются равными максимальной расчетной нагрузке под гребнем плотины, определяемой по формуле (VI—2).

При мощности сжимаемой толщи, превышающей указанные пределы, определение напряжений в основании следует производить методами теории упругости для случая плоской деформации с учетом приведенных ниже указаний.

Для определения напряжений методами теории упругости следует нагруженную поверхность разделить в поперечном сечении на ряд участков, с равномерно распределенной нагрузкой и с нагрузкой, меняющейся по закону треугольника.

Нормальные напряжения σ_z и σ_y при действии равномерно распределенной нагрузки определяют по табл. VI—1 в долях от интенсивности нагрузки. При этом систему координат следует расположить относительно нагруженного участка так, как это показано на рис. VI—3.

Нормальные напряжения σ_z и σ_y при действии полосообразной нагрузки, меняющейся в поперечном сечении по закону треугольника, определяются по табл. VI—2 в долях от максимальной интенсивности нагрузки. При этом систему координат следует расположить относительно нагруженного участка так, как это показано на рис. VI—4.

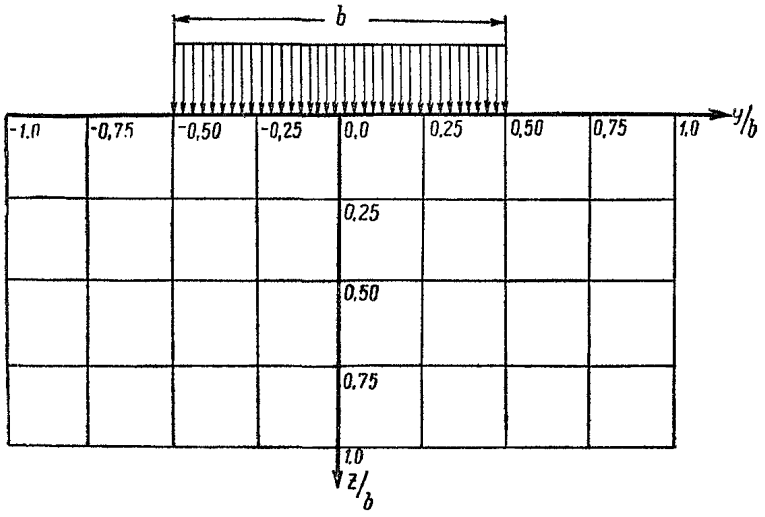


Рис. VI-3. Случай равномерно распределенной нагрузки

Нормальные напряжения σ_z и σ_y в основании земляной плотины определяются вдоль рассматриваемой вертикали суммированием эпюр напряжений, возникающих от нагрузки каждого участка рассматриваемой поверхности.

При определении отдельных эпюр напряжений следует учесть:

1) положение рассматриваемой вертикали в каждой системе координат, связанной с тем или иным участком нагруженной поверхности;

2) зависимость единицы масштаба каждой системы координат от ширины соответствующего ей участка.

Определение напряжений, а следовательно, расчет осадок рекомендуется производить по трем характерным поперечным сечениям плотины (в русловой и пойменных частях) и по трем вертикалям каждого сечения (в центре гребня и на его краях).

Конечную осадку плотины при небольшой мощности сжимаемой толщи грунтов (для высоких плотин при $h<0{,}1B$ и для средних плотин при $h<0{,}25B$) можно определить по формуле

$$S_\infty = h\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1+\varepsilon_1}, \qquad \text{(VI-4)}$$

где S_∞ — конечная осадка нагруженной поверхности в *см*;

h — мощность сжимаемого слоя в *см*;

ε_1 — начальный коэффициент пористости грунта основания;

ε_2 — коэффициент пористости грунта, соответствующий максимальной расчетной нагрузке.

Конечную осадку любого элементарного участка рассматриваемого сечения плотины при большей, чем указано выше, мощности сжимаемой толщи грунтов рекомендуется определять по формуле

$$S_\infty = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta h_i \,, \tag{VI-5}$$

где S_∞ — конечная осадка элементарного участка нагруженной поверхности;

Δh_i — абсолютное сжатие отдельного элемента вертикальной призмы грунта, расположенной под рассматриваемым элементарным участком;

n — число элементов, назначаемое в зависимости от степени требуемой точности и количества разнородных сжимаемых слоев в пределах активной зоны.

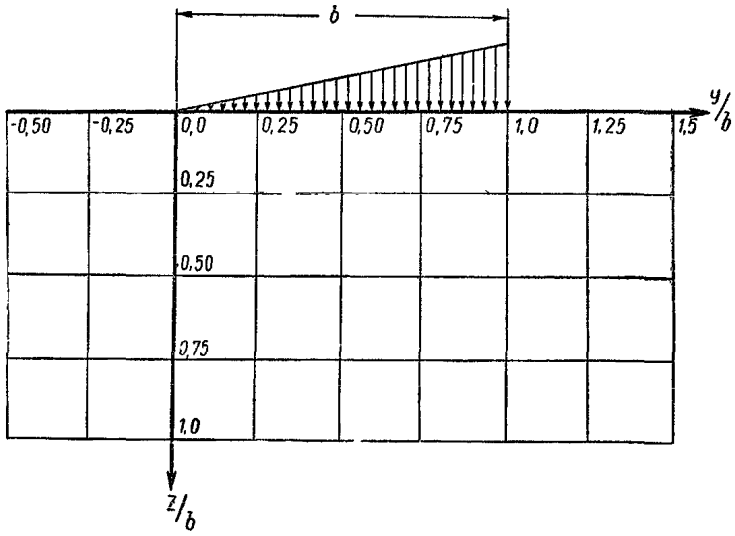


Рис. VI-4. Случай нагрузки, меняющейся по закону треугольника

Для определения Δh_i рекомендуется пользоваться следующими формулами при расчете сооружений I и II классов:

$$\Delta h_i = \frac{h_i}{1-2\mu} \cdot \frac{\left[(1-\mu)\,\sigma_{z_i} - \mu\sigma_{y_i}\right]}{\sigma_{y_i} + \sigma_{z_i}} \cdot \frac{\varepsilon_{1_i} - \varepsilon_{2_i}}{1+\varepsilon_{1_i}} \,, \tag{VI-6}$$

где μ — коэффициент бокового расширения для данного грунта (приближенно можно принять μ равным 0,3 — для суглинков и 0,4 — для глин);

ε_{1_i} — начальный коэффициент пористости рассматриваемого слоя грунта;

ε_{2_i} — коэффициент пористости грунта, соответствующий нагрузке, равной величине сжимающего напряжения σ_{z_i};

σ_{z_i}, σ_{y_i} — величины нормальных напряжений в центре тяжести элемента;

h_i — высота рассматриваемого элемента.

При расчете осадок сооружений менее ответственных:

$$\Delta h_i = h \frac{\varepsilon_{1_i} - \varepsilon_{2_i}}{1 + \varepsilon_{1_i}}, \qquad \text{(VI-7)}$$

где все величины уже определены выше.

Примечание. Формула (VI—7) является упрощением формулы (VI — 6) и может быть получена из нее при предположении, что элемент грунта находится в условиях невозможности бокового расширения. Если при этом строение грунта и степень требуемой от расчета точности позволяет ограничиться одним элементом $n = 1$, то формула (VI—7) для расчета осадки принимает вид формулы (VI—4).

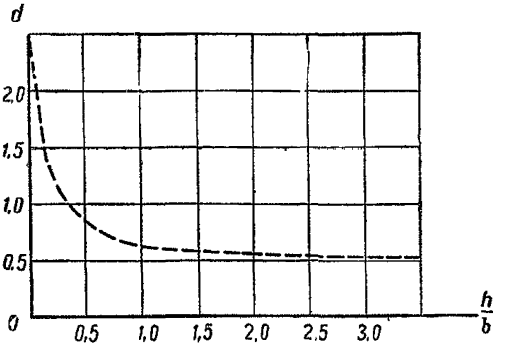


Рис. VI-5. График зависимости $d = f\left(\frac{h}{b}\right)$

Расчет осадок во времени производится лишь при техническом проектировании сооружений I и II классов и при наличии в основании связных грунтов с малой плотностью (ч. III, разд. 13, см. § 1 и 2 текста).

Для определения осадки основания за время t рекомендуется пользоваться следующей эмпирической формулой:

$$S_t = S_\infty \left(1 - e^{-dt}\right), \qquad \text{(VI-8)}$$

где S_t — осадка за время t в *см*;
S_∞ — конечная осадка в *см*;
e — основание натуральных логарифмов;
t — время осадки в годах;
d — коэффициент, определяемый по графику рис. VI—5 в зависимости от отношения $\frac{h}{b}$, h — мощность обжимаемой толщи;
b — ширина плотины по средней линии поперечного профиля.

Б. Расчет осадки глинистого ядра намывной плотины

Определение максимальной полной осадки глинистого ядра намывной плотины производится по формуле

$$S_\infty = \sum_{i=1}^{i=n} h a_{0i} P_i, \qquad \text{(VI-9)}$$

где $h = \frac{H}{n}$ — мощность элементарного слоя грунта при высоте плотины H (рис. VI—6) в *см*;
n — число элементарных слоев;
$P_i = \gamma_{вл}(H - ih)$ — нагрузка на рассматриваемый элементарный слой i в *кг/см²*;
$\gamma_{вл}$ — объемный вес вышележащего влажного грунта в *кг/см³*;
$a_{0i} = \frac{\varepsilon_{0i} - \varepsilon_{1i}}{(1 + \varepsilon_{0i}) P_i}$ — приведенный коэффициент сжимаемости грунта в *см²/кг*;
ε_{0i} — коэффициент пористости грунта, соответствующий моменту возведения рассматриваемого слоя (нагрузка равна 0);
ε_{1i} — коэффициент пористости, соответствующий увеличению давления на полную величину P_i.

Осадку глинистого ядра плотины ориентировочно, для предварительных прикидок, можно определять по формуле

$$S = Ha_0P_{ср}, \qquad \text{(VI-10)}$$

где H — высота плотины в *см*;

$P_{ср} = \frac{H\gamma_{вл}}{2}$ — нагрузка на средний слой плотины в *кг/см²*;

$a_0 = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{ср}}{(1+\varepsilon_0)P_{ср}}$ — средний приведенный коэффициент сжимаемости в *см²/кг*;

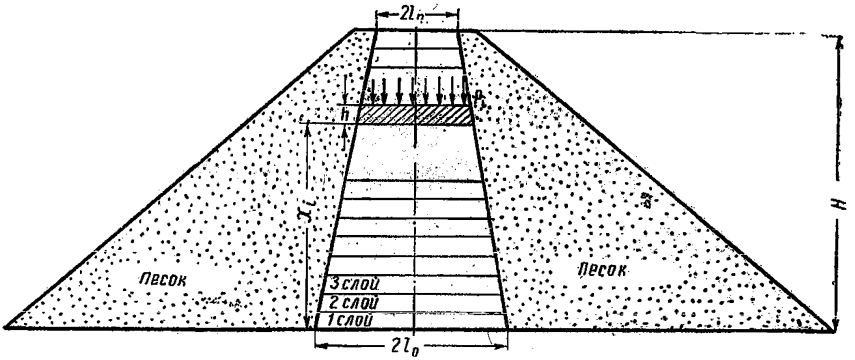


Рис. VI-6. Расчетная схема к определению осадки глинистого ядра намывной плотины

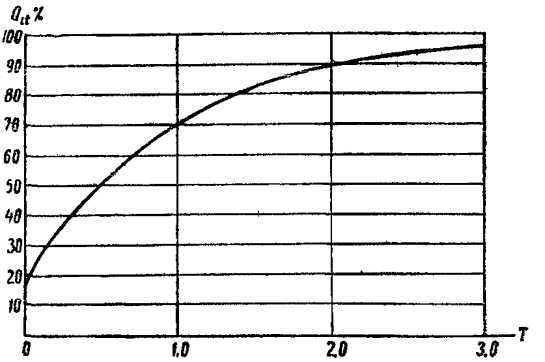


Рис. VI-7. График зависимости $Q_{it} = f(T)$

ε_0 — коэффициент пористости грунта, соответствующий нагрузке, равной 0;

$\varepsilon_{ср}$ — коэффициент пористости, соответствующий увеличению давления на величину нагрузки $P_{ср}$.

Осадка элементарного слоя грунта в глинистом ядре за время t определяется по формуле

$$S_{it} = S_{i\infty}\left(1 - 0{,}8e^{-d_i t}\right), \qquad \text{(VI-11)}$$

Таблица VI-1

Величины напряжений σ_z и σ_y, выраженные в долях от интенсивности равномерно распределенной нагрузки P

z/b \ y/b	0		0,125		0,250		0,375		0,5		1,0		1,5		2,0		2,5		3,0	
	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500	0,500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,0625	0,999	0,842	0,999	0,832	0,997	0,794	0,980	0,680	0,500	0,460	0,000	0,052	0,000	0,020	0,000	0,011	0,000	0,003	0,000	0,005
0,1250	0,994	0,694	0,992	0,678	0,979	0,621	0,908	0,501	0,500	0,421	0,003	0,100	0,000	0,039	0,000	0,021	0,000	0,013	0,000	0,009
0,1875	0,981	0,562	0,974	0,545	0,945	0,490	0,832	0,408	0,499	0,383	0,009	0,140	0,001	0,057	0,000	0,031	0,000	0,020	0,000	0,014
0,2500	0,959	0,450	0,948	0,435	0,902	0,393	0,770	0,348	0,497	0,347	0,019	0,171	0,003	0,074	0,001	0,041	0,000	0,026	0,000	0,018
0,3125	0,929	0,356	0,915	0,347	0,826	0,321	0,722	0,301	0,494	0,313	0,033	0,192	0,005	0,089	0,001	0,050	0,001	0,032	0,001	0,023
0,3750	0,896	0,285	0,878	0,278	0,814	0,266	0,684	0,263	0,490	0,281	0,049	0,205	0,008	0,102	0,002	0,059	0,001	0,038	0,001	0,026
0,4375	0,858	0,227	0,838	0,224	0,773	0,221	0,652	0,230	0,486	0,252	0,066	0,211	0,011	0,112	0,004	0,067	0,001	0,043	0,001	0,030
0,5000	0,818	0,182	0,798	0,182	0,735	0,186	0,625	0,201	0,480	0,225	0,084	0,211	0,017	0,122	0,006	0,074	0,002	0,049	0,001	0,034
0,6250	0,740	0,119	0,722	0,122	0,666	0,134	0,577	0,154	0,464	0,178	0,117	0,202	0,029	0,134	0,010	0,086	0,004	0,058	0,002	0,042
0,7500	0,668	0,080	0,653	0,085	0,607	0,098	0,536	0,118	0,448	0,142	0,146	0,185	0,042	0,139	0,015	0,097	0,006	0,066	0,003	0,048
0,8750	0,605	0,056	0,592	0,060	0,558	0,074	0,499	0,091	0,429	0,113	0,168	0,165	0,058	0,140	0,022	0,100	0,010	0,072	0,005	0,054
1,0000	0,550	0,040	0,540	0,044	0,511	0,055	0,465	0,071	0,409	0,091	0,185	0,146	0,070	0,134	0,029	0,103	0,013	0,077	0,007	0,058
1,5000	0,396	0,014	0,392	0,016	0,379	0,021	0,359	0,030	0,334	0,040	0,211	0,084	0,114	0,102	0,059	0,097	0,032	0,083	0,018	0,068
2,0000	0,306	0,006	0,304	0,007	0,298	0,010	0,288	0,014	0,275	0,020	0,205	0,049	0,134	0,070	0,083	0,078	0,051	0,075	0,031	0,068
3,0000	0,208	0,002	0,208	0,002	0,206	0,003	0,202	0,005	0,198	0,007	0,171	0,019	0,136	0,033	0,103	0,044	0,075	0,051	0,054	0,052
4,0000	0,157	0,001	0,157	0,001	0,156	0,001	0,155	0,002	0,153	0,003	0,140	0,009	0,122	0,017	0,104	0,027	0,083	0,032	0,066	0,036
5,0000	0,126	0,000	0,126	0,000	0,126	0,001	0,125	0,001	0,124	0,002	0,117	0,005	0,107	0,010	0,094	0,015	0,082	0,020	0,069	0,025
6,0000	0,106	0,000	0,106	0,000	0,105	0,001	0,105	0,001	0,104	0,001	0,100	0,003	0,093	0,006	0,086	0,010	0,077	0,013	0,068	0,017

Таблица VI-2

Величины напряжений σ_z и σ_y, выраженные в долях от максимальной интенсивности полосообразной нагрузки, меняющейся в поперечном сечении по закону треугольника

z/b \ y/b	−3,0		−2,0		−1,5		−1,0		−0,75		−0,50		−0,25		0	
	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,125	0,000	0,003	0,000	0,006	0,000	0,009	0,000	0,015	0,000	0,022	0,001	0,033	0,003	0,060	0,039	0,127
0,250	0,000	0,006	0,000	0,011	0,000	0,017	0,001	0,029	0,002	0,041	0,005	0,060	0,014	0,096	0,075	0,151
0,375	0,000	0,009	0,000	0,017	0,001	0,028	0,002	0,041	0,005	0,056	0,011	0,078	0,033	0,111	0,105	0,145
0,500	0,000	0,012	0,001	0,021	0,002	0,032	0,005	0,050	0,010	0,066	0,022	0,087	0,052	0,112	0,127	0,129
0,750	0,001	0,017	0,002	0,030	0,005	0,041	0,014	0,060	0,024	0,073	0,048	0,086	0,084	0,100	0,153	0,091
1,000	0,002	0,021	0,005	0,035	0,011	0,046	0,025	0,062	0,040	0,069	0,064	0,075	0,104	0,073	0,159	0,062
1,500	0,004	0,026	0,013	0,039	0,024	0,046	0,045	0,051	0,062	0,051	0,085	0,048	0,114	0,039	0,147	0,029
2,000	0,008	0,028	0,021	0,037	0,035	0,039	0,057	0,038	0,072	0,034	0,089	0,029	0,108	0,022	0,127	0,015
3,00	0,017	0,025	0,033	0,026	0,046	0,024	0,062	0,019	0,072	0,014	0,080	0,012	0,087	0,008	0,096	0,005
4,00	0,024	0,020	0,038	0,017	0,048	0,014	0,058	0,010	0,063	0,007	0,067	0,006	0,072	0,004	0,075	0,002
5,00	0,027	0,014	0,039	0,011	0,043	0,008	0,052	0,006	0,055	0,004	0,057	0,003	0,059	0,002	0,061	0,001
6,00	0,028	0,010	0,037	0,008	0,041	0,005	0,046	0,003	0,048	0,002	0,049	0,002	0,051	0,001	0,052	0,001

Продолжение табл. VI-2

z/b \ y/b	0,25		0,50		0,75		1,0		1,5		2,0		2,5	
	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y	σ_z	σ_y
0	0,250	0,250	0,500	0,500	0,750	0,750	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,125	0,252	0,228	0,497	0,347	0,727	0,393	0,464	0,294	0,000	0,064	0,000	0,024	0,000	0,007
0,250	0,257	0,195	0,480	0,225	0,645	0,208	0,422	0,197	0,015	0,110	0,002	0,045	0,000	0,015
0,375	0,262	0,156	0,448	0,142	0,552	0,110	0,386	0,136	0,038	0,127	0,006	0,065	0,001	0,021
0,500	0,262	0,104	0,409	0,091	0,473	0,066	0,353	0,096	0,062	0,124	0,012	0,072	0,001	0,027
0,750	0,247	0,074	0,334	0,040	0,363	0,024	0,295	0,051	0,101	0,098	0,029	0,078	0,004	0,037
1,000	0,224	0,041	0,275	0,020	0,287	0,014	0,250	0,029	0,121	0,071	0,046	0,072	0,008	0,042
1,500	0,177	0,016	0,198	0,007	0,202	0,005	0,187	0,012	0,126	0,036	0,069	0,051	0,019	0,044
2,000	0,143	0,008	0,153	0,003	0,154	0,002	0,148	0,006	0,115	0,020	0,078	0,033	0,029	0,039
3,00	0,102	0,002	0,104	0,001	0,106	0,000	0,102	0,002	0,091	0,007	0,074	0,014	0,042	0,025
4,00	0,078	0,002	0,079	0,000	0,080	0,000	0,078	0,001	0,073	0,003	0,064	0,007	0,044	0,015
5,00	0,063	0,000	0,063	0,000	0,064	0,000	0,063	0,000	0,060	0,002	0,055	0,004	0,043	0,009
6,00	0,053	0,000	0,053	0,000	0,049	0,000	0,053	0,000	0,051	0,001	0,048	0,003	0,040	0,006

где S_{it} — осадка в *см* рассматриваемого слоя за время t;
$S_{i\infty} = ha_{0i}P_i$ — полная осадка элементарного слоя;
e; h; a_{0i}; P_i — даны выше для формул (VI—8) и (VI—9);

$$d_i = \frac{\pi k_i}{(2l_i)^2 \Delta a_{0i}}, \qquad \text{(VI-12)}$$

$\pi = 3{,}14$;
k_i — коэффициент фильтрации в горизонтальном направлении в *см/сек*;
$2l_i$ — ширина элементарного слоя понизу в *см*;
Δ — вес 1 $см^3$ воды в *кг*.

Степень стабилизации элементарного слоя за время t определяется по формуле

$$Q_{it} = \frac{S_{it}}{S_{i\infty}} = 1 - 0{,}8e^{-d_i t}. \qquad \text{(VI-13)}$$

Для упрощения расчетов по определению Q_{it} можно пользоваться графиком рис. VI—7, где Q_{it} задана как функция в зависимости от аргумента $T = d_i t$.

Степень стабилизации осадки всей плотины за время t определяется по формуле

$$Q_t = \frac{S_t}{S_\infty} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} a_{0i}P_iQ_{it}}{\sum_{i=1}^{i=n} a_{0i}P_i}. \qquad \text{(VI-14)}$$

ТАБЛИЦЫ И ГРАФИКИ ОСНОВНЫХ ДАННЫХ ПО РАЗРАБОТКЕ ГРУНТА В КАРЬЕРАХ И ПОДАЧЕ ПУЛЬПЫ НА КАРТЫ НАМЫВА

Таблица VII-1

Основные характеристики земснарядов, выпускаемых промышленностью

Показатели	Единица измерения	Техническая характеристика земснарядов типа			
		100-35	300-40	500-60	1 000-80
Нормальная производительность в грунтах I категории	*м³/час*	100	300	660	1 300
Полный напор, развиваемый землесосом	*м* вод. ст.	40	45	60	60
Дальность транспортирования гидромассы по горизонтали при подъеме на высоту 10 *м*	*км*	1,2	1,5	2,5	3,6
Модель землесоса	—	3ГМ-1	20Р-11	500-60	1 000-80
Наибольшая глубина разработк грунта и опускания разрыхлителя	*м*	7	11	15	15
Наименьшая глубина разработки	»	2	3,5	4,5	6
Ширина прорези (наименьшая)	»	30	35	45	53
Мощность земснаряда	*квт*	400	1 227	2 970	5 130
Тип корпуса земснаряда	—	Разборный	Неразборный		
Габариты корпуса:					
ширина	*м*	8,06	9,5	11	12,2
длина	»	18,06	30	37	45
высота борта	»	1,82	2	2,3	2,65
Осадка земснаряда	»	0,7	1	1,1	1,42
Вес земснаряда	*т*	64,16	212	400	650
Диаметр всасывающего трубопровода	*мм*	350	500	700	950
Диаметр напорного трубопровода	»	300	500	700	800
Диаметр плавучего трубопровода	»	350	500	700	700
Длина плавучего трубопровода	*м*	100	300	500	500
Количество понтонов	шт.	27	50	50	50
Диаметр магистрального трубопровода на берегу	*мм*	400	600	800	900
Диаметр фрезы разрыхлителя	*м*	1,1	1,5	2,1	2,7
Число ножей фрезы разрыхлителя	шт.	6	6	6	6
Число оборотов фрезы разрыхлителя	об/мин	24	18	12	12 и 18
Длина фрезы разрыхлителя	*м*	0,9	1,5	1,6	2,7

Примечания. 1. Таблица составлена на основании данных табл. 5—4 справочника строительного оборудования для гидроэнергетического строительства, изданного Госэнергоиздатом в 1954 г.

2. Условная производительность по грунту принимается равной 0,1 производительности по пульпе.

Таблица VII-2

Гидромониторы[1]

Показатели	Единица измерения	С центральным болтом	ГМ-2 со штампованными деталями			ГМ-2 с деталями из ковкого чугуна			ГМН-250
Техническая характеристика									
Диаметр входного отверстия . .	*мм*	228	150	200	250	150	200	260	250
Расстояние от фланца до оси вращения	»	400	220	300	375	220	300	375	300
Длина ствола	»	2 800	1 400	1 810	2 210	1 450	1 810	2 210	2 228
Диаметры применяемых насадок	»	50; 62,5; 75; 87,5; 100	30; 40. 50; 60; 75	50; 60; 75; 90; 100	50; 60; 75; 90; 100; 110	30; 40; 50; 60, 75	50; 65; 75; 90; 100	50; 65; 75; 90, 100; 110	51; 63,5; 76,5 89; 102
Угол отклонения от горизонта:									
вверх	град.	47,5	40	32	32	40	32	32	32
вниз	»	27,5	20	18	18	20	18	18	28
Допускаемый напор	*ат*	15	12	12	12	12	12	12	8
Вес с салазками	*кг*	422	135	218	305	155	242	346	182

[1] Справочник строительного оборудования для гидроэнергетического строительства, Госэнергоиздат, 1954.

Таблица VII-3

Основные характеристики землесосов, выпускаемых промышленностью

Показатели	Единица измерения	Техническая характеристика землесосов											
		6Р-11	6НЗ	8НЗ	12НЗб	20НЗ	ЗГМ-1	ЗГМ-2	10р-7	12р-7	20р-11	500-60	1000-80
Производительность по пульпе . .	*м³/час*	400	400	800	1 500	3 000	1 200	1 400	1 200	1 600	3 600	6 500	12 000
Наибольший напор	*м* вод. ст.	23	27	25	27,5	40	43	43	42	45	50	67	80
Коэффициент полезного действия .	—	0,48	0,59	0,6	0,59	0,73	0,68	0,74	—	0,6	0 7	—	0,76
Диаметр рабочего колеса	*мм*	450	460	610	920	1 150	700	850	780	1 000	1 200	1 330	2 310
Число оборотов рабочего колеса . .	об/мин	690	980	730	490	490	730	590	730	580	490	500	300
Диаметры патрубков:													
всасывающего	*мм*	200	200	250	350	500	350	300	250	350	500	700	950
напорного	»	150	150	200	300	500	300	300	250	300	500	700	800
Наибольший диаметр кусков, проходящих через рабочее колесо	»	100	100	140	170	280	180	180	140	180	280	350	400
Мощность на валу землесоса . .	*л. с.*	61	68	127	270	1 050	300	300	300	450	900	—	—
Габаритные размеры:													
длина	*м*	1,2	1,75	2,28	2,65	3,23	2,06	2,06	2,56	2,62	3,5	4,6	2,5
ширина	»	0,95	0,94	1,2	1,77	2,44	1,3	1,52	1,46	1,77	2,25	2,6	3,9
высота	»	0,74	0,89	1,17	1,67	2,8	1,2	1,57	1,5	1,65	2,15	2,5	3,2
Общий вес	*кг*	600	1 260	2 130	4 000	9 925	2 775	3 369	3 600	4 000	9 500	16 385	26 500

Примечание. Таблица составлена на основании данных табл. 5—3 справочника строительного оборудования для гидроэнергетического строительства, изданного Госэнергоиздатом в 1954 г.

Таблица VII-4

Требуемое число земснарядов в зависимости от общего объема работ[1]

№ п/п	Объем работ в сезон в тыс. $м^3$	Количество земснарядов при диаметре напорного патрубка в *мм*				
		200	300	500	600	800
1	100	1	—	—	—	—
2	200	2	1	—	—	—
3	500	—	2	1	—	—
4	1 000	—	4	2	—	—
5	2 000	—	—	3	2	—
6	5 000	—	—	—	4	1
7	10 000	—	—	—	8	2

[1] Б. М. Шкундин, Гидромеханизация в строительстве, Машстройиздат, 1949.

Таблица VII-5

Соответствие категорий грунтов, разрабатываемых методом гидромеханизации, расчетным грунтам по гидротранспорту[1]

По СНиП[2]			Расчетные		
Категория по СНиП	Расход воды на 1 $м^3$ грунта	Наименование	Группы	Консистенция	Необходимое давление в *атм*
		А. Работа земснарядов			
I	8	Пески мелкие, средние и разнозернистые	1—4	20	—
		Пески пылеватые	1—4	20	—
II	10	Пески пылеватые	1—5	15	—
		Пески разнозернистые	1—5	15	
		Пески крупнозернистые	5	15	—
III	12	Пески разнозернистые	1—5	15	—
IV	15	Песчано-гравелистые грунты	5—8	10	—
V	18	То же	5—8	10	—
VI	22	То же	5—8	5	—

Продолжение табл. VII-5

По СНиП[2]			Расчетные		
Категория по СНиП	Расход воды на 1 м³ грунта	Наименование	Группы	Консистенция	Необходимое давление в *атм*
		Б. Работа гидромониторно-насосно-землесосных установок			
II	6	Пески мелкозернистые	1—5	25	2—3
		Пески пылеватые	1—5	—	—
III	7	Пески среднезернистые и разнозернистые	1—5	20	3—4
IV	9	Пески крупнозернистые	5—6	15	3—4
V	12	Песчано-гравелистые грунты	5—8	15	3—4
VI	14	То же	5—8	10	3—4

Примечания. 1. Гидротранспорт связных грунтов, образующих комья, скатыши и т. п. в количестве, большем 10% от веса грунта, расчетными таблицами не предусматривается.

2. Графа «*Необходимое давление*» взята из табл. 13 работы Б. М. Шкундина, Гидромеханизация в строительстве, Машстройиздат, 1949 г.

---

[1] С. И. Горюнов, Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов, Госэнергоиздат, 1955.

[2] СНиП, ч. IV, стр. 88—89, 1954.

Таблица VII-6

Удельный расход электроэнергии[1]

№ п/п	*Наименование грунта*	Удельный расход энергии в *кат-ч* на 1 м³ вынутого грунта		
		на разрыхление	на работу вспомогательных механизмов	всего
1	Пески	0,3	0,05	0,35
2	Супеси, лесс, пески слежавшиеся и иловатые	0,45	0,05	0,5
3	Суглинки легкие и илы	0,6	0,05	0,65

Примечание. При наличии в грунте валунов расход энергии следует увеличивать на 30—50%.

---

[1] Б. М. Шкундин, Гидромеханизация в строительстве, Машстройиздат, 1949.

Таблица VII-7

Сварные стальные трубы[1]

Наружный диаметр в *мм*	Условный проход в *мм*	Толщина стенок в *мм*	Предельная ступень внутреннего условного давления в *кг/см²*	Вес 1 *м* в *кг*	Наружный диаметр в *мм*	Условный проход в *мм*	Толщина стенок в *мм*	Предельная ступень внутреннего условного давления в *кг/см²*	Вес 1 *м* в *кг*
216	200	6,5	—	33,6	631	600	6	10	94,25
267	250	7	—	44,9	631	600	7	12,5	109,78
325	300	8	—	62,5	631	600	9	16	138,3
376	350	6	16	55,8	631	600	11	20	171,4
376	350	7	20	64,92	631	600	13	25	201,92
376	350	8	25	79,99	631	600	16	32	247,3
376	350	10	32	91,93	720	700	7	10	125,44
376	350	12	40	109,78	720	700	8	12,5	143,15
376	350	15	50	136,09	720	700	10	16	178,44
426	400	6	16	63,34	720	700	12	20	213,53
426	400	8	20	84,05	720	700	15	25	265,78
426	400	9	25	34,32	720	700	18	32	317,58
426	400	11	32	114,73	820	800	7	10	143,03
426	400	14	40	144,97	820	800	9	12,5	183,45
426	400	17	50	174,75	820	800	11	16	223,66
476	450	6	12,5	70,87	820	800	14	20	283,6
476	450	7	16	82,51	820	800	15	25	223,51
476	450	8	20	94,1	920	900	7	8	160,62
476	450	10	25	117,12	920	900	8	10	183,37
476	450	12	32	139,94	920	900	10	12,5	228,71
476	450	15	40	173,79	920	900	13	16	296,34
529	500	6	12,5	78,87	920	900	15	20	341,18
529	500	8	16	104,76	920	900	18	25	408,05
529	500	19	20	117,62					
529	500	11	25	143,21	—	—	—	—	—
529	500	13	32	168,59	—	—	—	—	—
529	500	16	40	206,3	—	—	—	—	—

[1] Б. М. Шкундин, Гидромеханизация в строительстве, Машстройиздат, 1949; Б. М. Шкундин, Оборудование для гидромеханизации земляных работ, Машгиз, 1954.

Таблица VII-8

Рекомендуемые диаметры пульповодов в *мм

Тип земснаряда	Расчетный расход в *м³/час*	Диаметр пульповода в *мм* для групп грунтов							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1 000-80	10 000	1 000				900			
500-60	5 000	800				700		600	
20-Н3 20-Р11	3 000	600				500			
12-Н3 12-Р7	1 400	450				400		350	
8-Н3	700	300				250			

* С. И. Горюнов, Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов, Госэнергоиздат, 1955.

Таблица VII-9

Рекомендуемые значения коэффициента λ_w при расчете пульповодов[1]

D в *мм*	$100\,\lambda_w$	*D* в *мм*	$100\,\lambda_w$
200	1,8	500	1,5
250	1,75	600	1,45
300	1,65	700	1,4
350	1,6	800	1,35
400	1,55	900	1,3
450	1,55	1 000	1,3

[1] С. И. Горюнов, Способ приближенного расчета напорного гидротранспорта несвязных грунтов, Госэнергоиздат, 1955.

Таблица VII-10

Характеристика грунта	Уклоны, необходимые для транспортирования пульпы
Песок пылевидный	0,02 —0,03
„ мелкозернистый	0,025—0,045
„ средней крупности	0,03 —0,05
„ крупнозернистый	0,04 – 0,07
Супесь легкая	0,02 —0,03
„ средней плотности	0,02 —0,03
„ тяжелая	0,03 —0,05
Гравелистые пески	0,04 —0,05

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

ПРИМЕРЫ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

Распределение грунтов по крупности и плотности отложения их в намывных плотинах, как известно, зависит от грануломинералогического состава и формы зерен исходных грунтов, размеров профиля плотины, технологии намыва (расхода и консистенции пульпы, размеров прудка и скорости течения воды в прудке).

В настоящее время накоплен большой отчетный материал геотехнических наблюдений по намыву плотин в различных грунтовых и технологических условиях. В связи с этим при проектировании плотин появилась возможность вместо условных теоретических и эмпирических методов расчета пользоваться более надежным способом определения гранулометрического состава и плотности отложения грунтов в плотинах при помощи выбора соответствующих примеров возведенных плотин для аналогичных исходных данных.

Настоящие примеры намывных плотин из песчаных и песчано-гравелистых грунтов содержат следующие необходимые сведения:

1) размеры профилей плотины;

2) характеристики исходных грунтов, включающие данные о граничных и средних значениях гранулометрического состава, о высотах разрабатываемых забоев, о минералогическом составе и форме зерен, составляющих эти грунты фракций;

3) типы использованного оборудования для разработки и транспортирования грунтов;

4) схемы и способы намыва плотин;

5) осредненные значения гранулометрического состава намывных грунтов по зонам профилей плотин:

а) для песчаных грунтов — в виде полулогарифмических кривых;

б) для песчано-гравелистых и гравелисто-песчаных — в виде графика распределения фракций (к песчано-гравелистым грунтам здесь отнесены грунты с содержанием фракций крупнее 2 *мм* в количестве от 10 до 30%; к гравелисто-песчаным отнесены грунты с содержанием этих фракций от 30 до 65%);

6) плотность намытых грунтов, выражаемая объемным весом скелета $\gamma_{ск}$ в $т/м^3$ по зонам профилей плотины:

а) для песчаных грунтов — в виде графика обеспеченности $\gamma_{ск}$;

б) для песчано-гравелистых и гравелисто-песчаных — в виде графика распределения средних значений $\gamma_{ск}$.

Примечание. На графиках для песчаных грунтов приведены величины $\gamma_{ск}$, определенные при влажности от 5 до 15% в момент отбора проб при намыве плотин.

Указанные сведения, в достаточной мере характеризуя условия, сопутствующие возведению тех или иных плотин, отражают фактическое влияние отмеченного выше комплекса факторов на фракционирование и плотность укладки намывных грунтов в плотинах.

При пользовании этими примерами и другими, составленными по такому же принципу, прежде всего следует определять осредненное фракционирование грунта по зонам профиля плотины, а в случае сходства минералогического состава и формы зерен грунтов — и объемный вес скелета грунта При расхождении исходных данных по проектируемой плотине с данными выбранного примера (аналога) в части минералогического состава и форме зерен грунтов объемный вес скелета грунтов для данного гранулометрического состава уточняют по графикам рис. 6 и 7, приведенным в настоящих ТУиН.

Остальные расчетные показатели грунтов (коэффициенты фильтрации и коэффициенты сдвига) определяются обычным порядком в лаборатории применительно к установленным гранулометрическому составу и объемному весу скелета по зонам профиля проектируемой плотины.

Ниже приведены примеры намывных плотин (составленные в тресте Гидромеханизация МЭС инженерами В. П. Антипкиным и Т. В. Павловой и техником С. Ф. Шелепневой под руководством инж. В. В. Ерофеева):

1) плотин из песчаных грунтов (рис. VIII—1 — VIII—12);

2) плотин из песчаных и песчано-гравелистых грунтов (рис. VIII—13 — VIII—16).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Часть I

Общие вопросы

Раздел 1. Область применения ТУиН 7
Раздел 2. Классификация плотин 8
Раздел 3. Выбор типа плотин . . . . . —
Раздел 4. Основные определения и терминология 9
Раздел 5. Основные требования к плотине 11
Раздел 6. Требования к грунтам 12

Часть II

Изыскания и исследования карьерных грунтов

Раздел 1. Общие требования к карьерам 14
Раздел 2. Объем и состав инженерно-геологических изысканий 16
Раздел 3. Объем, состав и методика исследований грунтов карьера . . 20
Раздел 4. Обработка материалов изысканий 22

Часть III

Проектирование плотин

Раздел 1. Ширина плотины по гребню 25
Раздел 2. Превышение гребня над НПГ и МПГ . . . . . —
Раздел 3. Предварительное назначение очертания профиля. 26
Раздел 4. Фракционирование грунта при намыве 28
Раздел 5. Выбор расчетных характеристик грунтов при проектировании намывных плотин 31
Раздел 6. Противофильтрационные мероприятия в земляных плотинах 41
Раздел 7. Дренажные устройства 44
Раздел 8. Подбор обратных фильтров дренажей 48
Раздел 9. Мероприятия по защите откосов от разрушения 59
Раздел 10. Расчеты плотин на фильтрацию 72
Раздел 11. Фильтрационная устойчивость грунтов тела и основания плотины 78
Раздел 12. Расчет устойчивости откосов плотин 85
Раздел 13. Расчет плотин на осадку 86

Часть IV

Возведение плотин

Раздел 1. Разработка грунта в карьерах и подача пульпы на карты намыва 88
Раздел 2. Схемы и технология намыва плотин 94
Раздел 3. Отвод осветленной воды из прудка за пределы сооружения 102

Раздел 4. Намыв земляных плотин при отрицательных температурах воздуха 107
Раздел 5. Геотехнические контрольные наблюдения при возведении намывных плотин 113
Приложение I. Основные параметры намывных плотин 121
Приложение II. Конструкции гибких противофильтрационных диафрагм намывных плотин 128
Приложение III. Расчет защитных покрытий верховых откосов намывных плотин 131
Приложение IV. Фильтрационные расчеты намывных плотин 145
Приложение V. Расчет устойчивости откосов намывных плотин . . . 172
Приложение VI. Расчет намывных плотин на осадку 189
Приложение VII. Таблицы и графики основных данных по разработке грунта в карьерах и подаче пульпы на карты намыва 198
Приложение VIII. Примеры намывных плотин 205

Академия строительства и архитектуры СССР

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
И НОРМЫ
НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ
И ВОЗВЕДЕНИЕ
ЗЕМЛЯНЫХ НАМЫВНЫХ ПЛОТИН

* * *

Госстройиздат
Москва, Третьяковский проезд, д. 1

* * *

Редактор издательства *Л. А. Голубенкова*
Технический редактор *Э. М. Элькина*

Сдано в набор 3/XII-1958 г. Подписано к печати 6/V-1959 г.
Т-02497. Бумага 60×92¼₁₆. 8,75 бум. л.—13 п. л.+10 вклеек—4,5 п. л.
(18,0 уч.-изд. л.) Тираж 1 150 экз. Изд. № XX—3058.
Зак. № 2464. Цена 10 р.

Типография № 1 Государственного издательства литературы
по строительству, строительным материалам и архитектуре.
г. Владимир

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
20	19 сверху	в § 14 и 15 настоящего раздела	в § 14 и 15 предыдущего раздела
29	5 „	$(\eta_0 < 3 - 4 \cdots)$	$(\eta_{60} > 3 - 4 \cdots)$
40	Табл. 7, последняя строка	Глина $\lvert \leqslant 10^{-1} \rvert \leqslant 10^{-4} \rvert$	Глина $\lvert \leqslant 10^{-7} \rvert \leqslant 10^{-4} \rvert$
52	9 снизу	$\cdots d_{50} = 0{,}15$ *мм*	$\cdots d_{50} \geqslant 0{,}15$ *мм*
53	6 сверху	при $l_{\text{вых}} = J^{\text{к.в}}_{\text{доп}} \leqslant \ldots$	при $J_{\text{вых}} = J^{\text{к.в}}_{\text{доп}} \leqslant \cdots$
105	2 снизу	$q \frac{\pi}{4} \left[D_{\text{н}} \gamma_{\text{р.г}} - \right.$ $\left. - \left(D^2_{\text{н}} - D^2_{\text{вн}} \right) \gamma_{\text{т}} \right.$	$q = \frac{\pi}{4} \left[D^2_{\text{н}} \gamma_{\text{р.2}} - \right.$ $\left. - \left(D^2_{\text{н}} - D^2_{\text{вн}} \right) \gamma_{\text{т}} \right]$
137	14 сверху	Формула (III-13)	Формула (III-12)
138	6 „	Формула (III-15)	Формула (III-14)
186	23 „	разд. 1,2	разд. 12

Зак. 2464

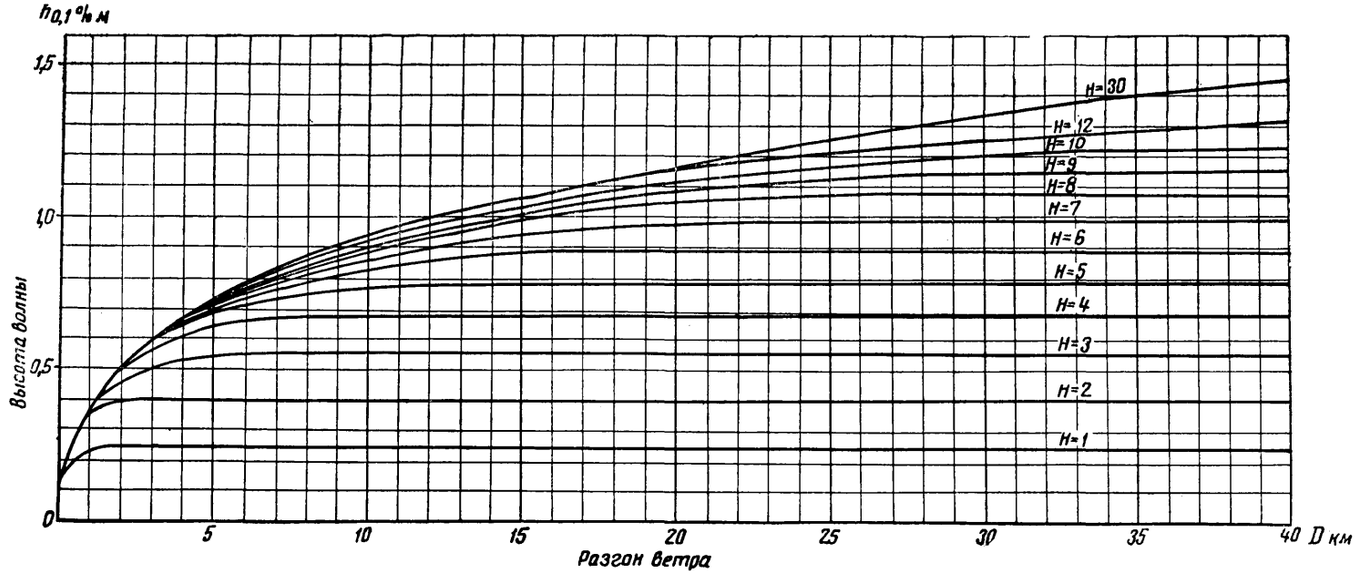


Рис. 30. Номограмма для расчета высоты волны $h = f(H, D, w)$ для скорости ветра $w_{10} = 10$ *м/сек*

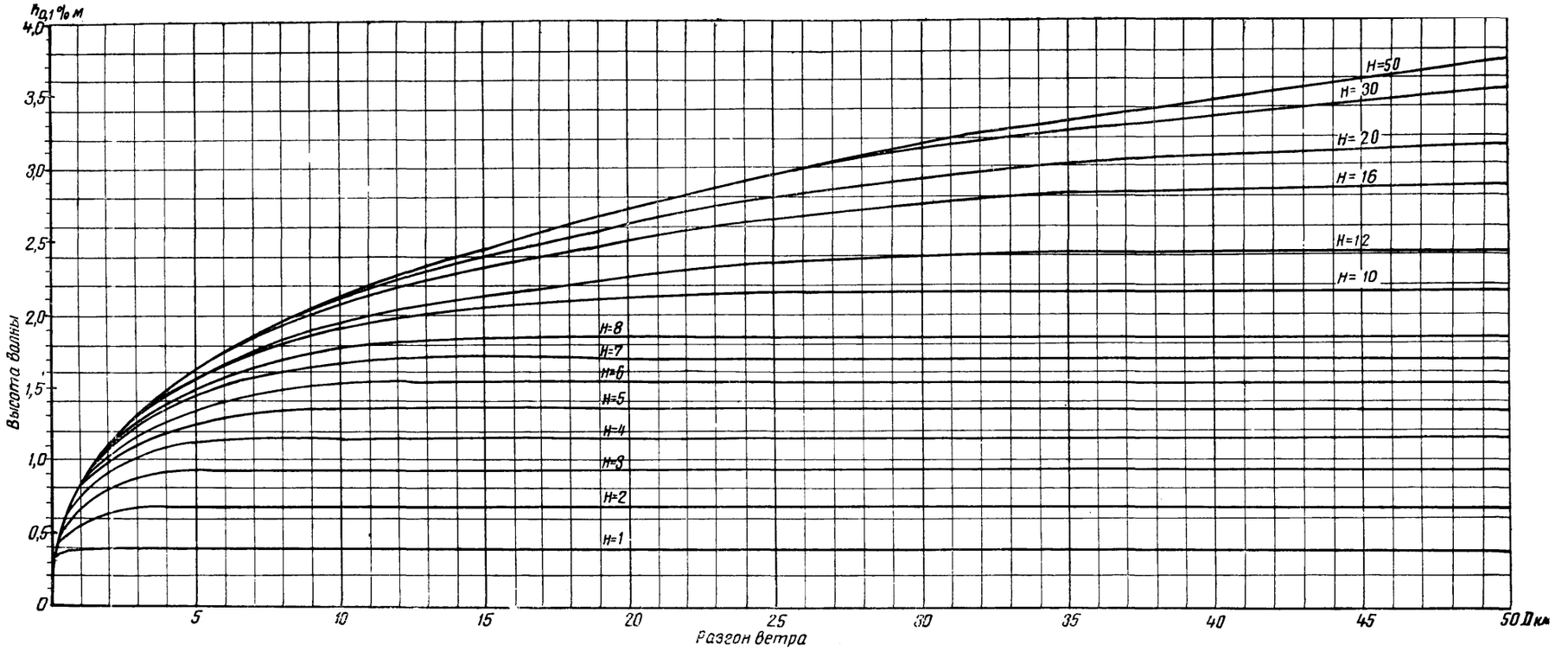


Рис. 31. Номограмма для расчета высоты волны $h = f(H, D, w)$ для скорости ветра $w_{10} = 20$ *м/сек*

вч. 2464

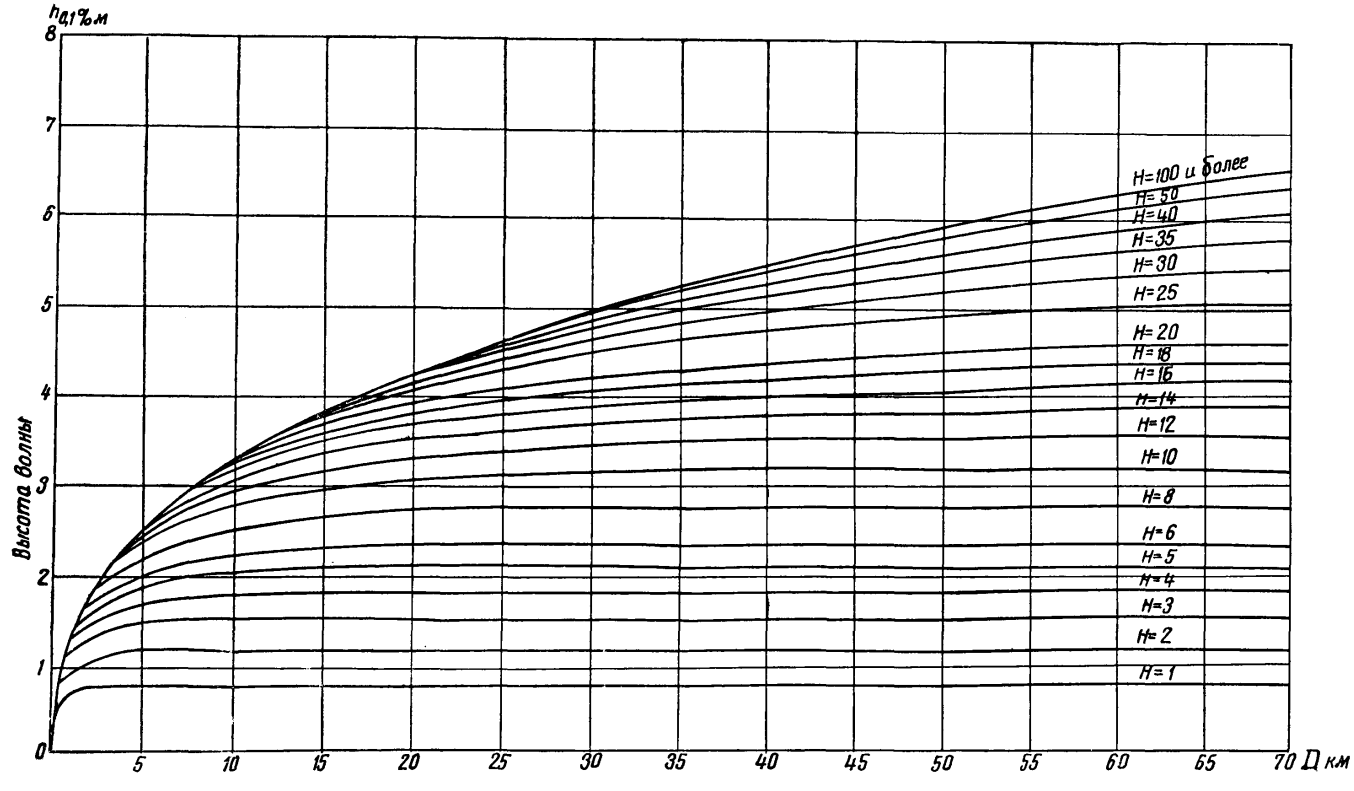
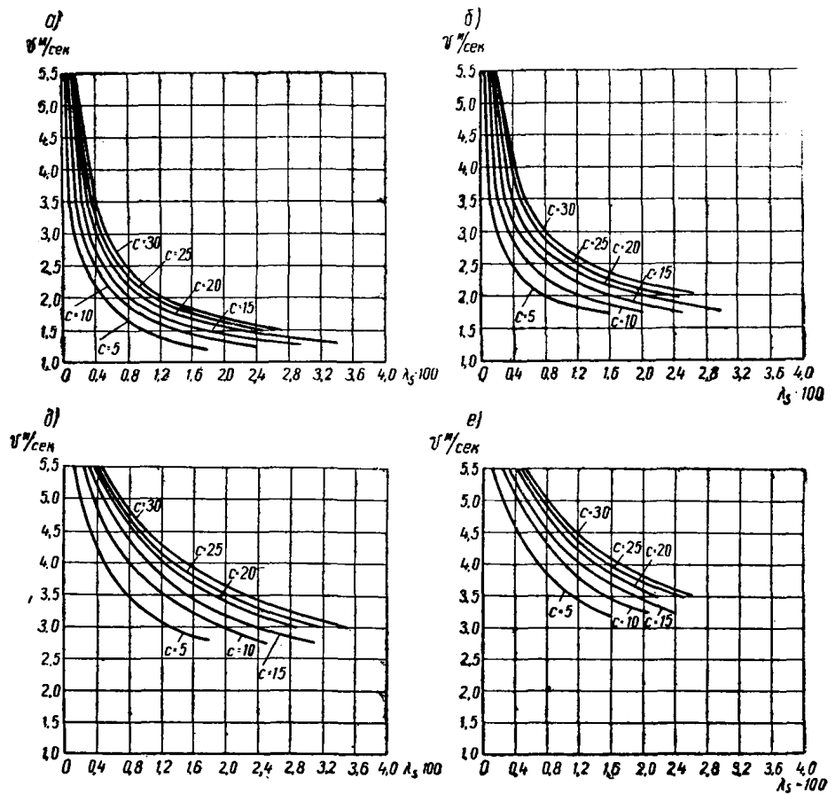


Рис. 32. Номограмма для расчета высоты волны $h = f(H, D, w)$ для скорости ветра $w_{10} = 30$ *м/сек*



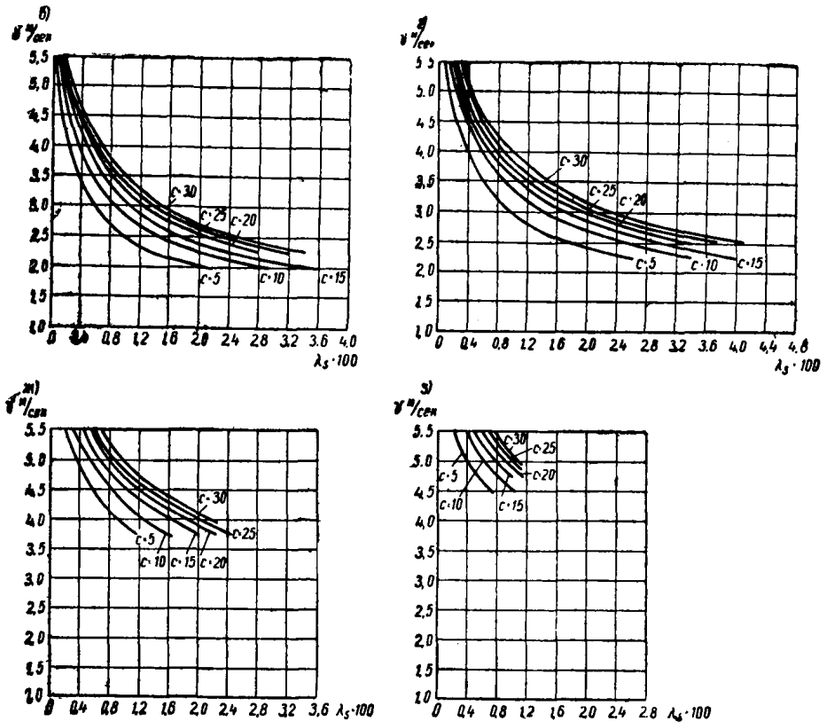


Рис. VII-1. Расчетные значения дополнительного коэффициента сопротивления $\lambda_s \cdot 100$ в зависимости от скорости v и консистенции пульпы C для грунтов

а — группы *1*; *б* — группы *2*; *в* — группы *3*; *г* — группы *4*; *д* — группы *5*; *е* — группы *6*; *ж* — группы *7*; *з* — группы *8*

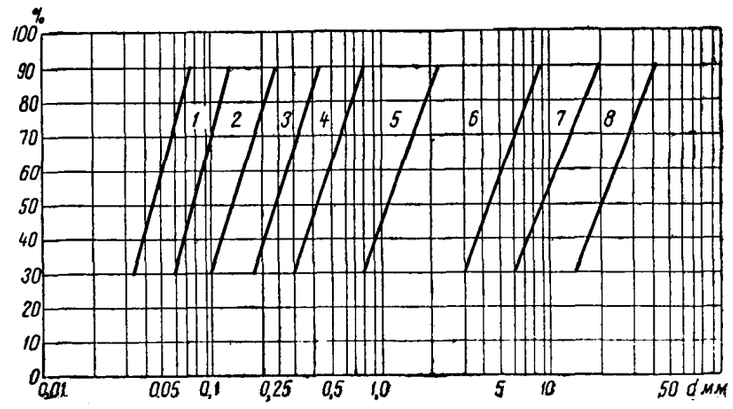
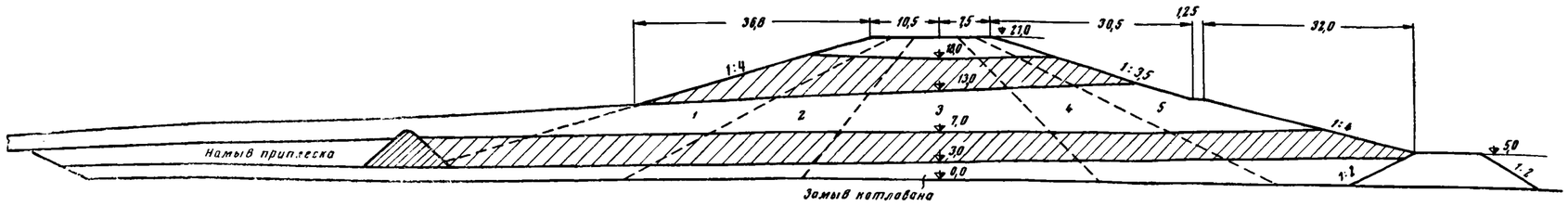


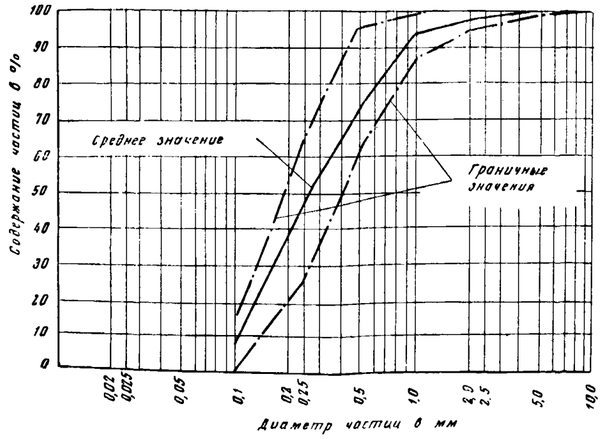
Рис. VII-2. Расчетные группы грунтов

Зак. 2464

Поперечный разрез

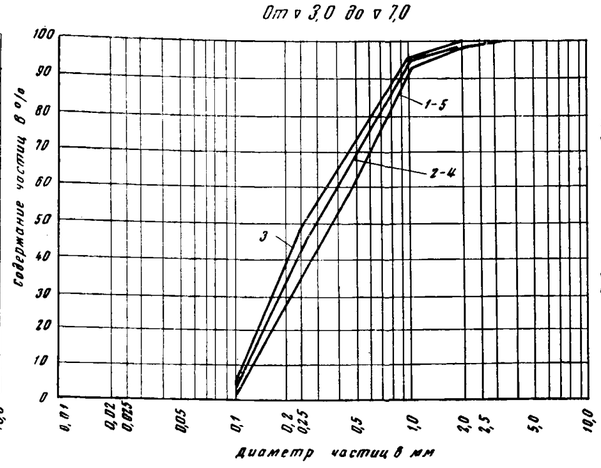


Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины

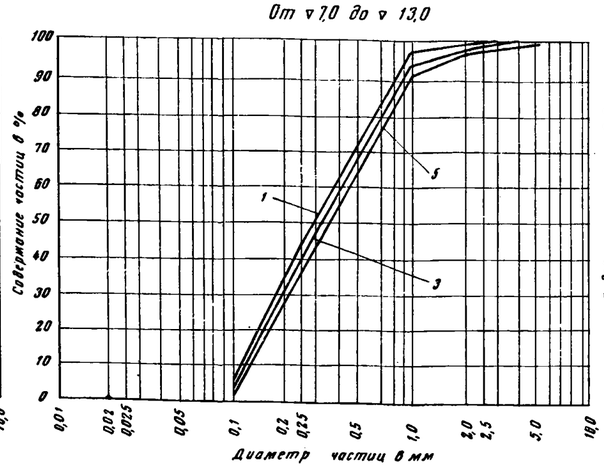


Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

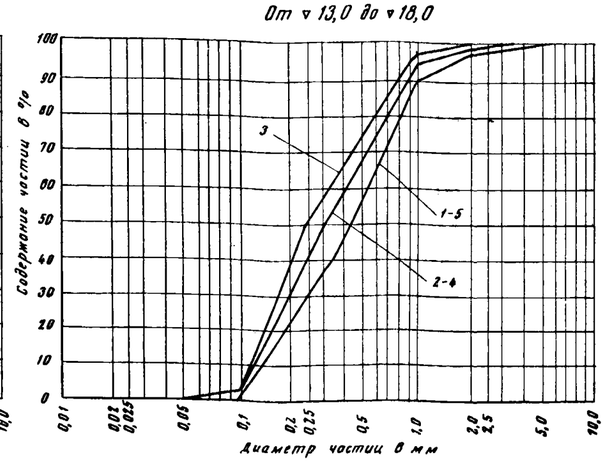
От ▽ 3,0 до ▽ 7,0



От ▽ 7,0 до ▽ 13,0

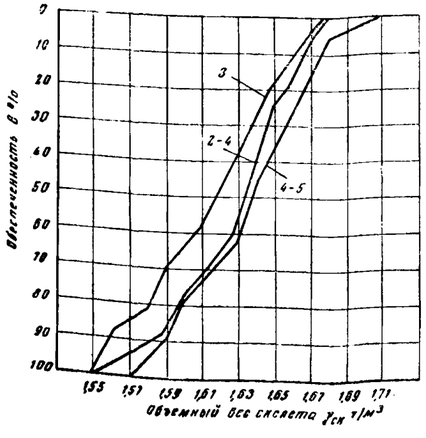


От ▽ 13,0 до ▽ 18,0

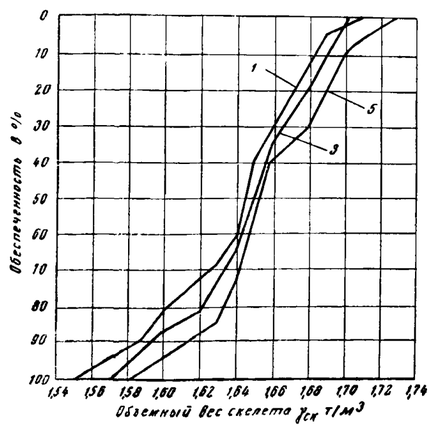


Графики обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

От ▽ 3,0 до ▽ 7,0



От ▽ 7,0 до ▽ 13,0



От ▽ 13,0 до ▽ 18,0

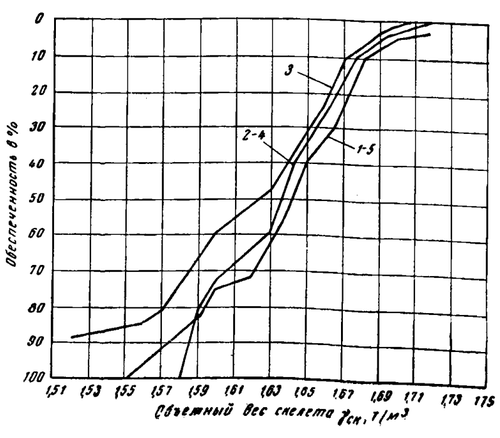


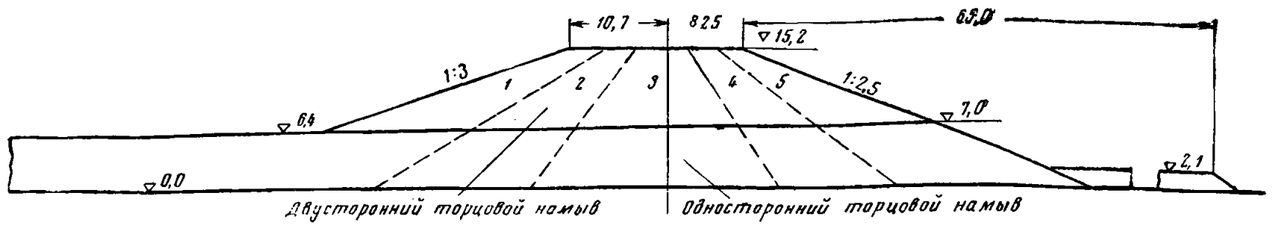
Рис. VIII-1

1 — верховая боковая призма; *2* — верховая промежуточная зона; *3* —центральная часть (ось); *4* —низовая промежуточная зона; *5* —низовая боковая призма

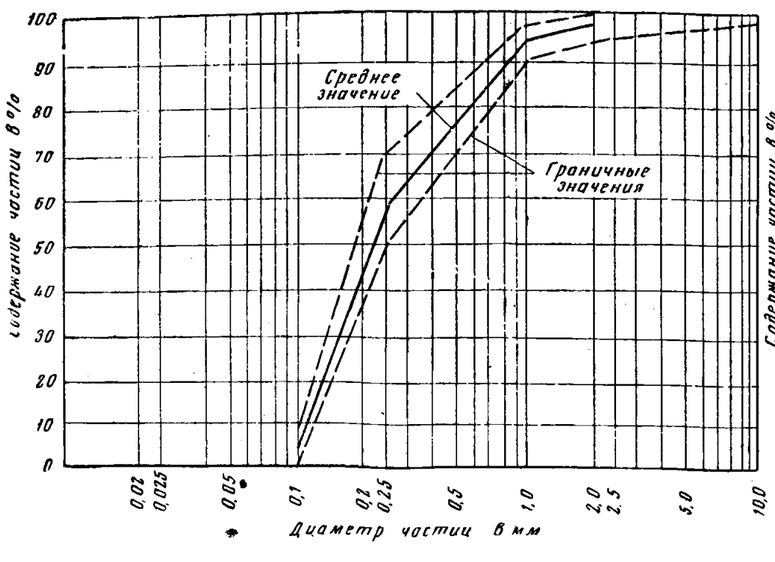
Для намыва плотины использовались разнозернистые (средние и мелкозернистые) кварцевые пески с окатанной формой зерен; высота забоя 3,5÷10 *м*; разработка грунов производилась земснарядами 300-40; намыв плотины выполнялся: от отметки 3,0 до 7,0—по двусторонней схеме, с поочередным намывом верхового и низового откосов из торца пульповода диаметром 600 *мм* (сброс воды осуществлялся через торец карты в реку); от отметки 7,0 до 13,0—по односторонней схеме со свободным откосом, с выпуском пульпы из торца пульповода диаметром 600 *мм*, уложенного на низких инвентарных опорах; от отметки 13,0 до 18,0 — по двусторонней схеме, с одновременным намывом верхового и низового откосов из торцов пульповодов диаметром 400 *мм* (сброс отработанных вод осуществлялся через водосбросные колодцы)

Зак. 2461

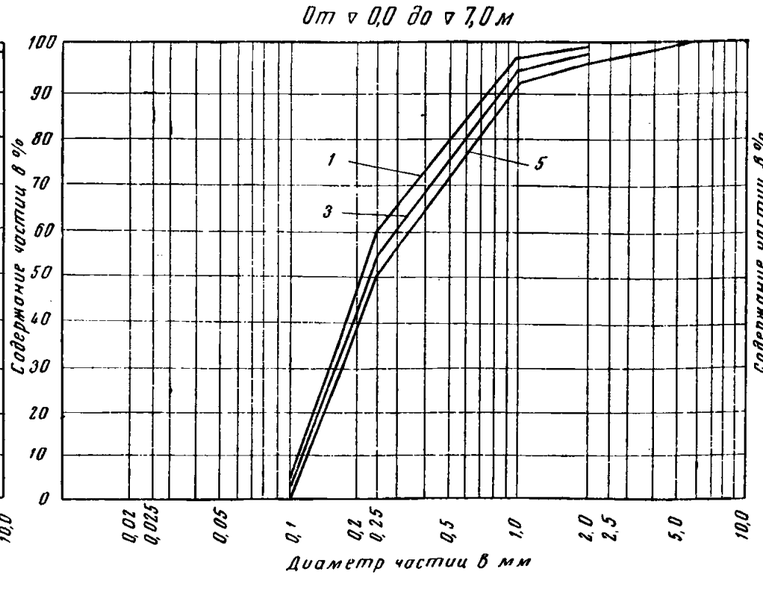
Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину
От ▽ 0,0 до ▽ 7,0 м



От ▽ 7,0 до ▽ 15,2 м

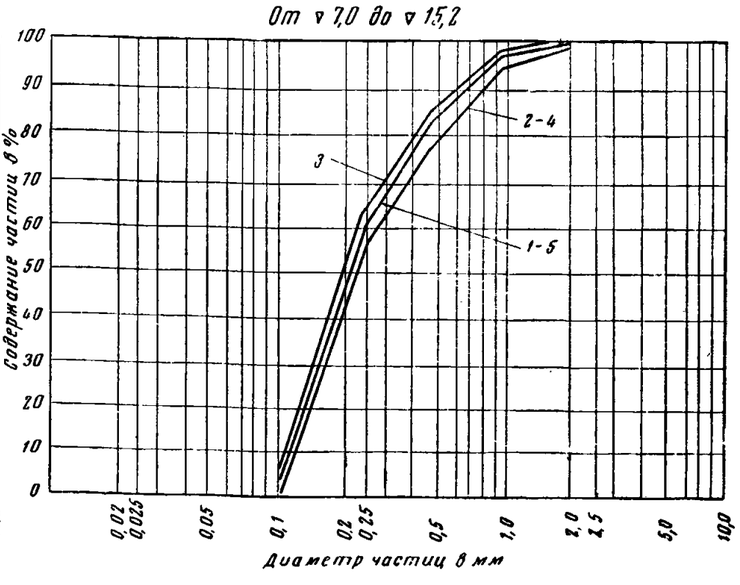
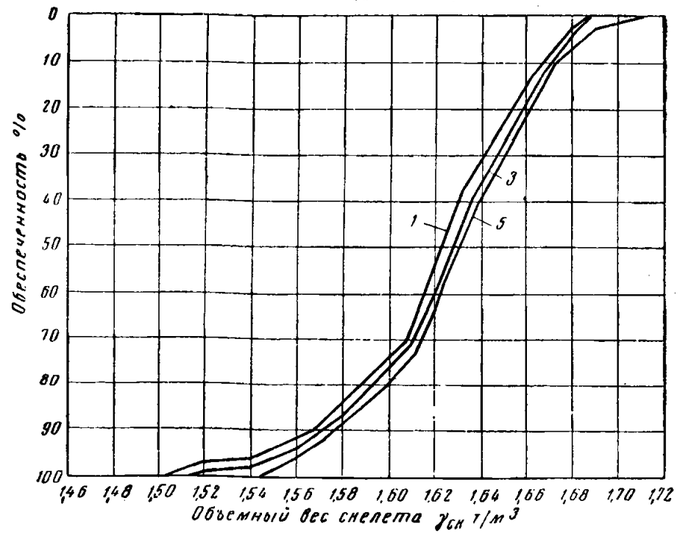


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

От ▽ 0,0 до ▽ 7,0 м



От ▽ 7,0 до ▽ 15,2 м

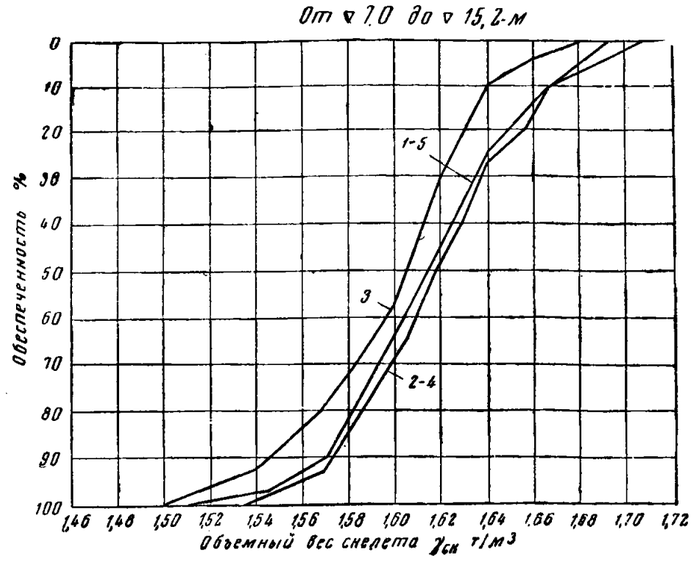
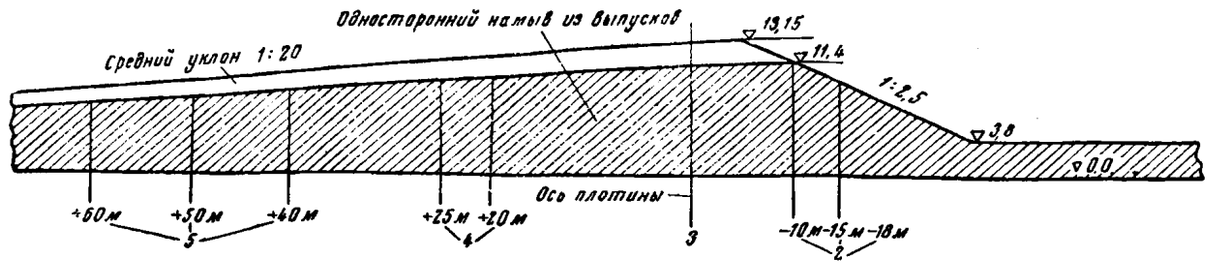


Рис. VIII-2

1 — верховая боковая призма; *2* — верховая промежуточная зона; *3* — центральная часть; *4* — низовая промежуточная зона; *5* —низовая боковая призма Для намыва плотины использовались разно-и мелкозернистые кварцевые пески с окатанной формой зерен; высота забоя составляла 7—8 *м*, в том числе подводного 6 *м*; разработка грунтов производилась земснарядом 300-40; намыв плотины выполнялся: до отметки 7,0—по односторонней схеме со сводным откосом из торца пульповода диаметром 600 *мм*; от отметки 7,0 до 15,2—по двусторонней схеме с одновременным намывом верхового, низового откосов из торца пульповодов диаметром 400 *мм*; сброс отработанной воды осуществлялся через водосбросные колодцы

Зак. 2164

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины

Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину От ▽0,0 до ▽11,4м

График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину От ▽0,0 до ▽11,4

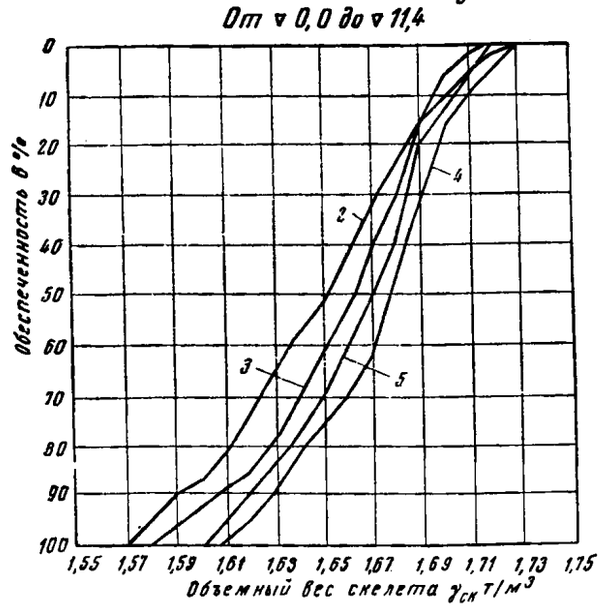
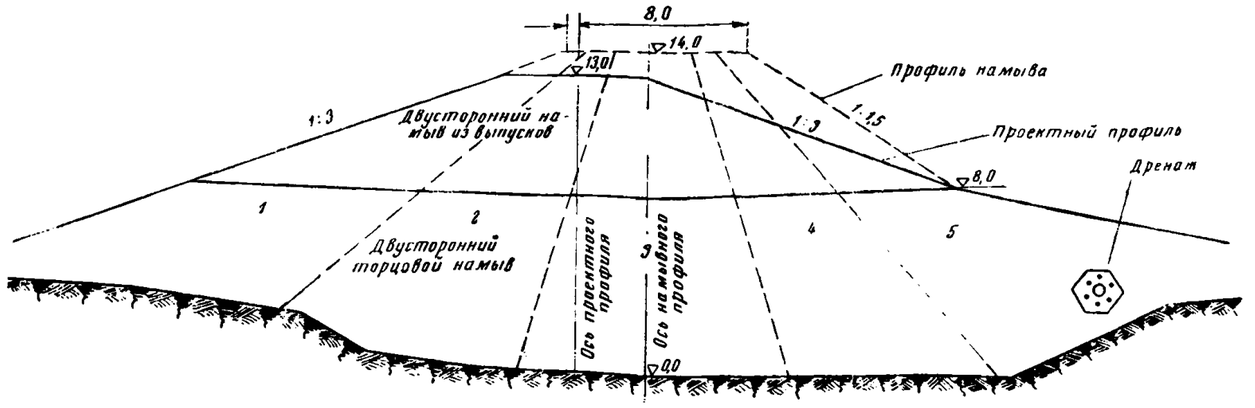


Рис. VIII-3.

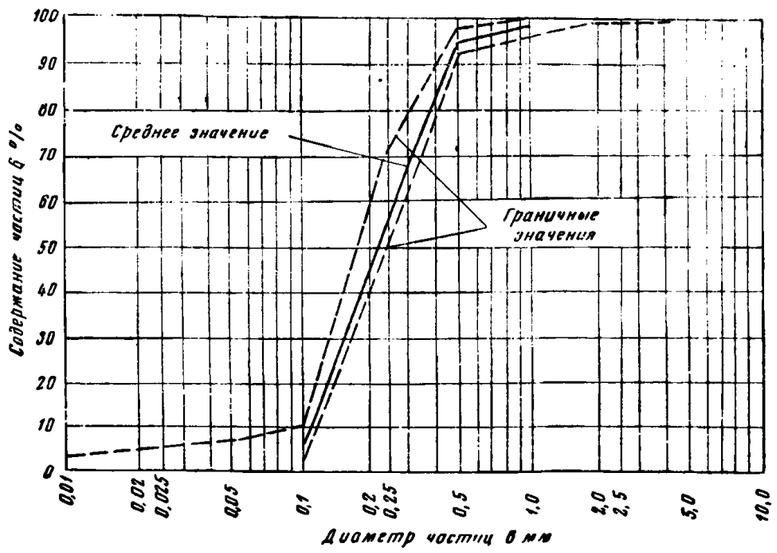
Для намыва плотины использовались разно- и мелкозернистые кварцевые пески с окатанной формой зерен; покровный слой супесей и суглинков мощностью от 1 до 3 *м* не удалялся, высота забоя от 6—11 *м*, в том числе подводного 4—8 *м*, разработка грунтов производилась земснарядами 300—40; намыв плотины выполнялся по односторонней схеме со сводным откосом из выпусков пульповода диаметром 600 *мм*, укладываемого на эстакадах высотой 25 *м*; при намыве грунт укладывался с уклоном от 1:12 до 1:30, в среднем 1:20, выпуски пульповода часто забивались камнями и корневищами

Зак. 2464

Поперечный профиль

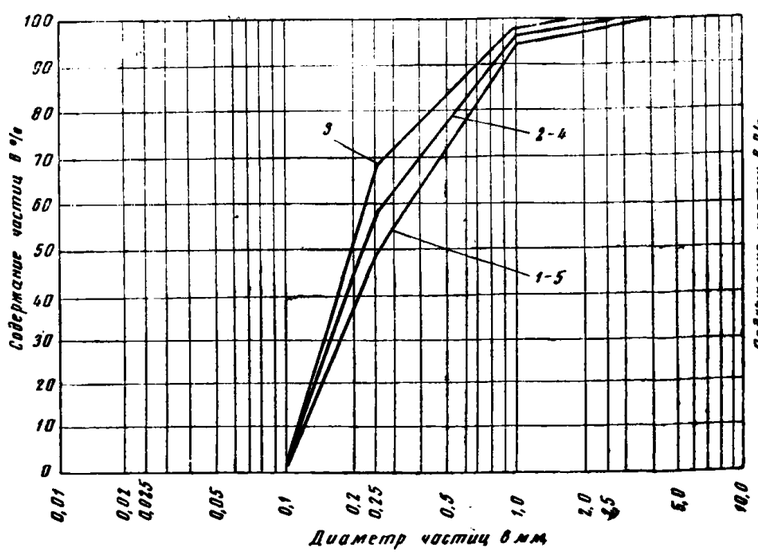


Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

От ▽ 0,0 до ▽ 8,0 м



От ▽ 8,0 до ▽ 14,0 м

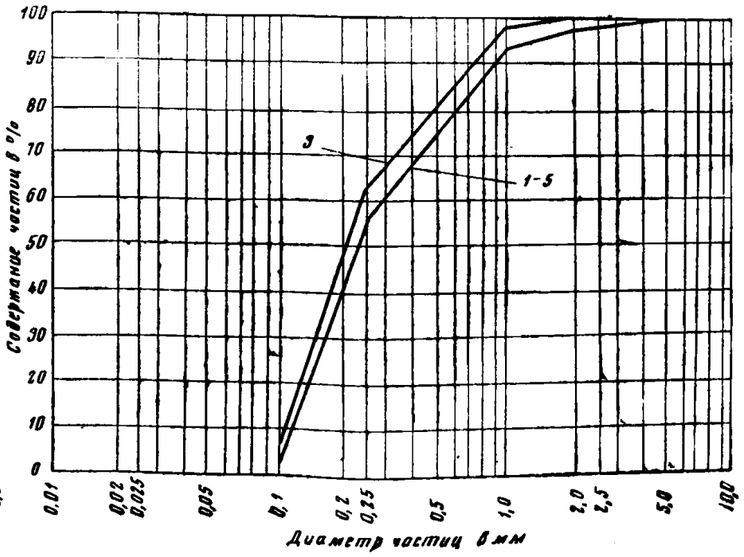
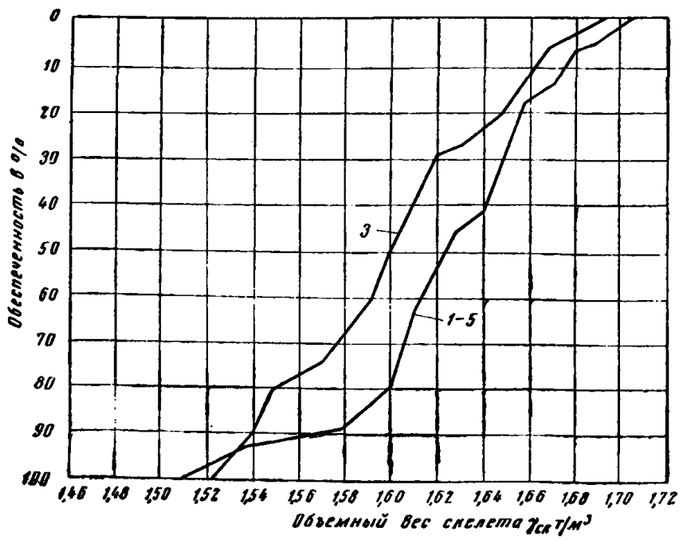


График обеспеченности $\gamma_{сп}$ грунтов, намытых в плотину

От ▽ 0,0 до ▽ 8,0



От ▽ 8,0 до ▽ 14,0 м

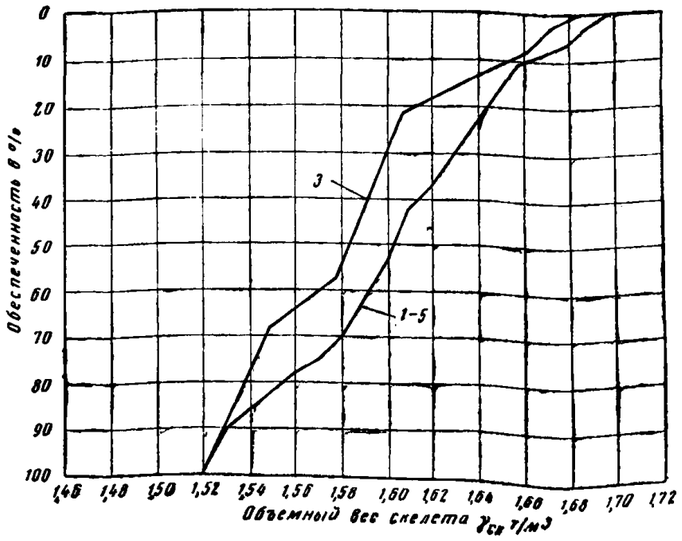
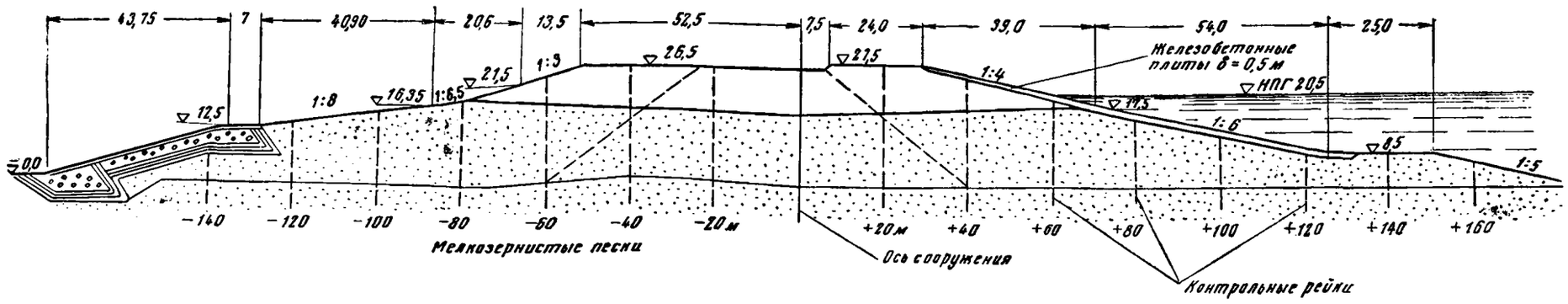


Рис. VIII-4

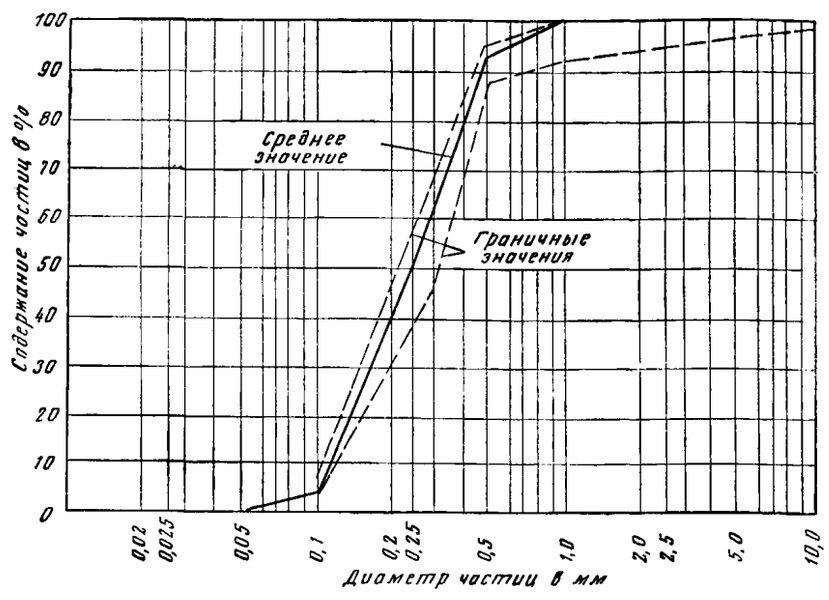
1 — верховая боковая призма; *2* — верховая промежуточная зона; *3* — центральная часть; *4* — низовая промежуточная зона; *5* — низовая боковая призма

Для намыва плотины использовались мелкозернистые кварцевые пески с окатанной формой зерен; покровный слой супесей и суглинков от 1—3 *м* удалялся сухим способом; высота забоя составляла 9,5—10 *м*, в том числе подводного 6—7 *м*; разработка грунтов производилась земснарядами 300-40; намыв плотины выполнялся по двусторонней схеме, с одновременным намывом верхового и низового откосов; намыв до отметки 8,0 осуществлялся низкоопорным торцовым способом, а выше отметки 8,0 — из выпусков пульповодов, укладываемых на эстакады высотой 3,5 *м*; рабочие пульповоды применялись диаметром 400 *мм*

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

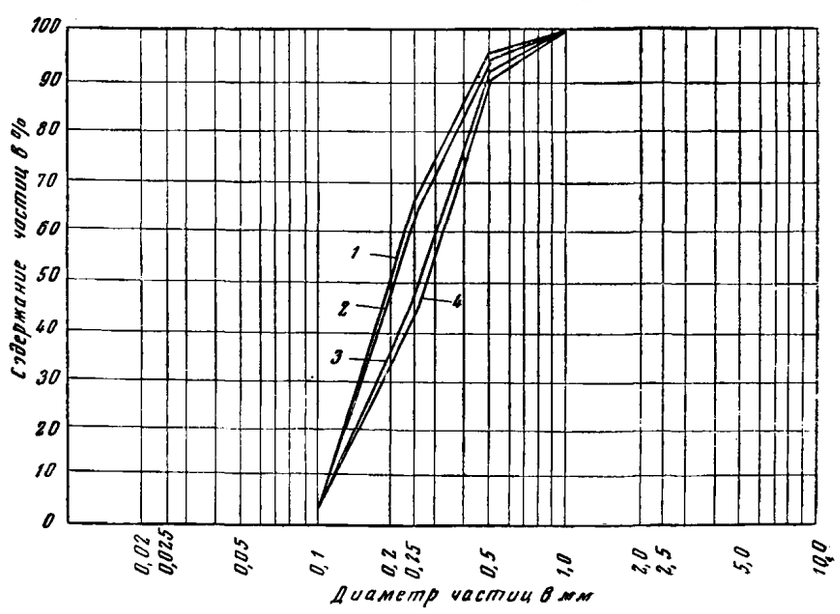


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

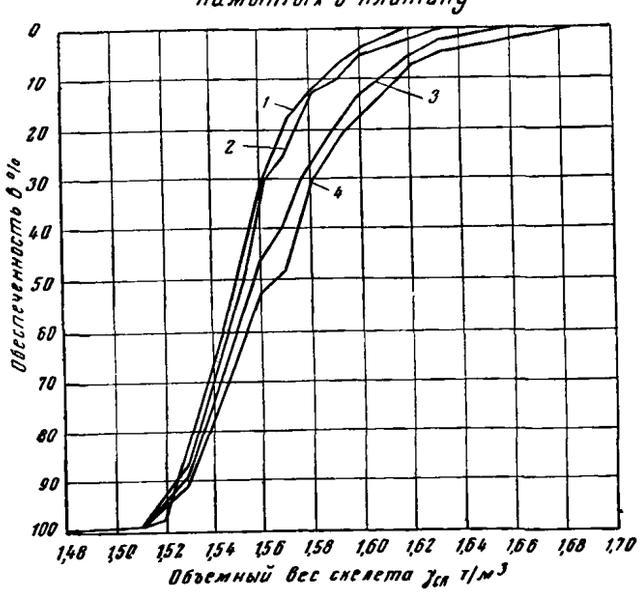


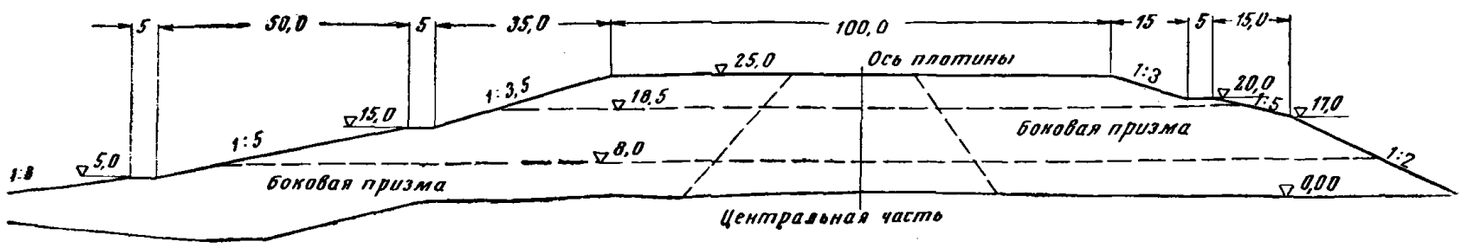
Рис. VIII-5

1 — центральная часть (ось); *2* — центральная часть (+20—40 *м*); *3* — боковая призма [(+60—80 *м*); *4* — боковая призма (+160—140 *м*)

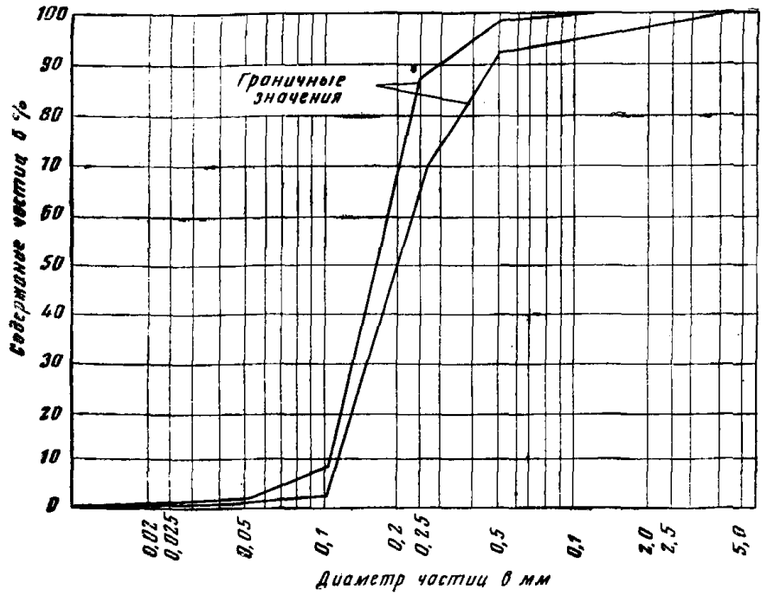
Для намыва плотины использовались однородные мелкозернистые кварцевые пески с средней окатанностью формы зерен; высота забоев 20 — —23 *м*, в том числе подводного до 15 *м*; разработка грунтов производилась земснарядом 1000-80; намыв плотины осуществлялся по двусторонней схеме, безэстакадным способом, с делением расхода на два пульповода диаметром 600 *мм*; прудок при намыве поддерживался в пределах от 20 до 35% от ширины профиля плотины

Зак. 2464

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

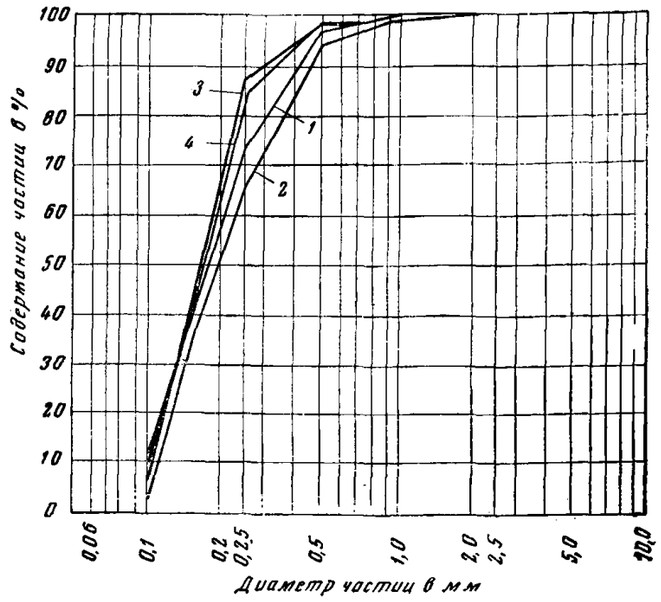


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

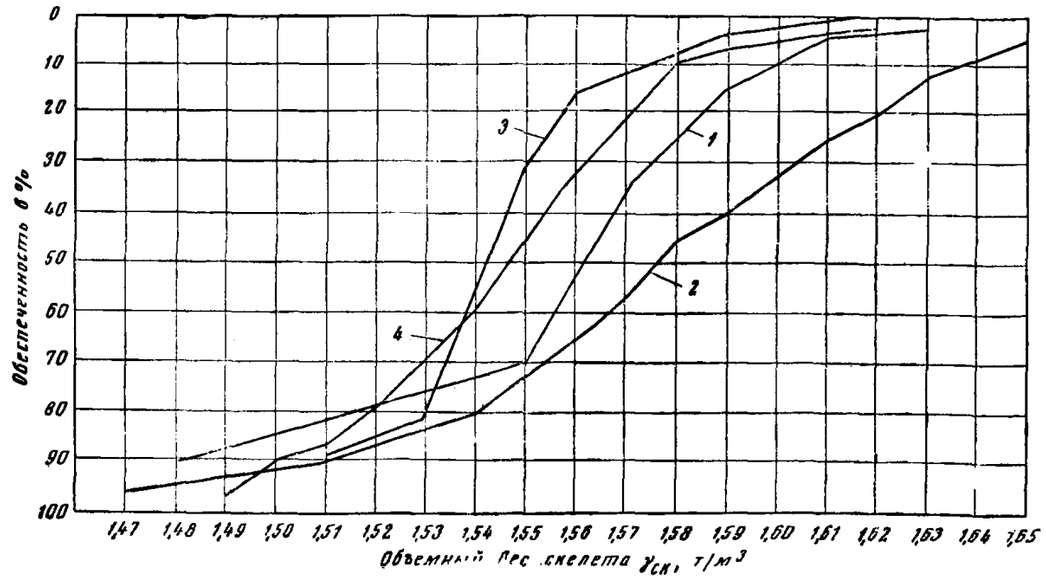


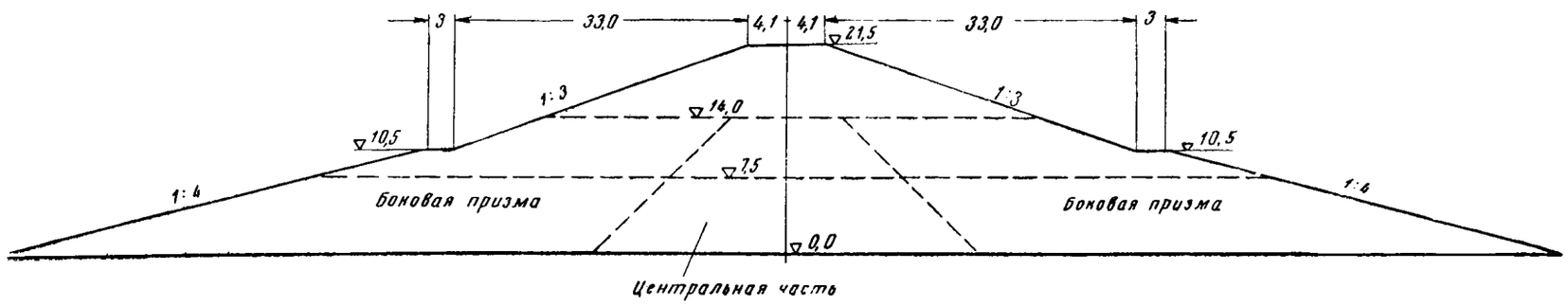
Рис. VIII-6

1 — центральная часть до отметки 8 *м*; *2* — боковая призма до отметки 8 *м*; *3* — центральная часть от отметки 8 *м* до отметки 18,5 *м*; *4* — призма от отметки 8 *м* до отметки 18,5 *м*

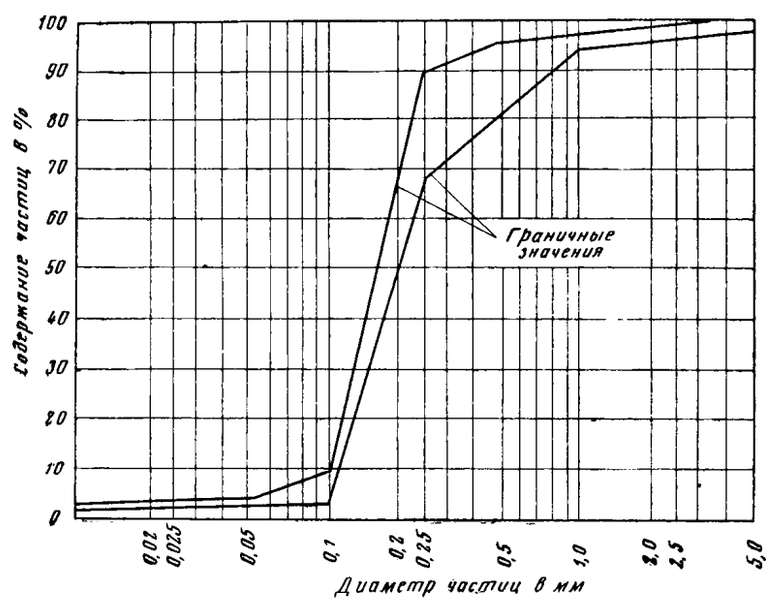
Для намыва плотины использовались мелкозернистые пески с окатанной формой зерен; пески содержат кварца ~75%, рудных минералов~15%, полевых шпатов и кремния~10%, высота забоя~6—7 *м*; разработка грунтов производилась: для намыва плотины до отметки 8,0—земснарядом 1000-80, от отметки 8,0 до 18,5— земснарядом 500-60; намыв плотины выполнялся по двусторонней схеме: до отметки 8,0—эстакадно-ярусным способом из выпусков, высота эстакад 4—4,5 *м*; от отметки 8,0 до 18,5—безэстакадным способом, с поочередным намывом верхового и низового откосов

Зак. 2464

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва дамбы



Гранулометрический состав грунтов, намытых в дамбу

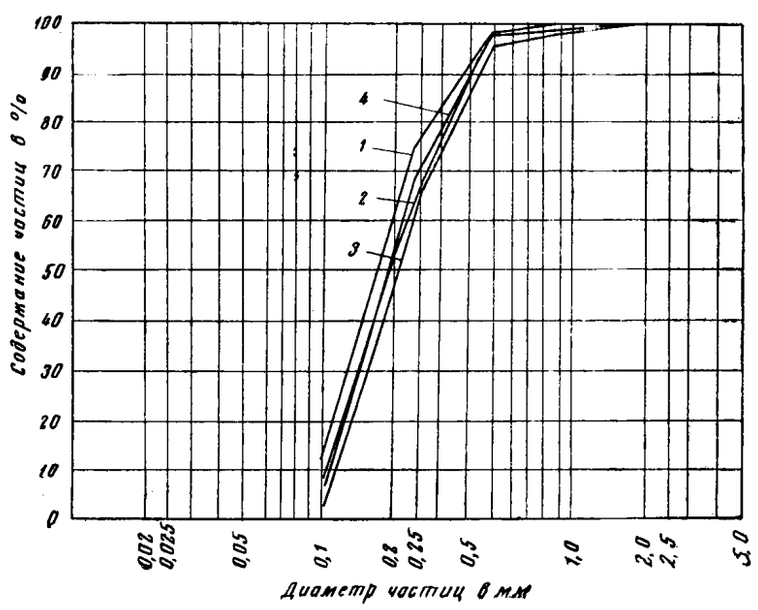


График обеспеченности $\gamma_{сн}$ грунтов, намытых в дамбу

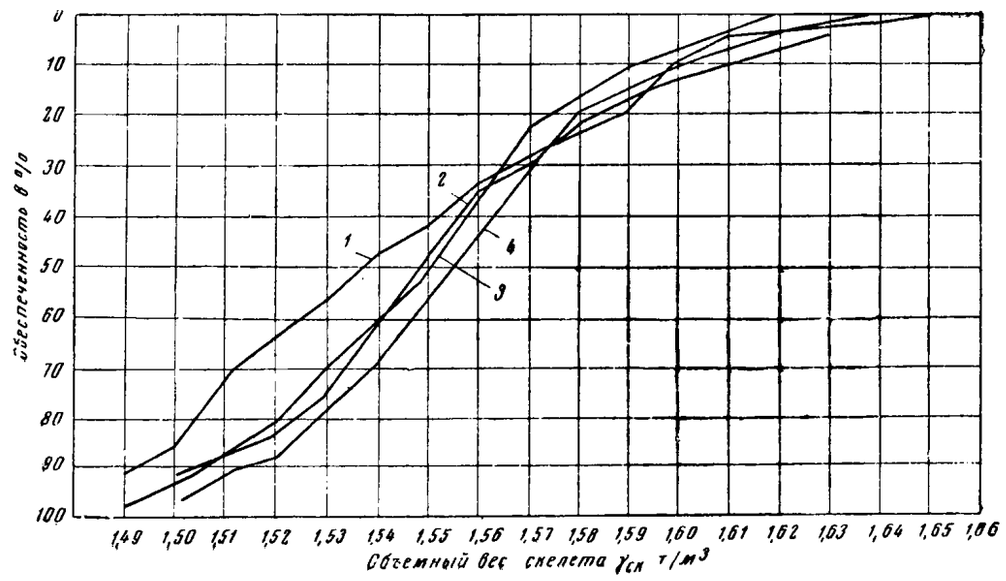
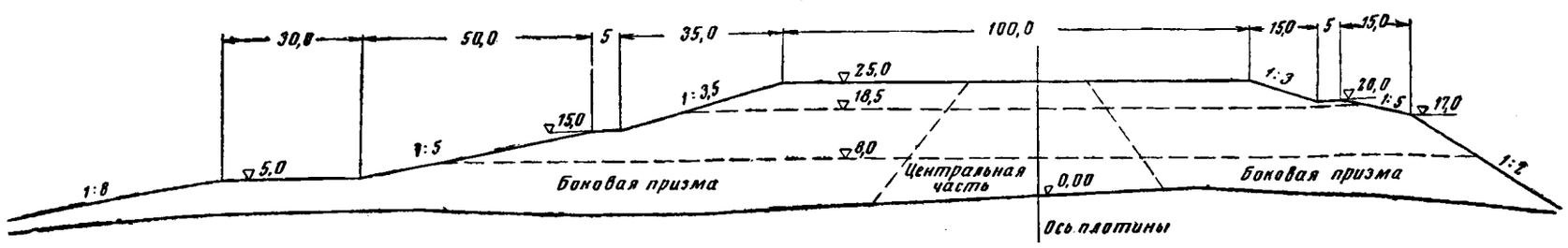


Рис. VIII-7

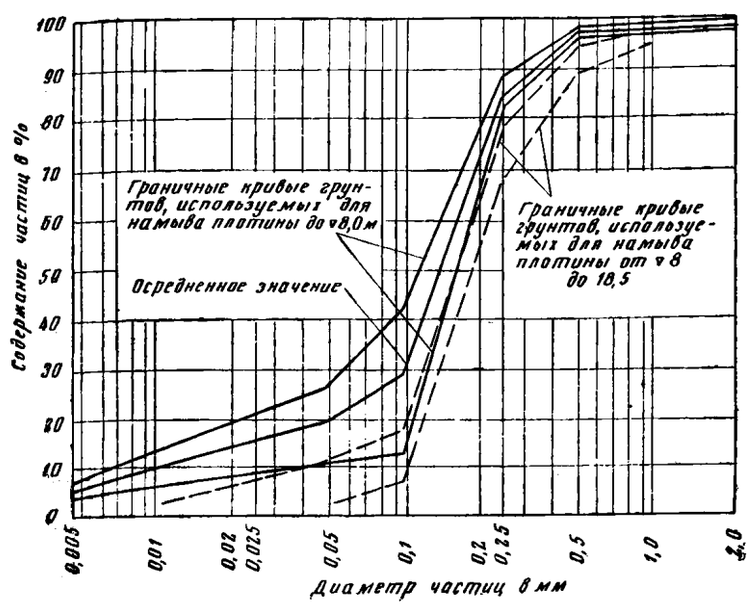
1 — центральная часть от отметки 0,0 до отметки 7,5 *м*; *2* — боковая призма от отметки 0,0 до отметки 7,5 *м*; *3*—центральная часть от отметки 7,5 *м* до отметки 14 *м*; *4* — боковая призма от отметки 7,5 *м* до отметки 14 *м*

Для намыва дамбы использовались мелкозернистые пески с окатанной формой зерен; пески содержат: кварца~75%, рудных материалов~15%, полевых шпатов и кремния~10%; высота забоя в среднем~12 *м*; разработка грунтов производилась земснарядом 500-60; намыв дамбы выполнялся по двусторонней схеме, безэстакадным способом, с поочередным намывом ее откосов

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

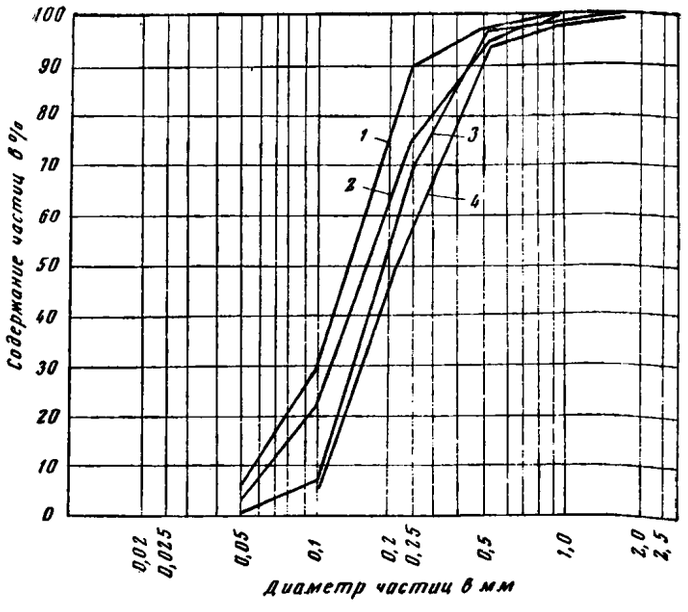


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

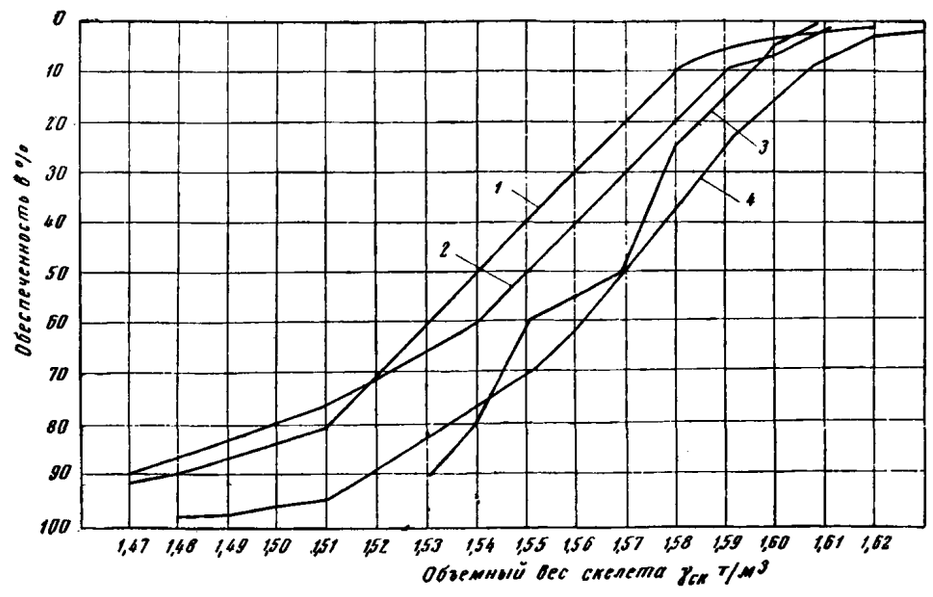
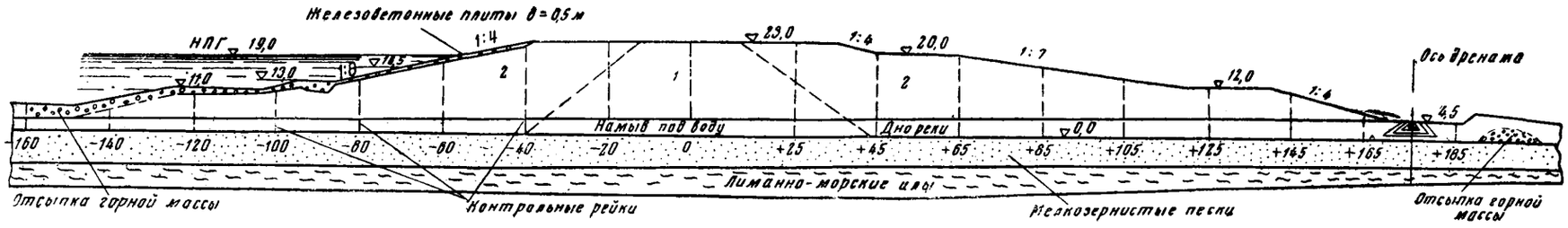


Рис. VIII-8

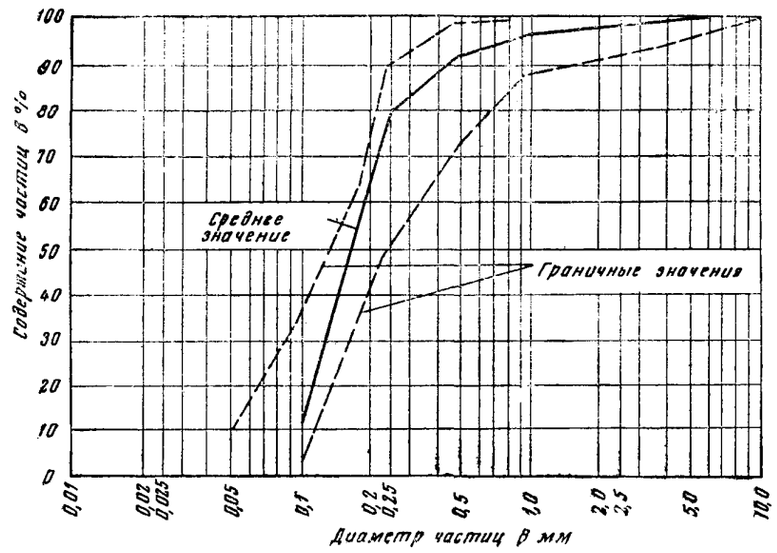
1 — центральная часть до отметки 8 *м*; *2* — боковая призма до отметки 8 *м*; *3*—центральная часть, от отметки 8 *м* до отметки 18,5 *м*; *4*—боковая призма от отметки 8 *м* до отметки 18,5 *м*

Для намыва плотины от отметки 0,0 до 8,0 использовались тонко- и мелкозернистые пески, высота забоя 9 *м*; от отметки 8,0 до 18,5—мелкозернистые пески, высота забоя 5—7 *м*, пески содержат кварца~75%, рудных минералов~15%, полевых шпатов и кремния~10%, зерна имеют окатанную форму; разработка грунтов производилась земснарядом 500-60; намыв плотины выполнялся по двусторонней схеме; от отметки 0,0 до 8,0—эстакадно-ярусным способом, из выпусков от отметки 8,0 до 18,5— безэстакадным способом, с поочередным намывом верхового и низового откосов

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

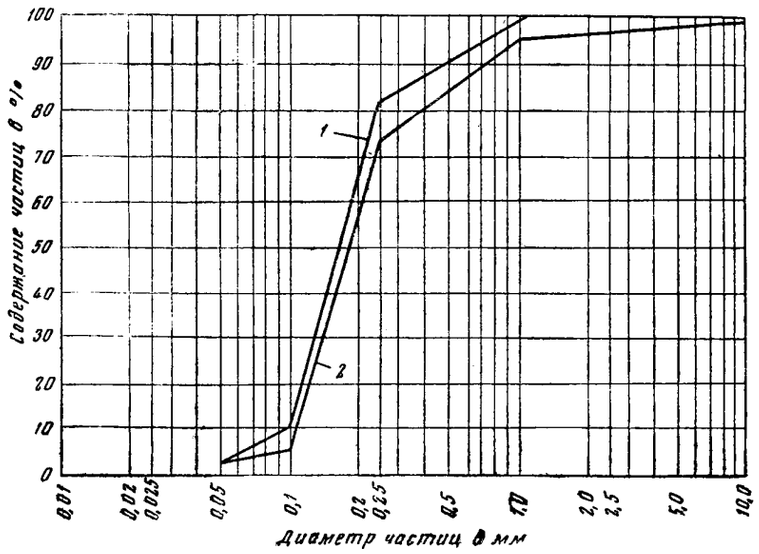


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

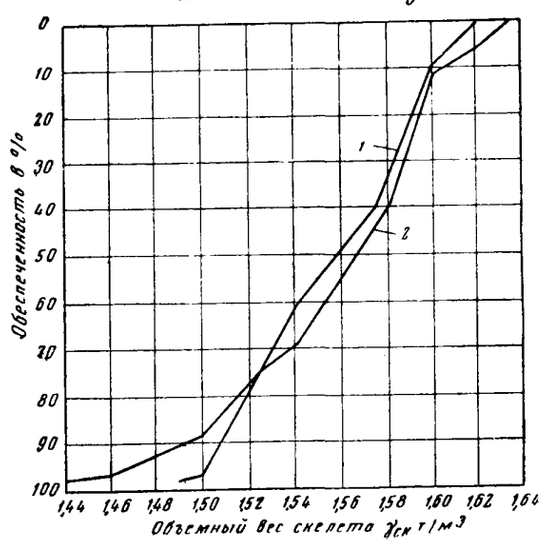


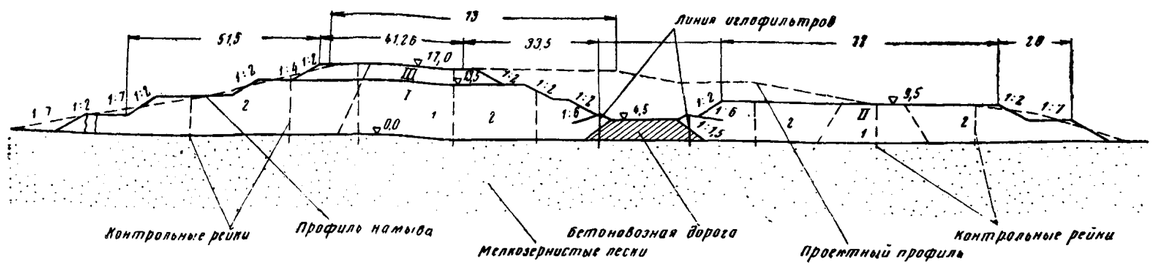
Рис. VIII-9

1 — центральная часть; *2* — боковая призма

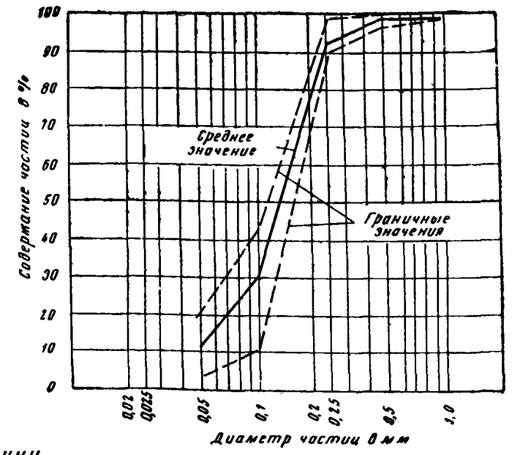
Для намыва плотины использовались мелко-и тонкозернистые пески, с включением ракушки до 12%; пески кварцевые, с окатанной формой зерен; средняя высота забоев составляет 11 — 12 *м*; разработка грунтов для намыва надводной части плотины в основном производилась земснарядами 500-60 (3 шт.) и 1000-80 (1 шт.); намыв плотины (надводная часть) осуществлялся по двусторонней схеме, беззастакадным способом, с выпуском пульпы из труб диаметром 600 *мм*. Прудок при намыве поддерживался в пределах от 20 до 35% от ширины профиля плотины

Зак. 2464

Поперечный профиль

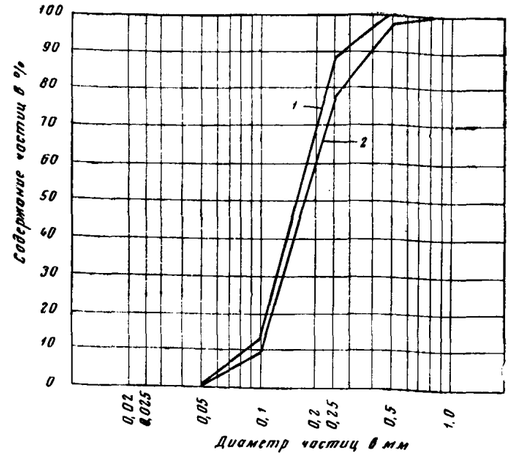


Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины

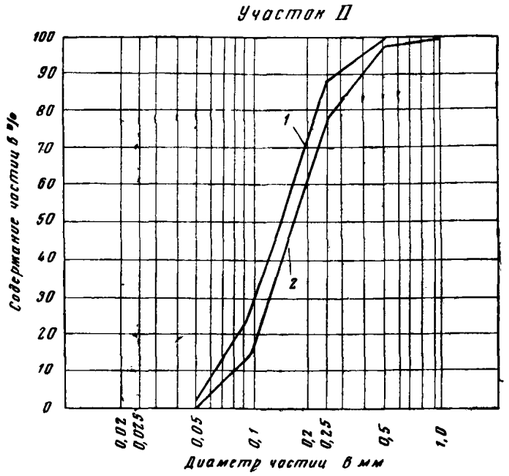


Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

Участок I



Участок II



Участок III

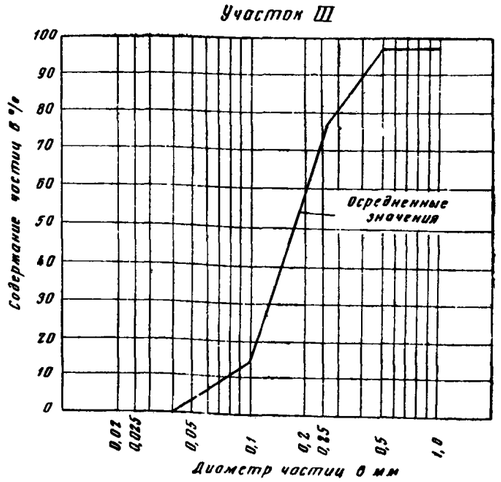
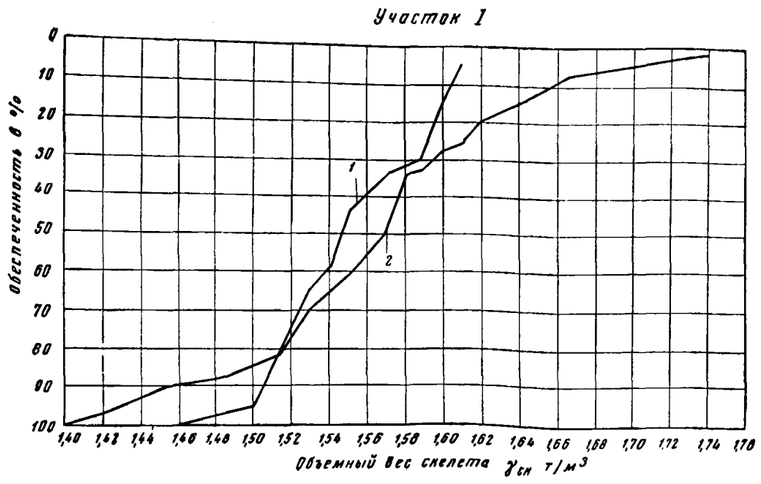
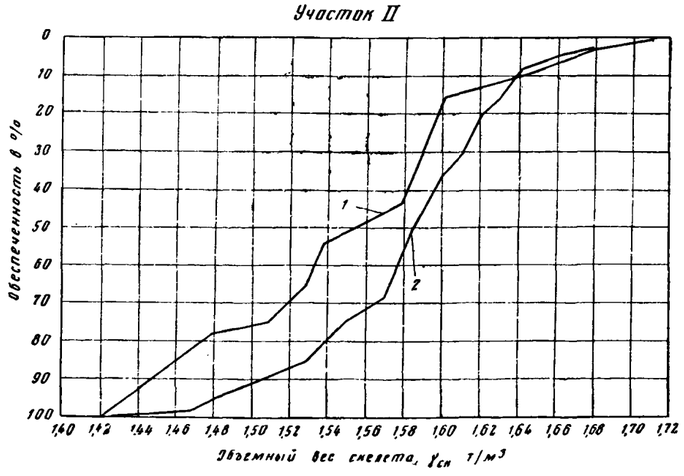


График обеспеченности $\gamma_{сн}$ грунтов, намытых в плотину

Участок I



Участок II



Участок III

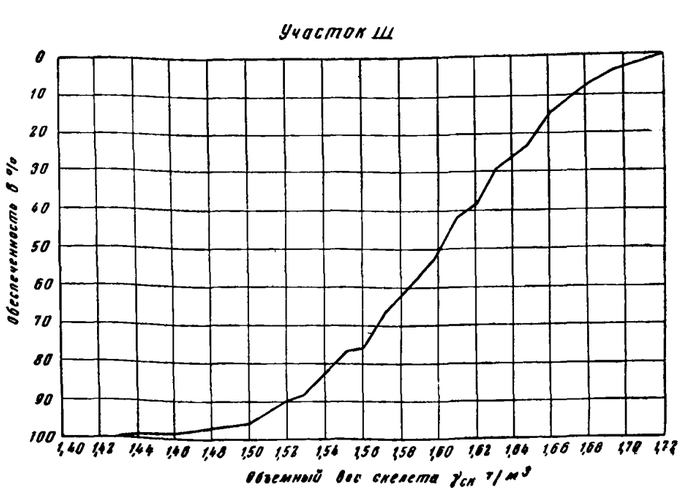
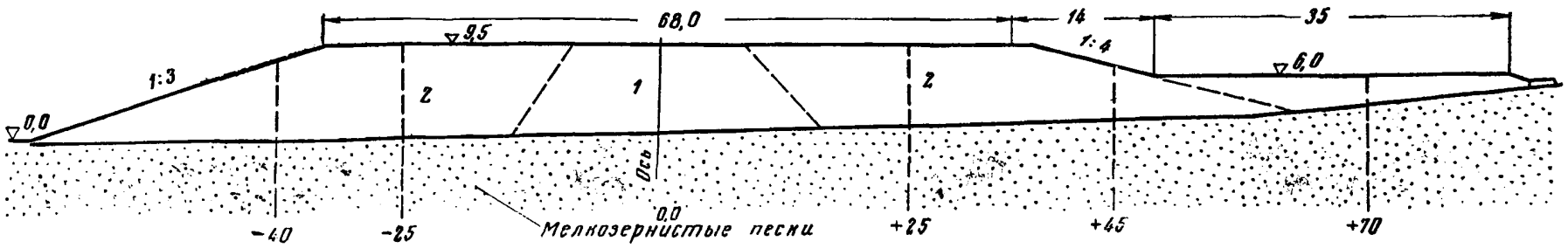


Рис. VIII-10

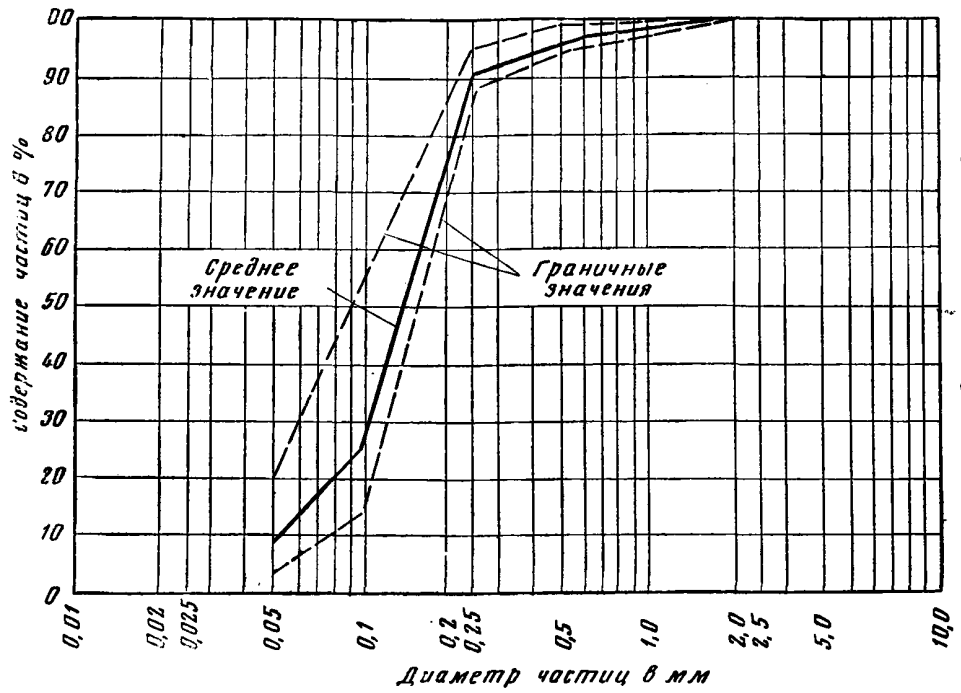
I, II, III — участки намывной плотины; *1* — центральная часть; *2* — боковая призма

Для намыва плотины использовались мелко и тонкозернистые пески с переменным содержанием пылеватых фракций и включение ракушки, пески кварцевые, с окатанной формой зерен; средняя высота забоя 5 — 7 *м*; в том числе подводного 3 — 4 *м*; разработка грунтов производилась земснарядом 500-60; намыв плотины выполнялся участками; *а* —участок I до отметки 13,5 и участок II до отметки 9,5 эстакадно-ярусным способом, из выпусков по двусторонней схеме; высота яруса намыва 4 — 4,5 *м*; ширина прудка намыва составляла в среднем 20 *м*; *б* — участок III от отметки 13,5 до 17,0 — по двусторонней схеме, с торцовым выпуском пульпы из двух пульповодов диаметром 400 *мм*, укладываемых на низких опорах; ширина прудка при намыве составляла 18 — 20 *м*

Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину

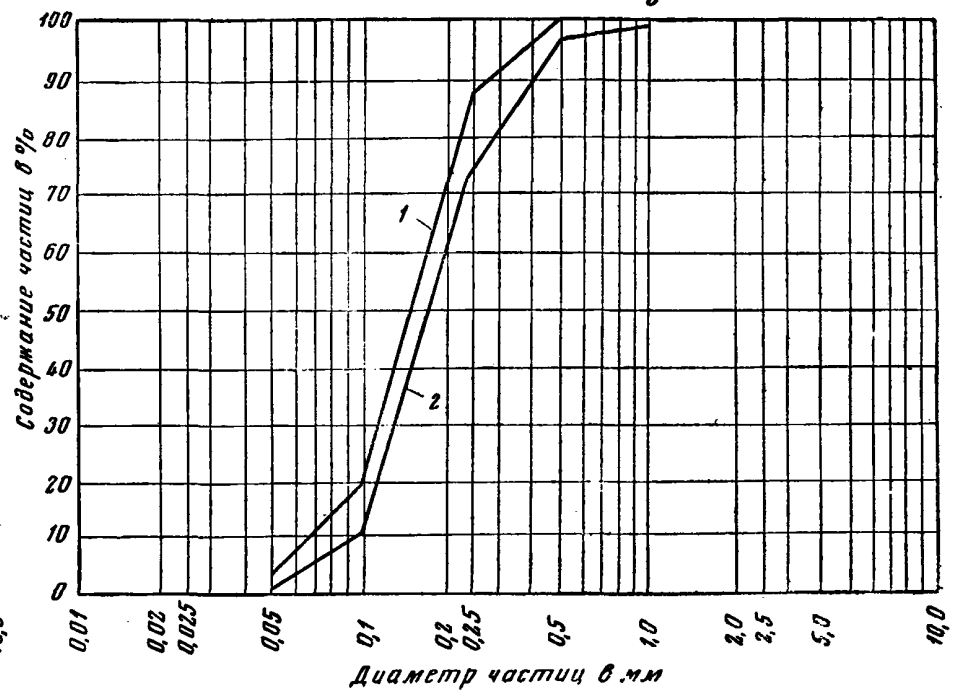


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину

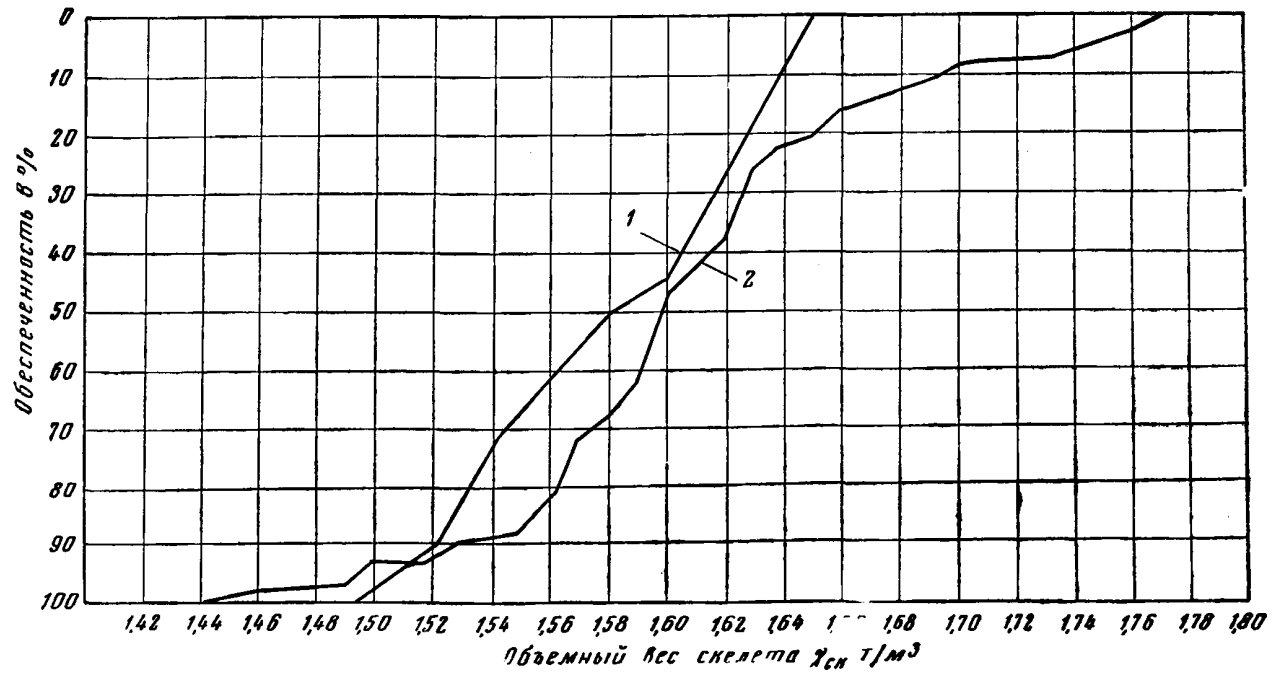
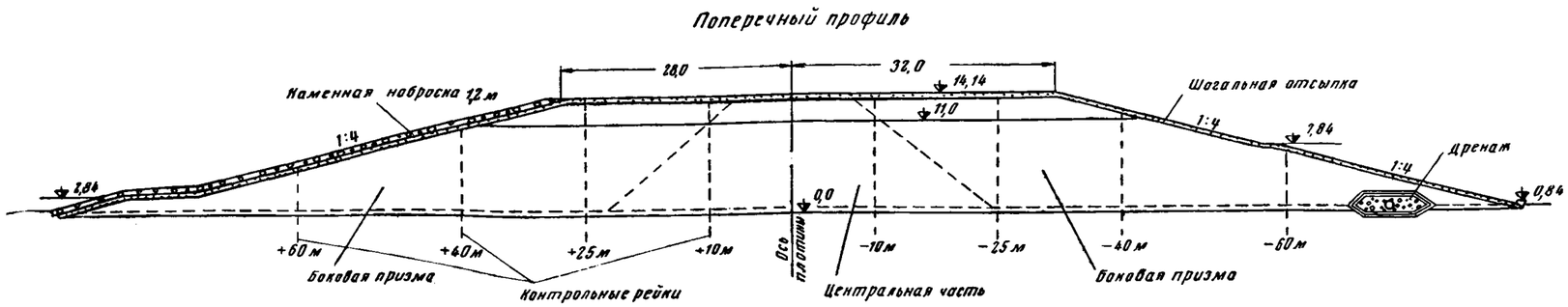


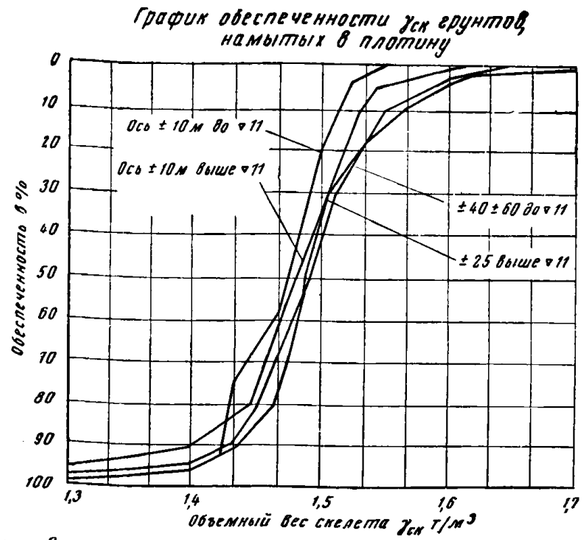
Рис. VIII-11

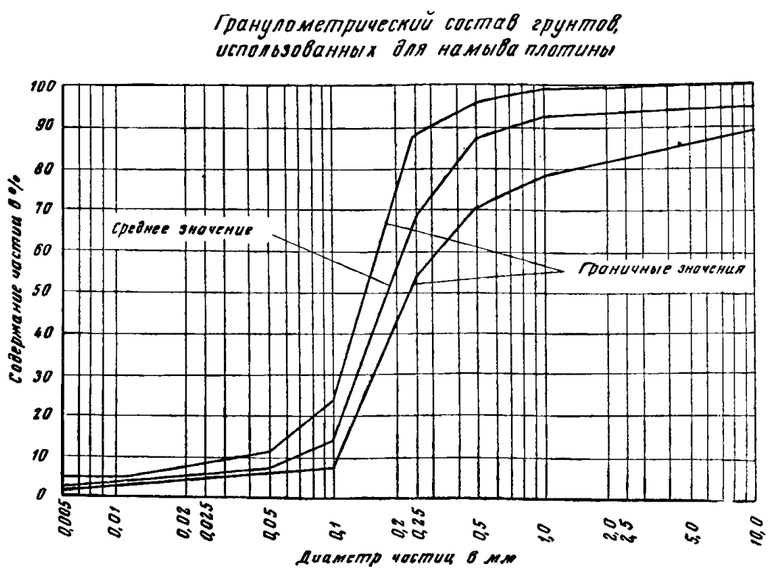
1 — центральная часть; *2* — боковая призма

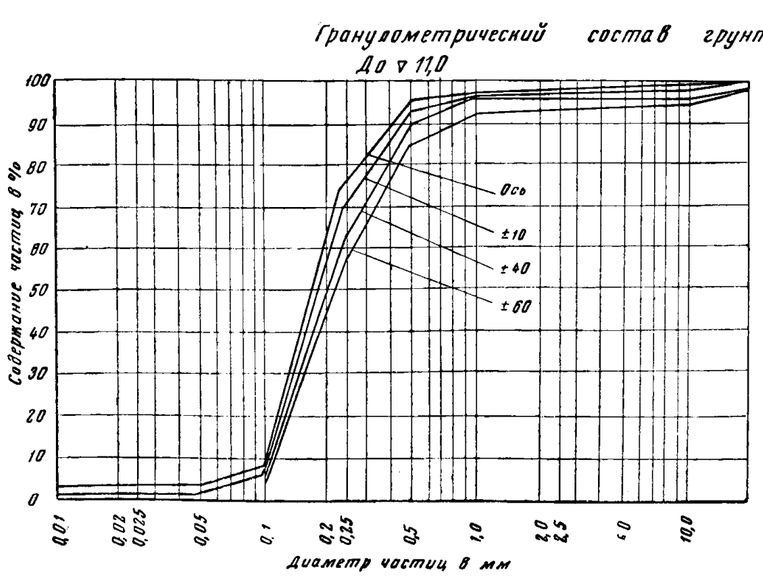
Для намыва плотины использовались кварцевые, хорошо окатанные мелко-и тонкозернистые пески, с переменным содержанием пылеватых фракций; средняя высота забоя 5 — 7 *м*, в том числе подводного 3 — 4 *м*; разработка грунтов производилась земснарядом 300-40; намыв плотины производился по двусторонней схеме, с торцовым выпуском пульпы из двух пульповодов диаметром 400 *мм*, укладываемых на низких опорах; ширина прудка при намыве составляла 20 — 25% от ширины профиля плотины

Зак. 2464









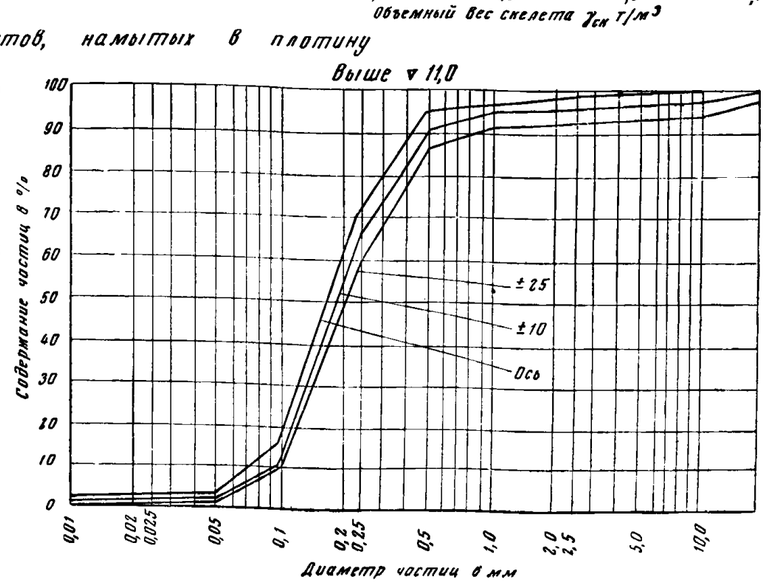
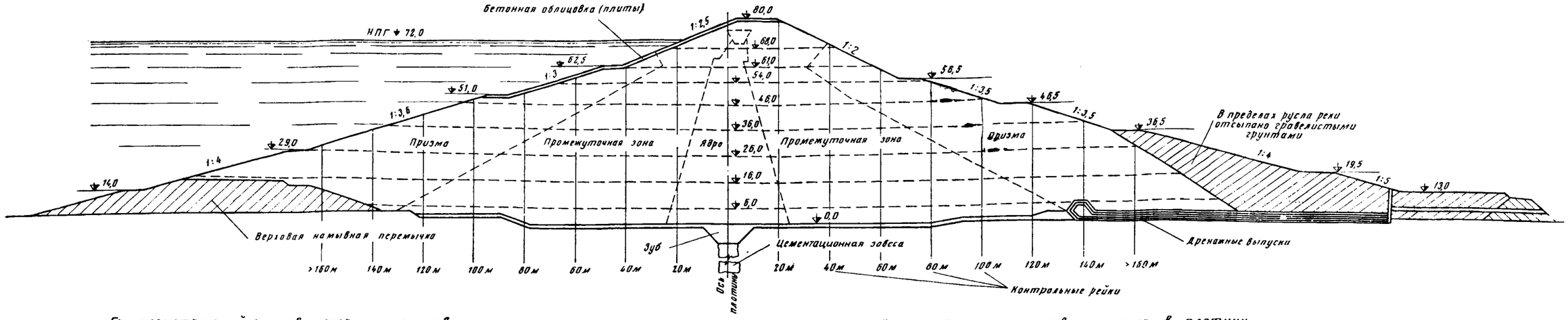


Рис. VIII-12

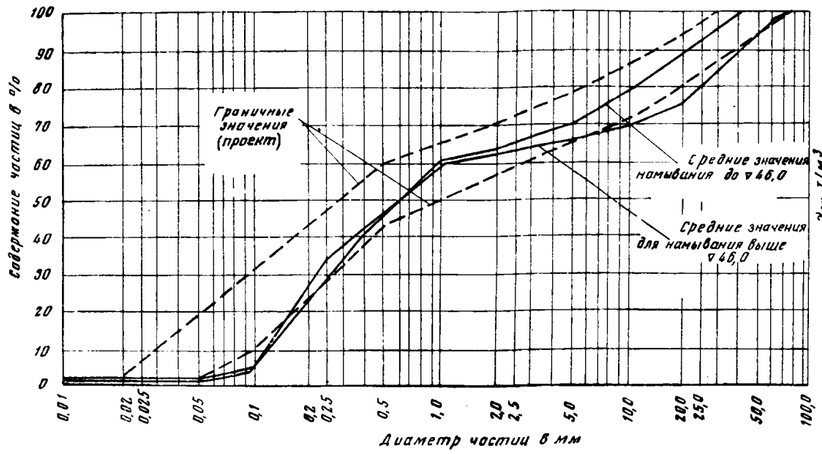
Для намыва плотины использовались тонко - и разнозернистые пески, слабо и неравномерно сцементированные известково-глинистым цементом, переходящие в песчаник разной крепости; пески содержали мелкие линзы и отдельные окатыши глин и алевралитов; толща песков разделялась двумя слоями плотных глинистых пород (глин, алевралитов и алевритов); пески состояли из зерен угловатой формы кварца и полевого шпата (до 35%) и из зерен остроугранной и неправильной формы обломков разных и глинистых пород (около 60%); разработка грунтов производилась гидромониторами, главным образом с предварительным рыхлением их буровзрывным способом; подача грунта на плотину осуществлялась в основном землесосами 8НЗ и 12Р-7 (последним подано 25% объема грунта); намыв плотины выполнялся торцовым безэстакадным способом по двусторонней схеме, с периодическим чередованием намыва верхового и низового откосов.

Зак. 2464

Поперечный профиль

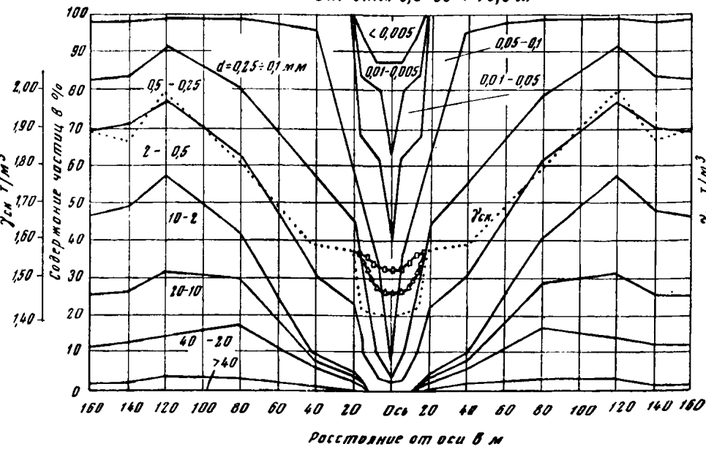


Гранулометрический состав карьерных грунтов, использованных для намыва плотины

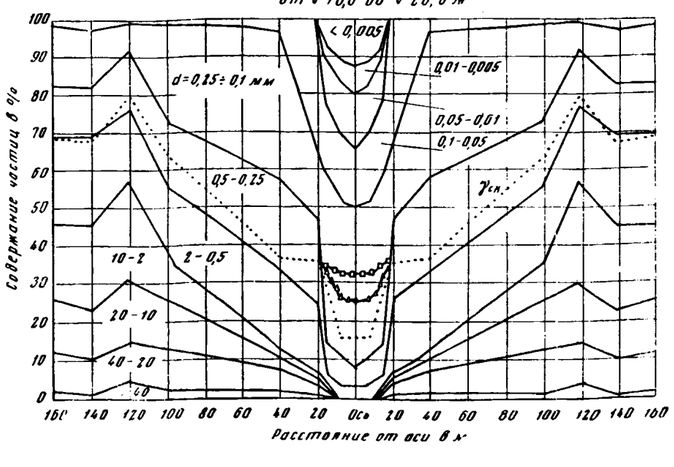


Гранулометрический состав и $\gamma_{сн}$ грунтов, намытых в плотину

От отм 6,0 до ▼16,0 м

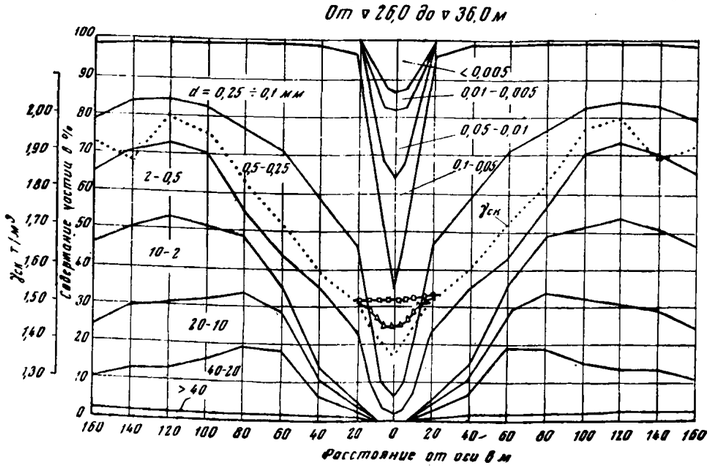


От ▼16,0 до ▼26,0 м

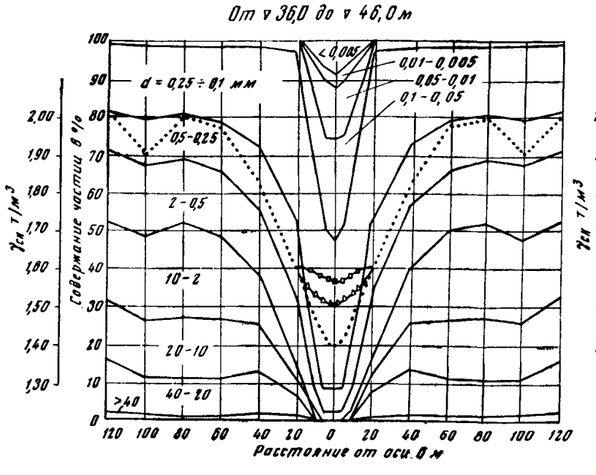


Гранулометрический состав и $\gamma_{сн}$ грунтов, намытых в плотину

От ▼26,0 до ▼36,0 м

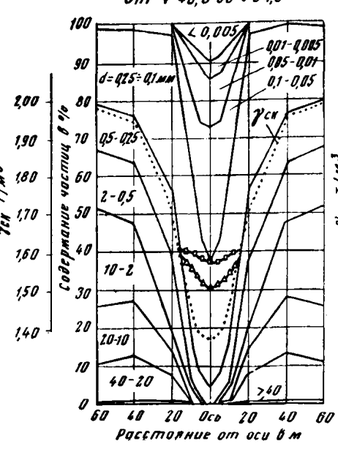


От ▼36,0 до ▼46,0 м

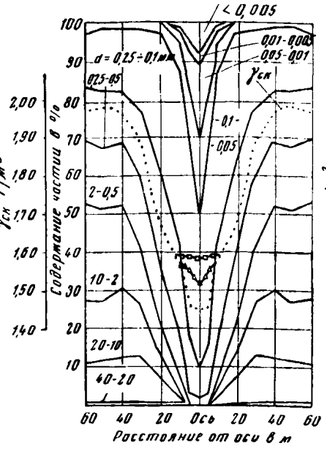


Гранулометрический состав и $\gamma_{сн}$ грунтов, намытых в плотину

От ▼46,0 до ▼54,0



От ▼54,0 до ▼61,0 м



От ▼61,0 до ▼68,0 м

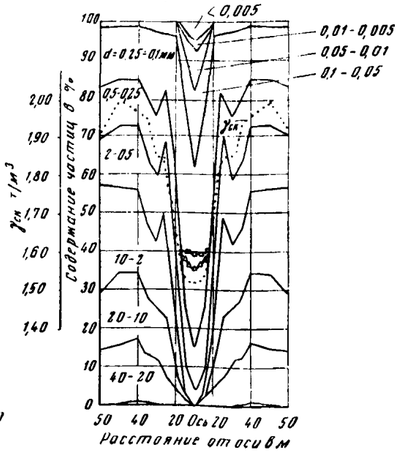
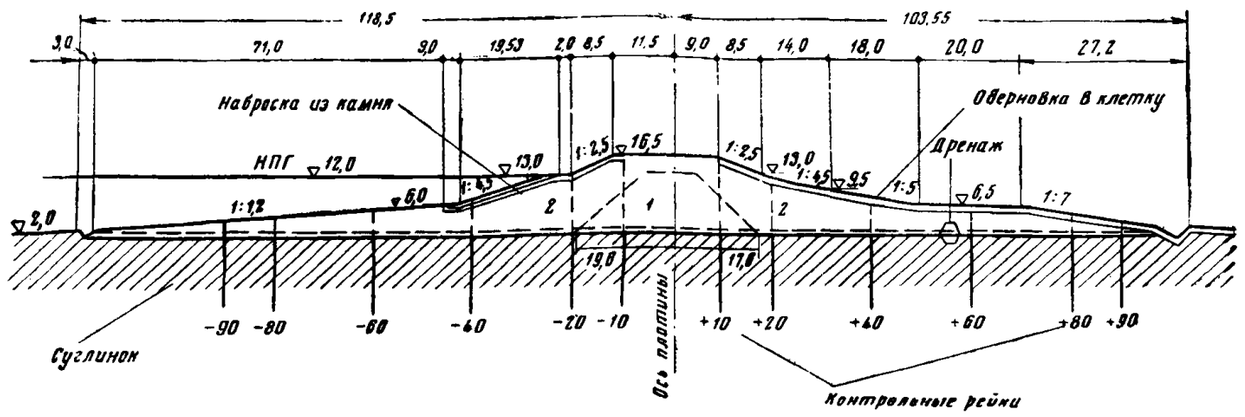


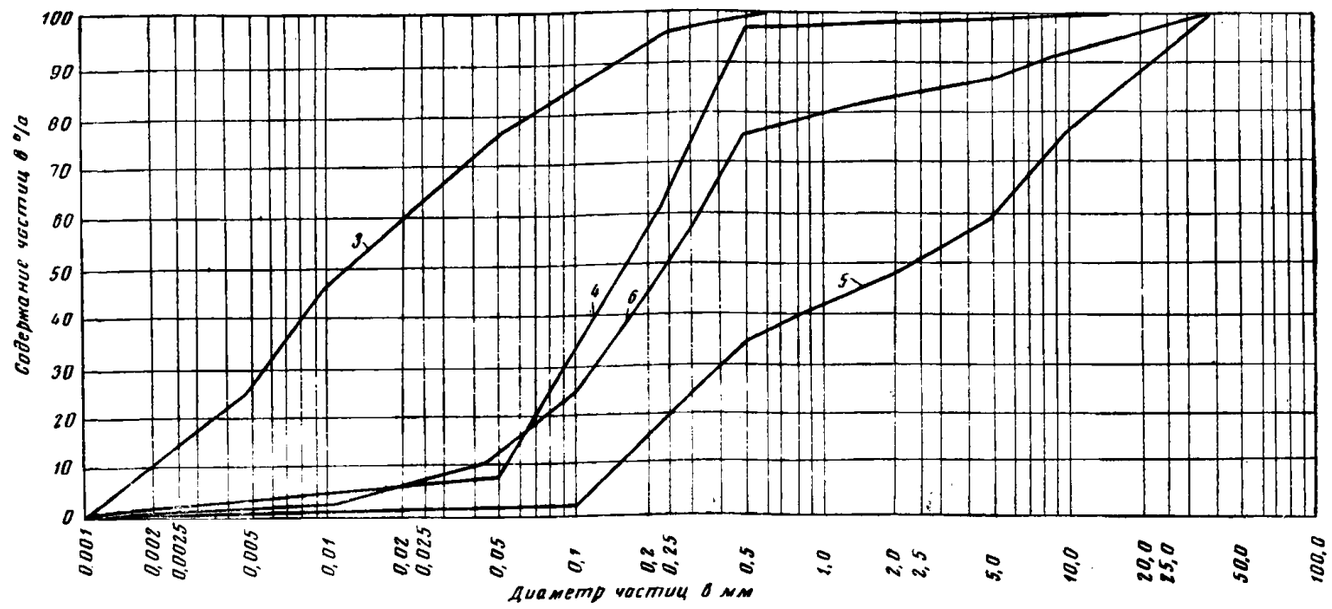
Рис. VIII-13

Для намыва плотины использовалась толща гравелисто-песчаных грунтов с включением беспорядочно размещенных в ней мелких линз глины и ила; регулирование состава грунтов перед их доставкой в полубункер-смеситель производилось в карьере соответствующей расстановкой экскаваторов в забоях; доставляемые в полубункер грунты размывались гидромониторами и землесосами 20Р-11 и подавались на намыв плотины; гравийно-галечниковые фракции грунтов — преимущественно разнообразных крепких пород, хорошо окатанные; песчаные фракции — угловатые зерна полевого шпата (~60%) с малым содержанием кварца (~10%) и значительной примесью (15—20%) неправильной формы зерен слабых пород; намыв плотины выполнялся по двусторонней схеме, беззастакадным способом, с прудком-отстойником; при намыве плотины от отметки 6,0 до 46,0 м прудок имел среднюю ширину от 50 до 30 м, от отметки 46,0 до 61,0—от 40 до 25 м; от отметки 61,0 до 68,0—от 30 до 18 м. Приведенные значения объемных весов скелета $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в ядро, отвечают строительному периоду: для проб грунта, отобранных на глубине 10 м от поверхности ядра (обозначения даны треугольником) и для проб грунта, отобранных на глубине 20 м (обозначения даны квадратом)

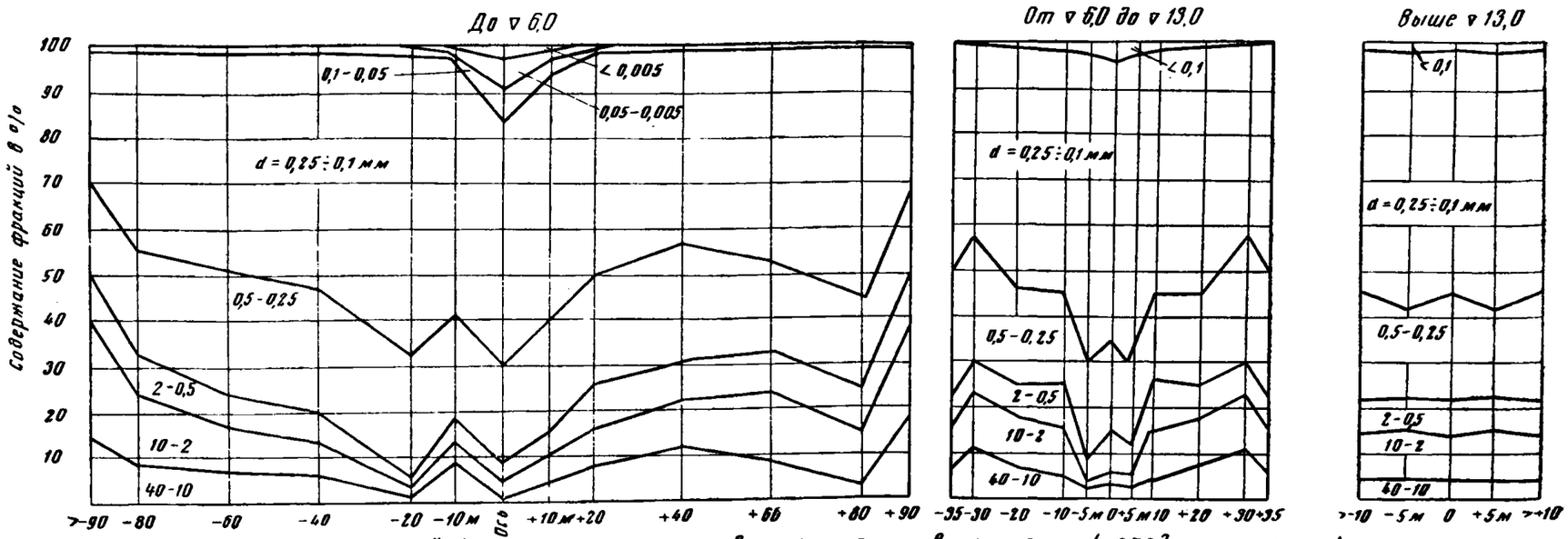
Поперечный профиль



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Распределение грунта по фракциям в теле плотины (средние значения)



Объемный вес скелета грунтов, намытых в плотину (средние значения)

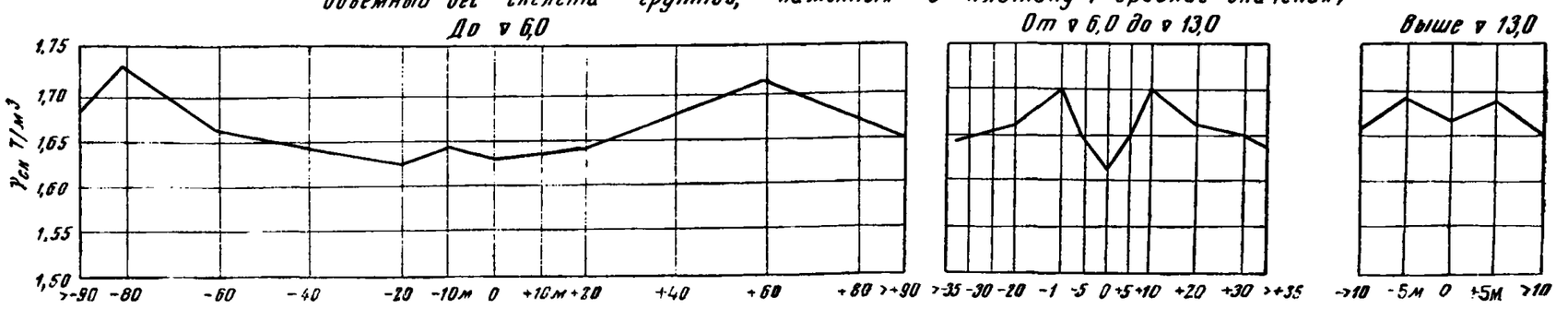
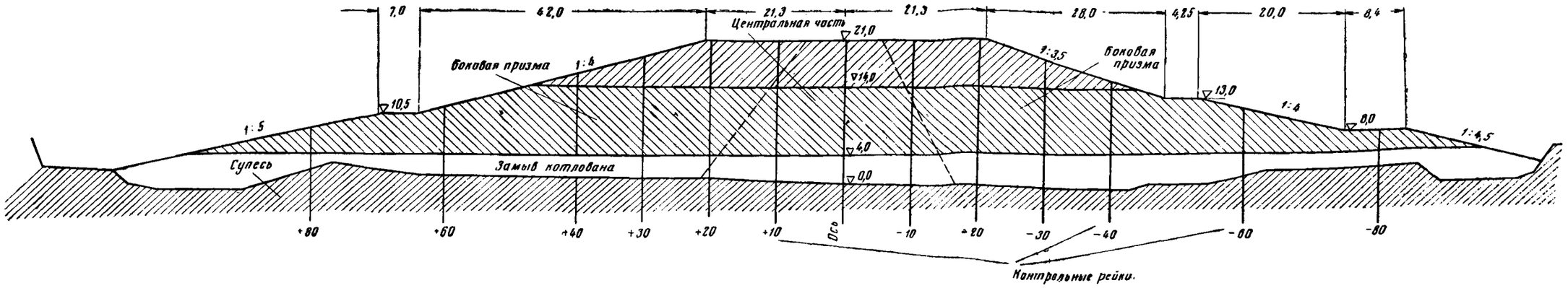


Рис. VIII-14

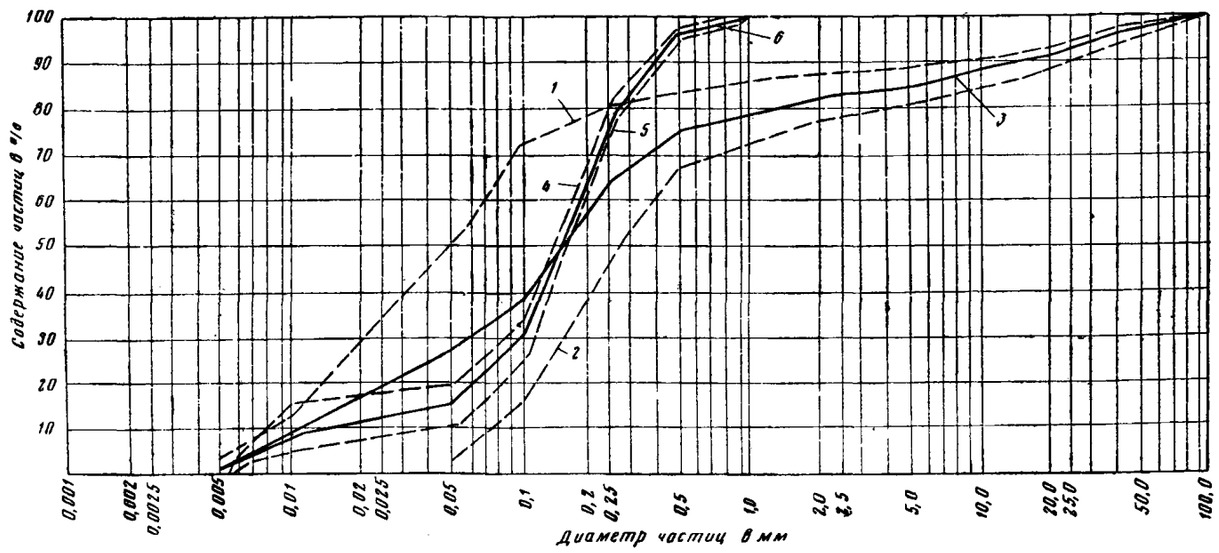
1 — центральная часть; *2* — боковая призма; *3* — гранулированный состав метрового слоя покровных суглинков; *4* — гранулированный состав слоя песка; *5* — гранулированный состав гравийно-песчаного слоя; *6* — осредненное значение гранулированного состава разрабатываемой толщи грунтов

Для намыва плотины использовались весьма разнородные грунты; после вскрыши оставлялся метровый слой покровных суглинков; высота забоя составляла 11 — 12 *м*, в том числе подводного 8,5 — 9,5 *м*; песчаные фракции грунтов представлены в основном кварцем, полевым шпатом, окремнелыми известняками (до 92 — 99%); форма зерен: кварца—средне - и хорошо окатанная, полевого шпата—угловато - и угловато-окатанная, окремнелых известняков—угловато-окатанная; галечнико-гравийные фракции грунтов представлены в основном кварцитом, кремнистыми породами и кварцем (≈85%); форма зерен: гальки — угловато-окатанная, реже округлая, гравия — угловатая, реже угловато-округлая; разработка грунтов производилась земснарядом типа 1000-80; намыв плотины осуществлялся эстакадно-ярусным способом, из выпусков, по двусторонней схеме; высота яруса намыва 4 — 4,5 *м*

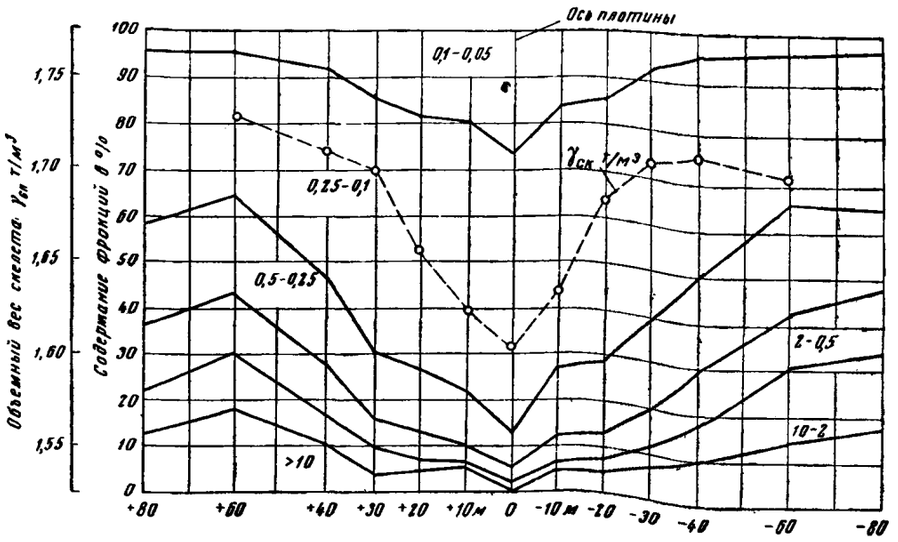
Поперечный разрез



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Распределение грунта по фракциям и объемным весам скелета в плотине От ▽4,0 до 14,0 м



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину выше ▽14,0

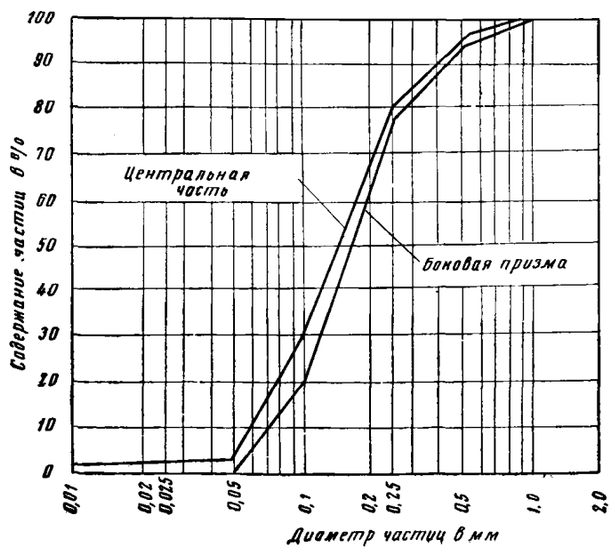


График обеспеченности $\gamma_{ск}$ грунтов, намытых в плотину выше ▽14,0

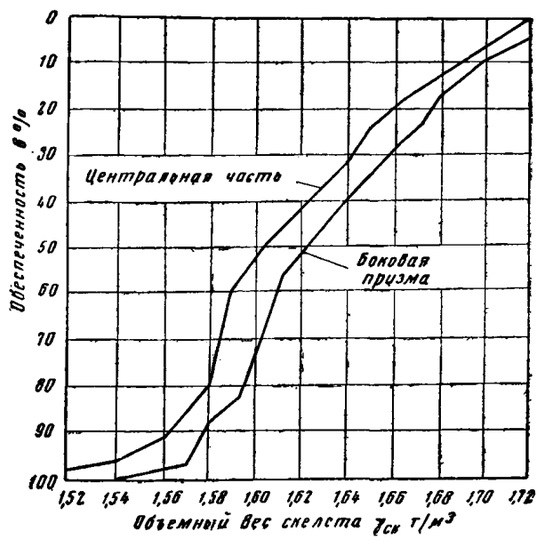
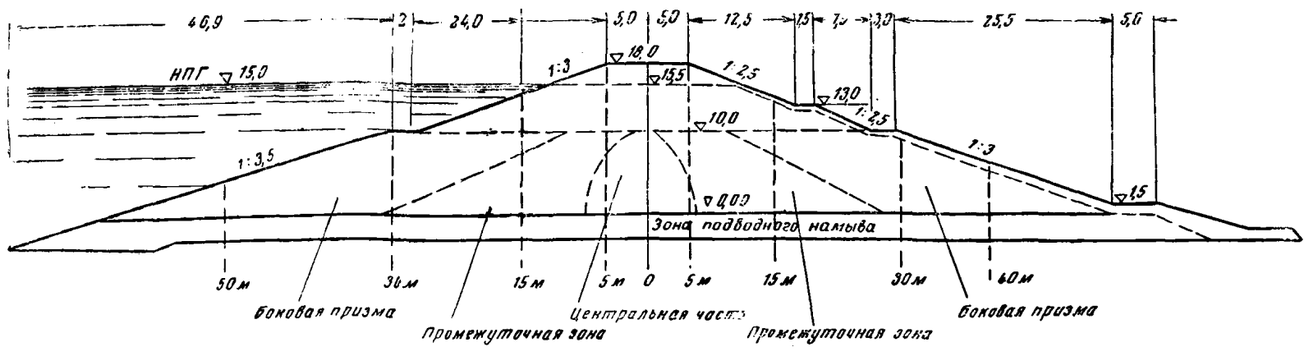


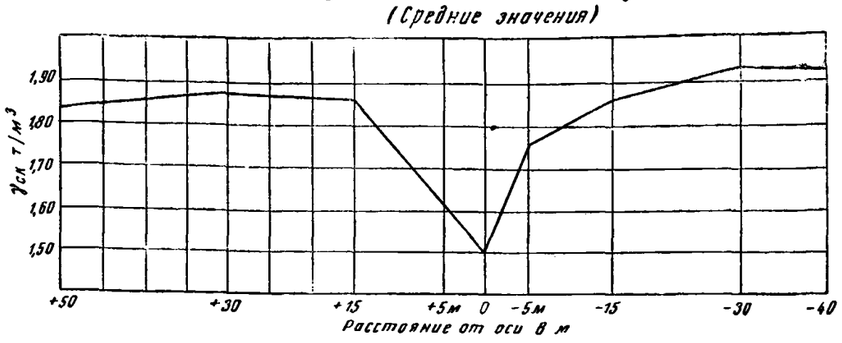
Рис. VIII-15.

Для намыва плотины от отметки 4,0 до 14,0 использовались весьма разнородные грунты (кривые *1*, *2*, *3*); средняя высота забоя 8 *м*, в том числе подводного 6 *м*; разработка грунтов производилась земснарядами 300-40; выше отметки 14,0 использовались выдержанные по составу тонко-и мелкозернистые пески (кривые *4*, *5*, *6*); высота забоя от 5 до 15 *м*; разработка грунтов производилась гидромониторами, с подачей на плотину землесосами 12Р-7; песчаные фракции грунтов — хорошо окатанные зерна кварца и полевого шпата; гравийно-галечниковые фракции грунтов приблизительно на 90% состоят из крепких пород (главным образом кварца, песчаника) и ~10% слабых пород (глинистые сланцы); окатанность гальки — слабая, гравия — средняя; намыв плотины выполнялся по двусторонней схеме: от отметки 4,0 до 14,0 — беззастакадным способом, с поочередным намывом верхового и низового откосов; выше отметки 14,0 — эстакадным способом, из разъединенных торцов, высота эстакад 4 — 6 *м*

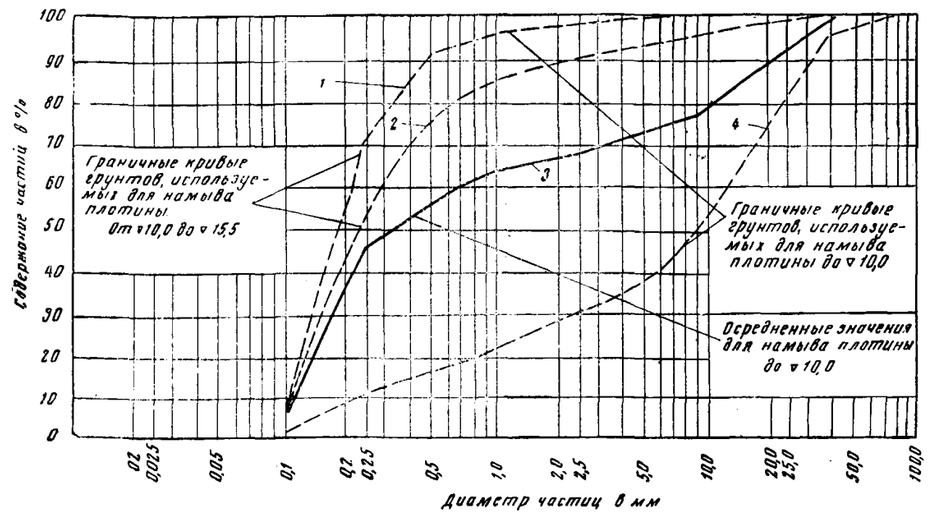
Поперечный профиль



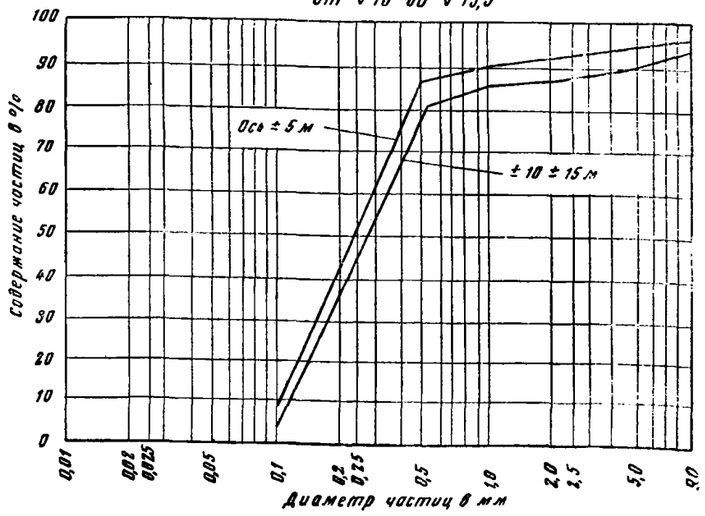
Объемный вес скелета грунтов, намытых в плотину до ▽ 10,0
(Средние значения)



Гранулометрический состав грунтов, использованных для намыва плотины



Гранулометрический состав грунтов, намытых в плотину
От ▽10 до ▽15,5



Распределение грунта по фракциям
в теле плотины до ▽ 10,0
(Средние значения)

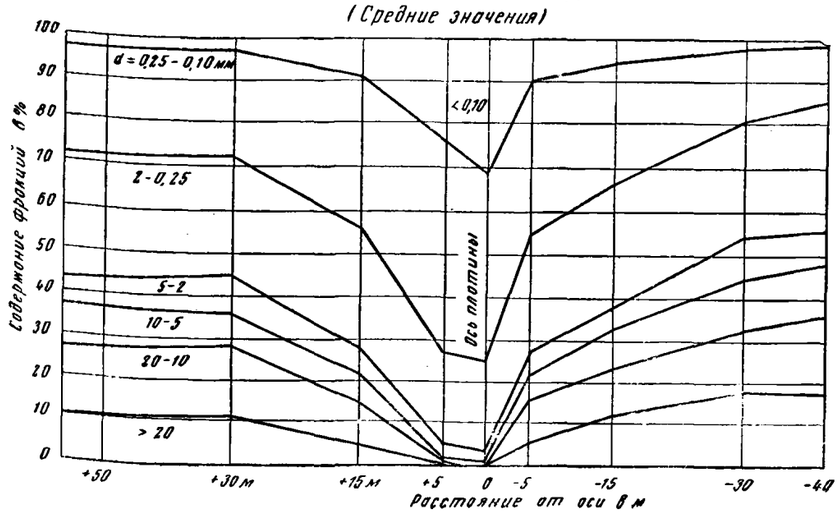


График обеспеченности $\gamma_{сн}$ грунтов, намытых в плотину
От ▽ 10,0 до ▽ 15,5

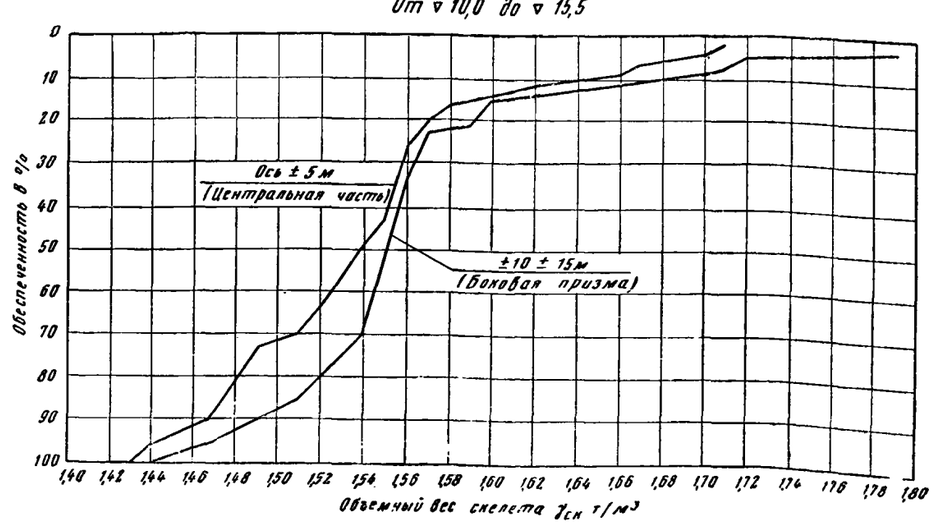


Рис. VIII-16

Надводная часть плотины намывалась грунтами русловых отложений. При намыве плотины: до отметки 10,0 использовались весьма разнородные грунты (кривые *1*, *3*, *4*) с большой пестротой их отложения в карьере в виде гнездовых скоплений гравия и песка; высота забоя от 3,5 до 6 *м* при средних значениях 4 — 4,5 *м*; от отметки 10,0 до 15,5 использовались более выдержанные по составу песчаные отложения (кривые *1*, *2*); высота забоя 3 — 3,5 *м*, песчаные фракции грунтов — в основном полуокатанные зерна кварца с большой примесью карбонатов (~25%), главным образом в виде мелких обломков раковин. Гравийно-галечниковые фракции — преимущественно крупные, с включением песчаников и известняков. Разработка грунтов производилась земснарядами 300-40 и 12Р-7. Намыв надводной части плотины выполнялся по двусторонней схеме, выпуском пульпы из торца или из нескольких разъединенных торцов труб пульповодов диаметром 400 *мм*, уложенных на низких инвентарных опорах; при намыве до отметки 10,0 во избежание перемыва центральной части крупными фракциями прудок поддерживался на 5 — 10 *м* шире границ центральной части

gost.e-ecolog.ru