

В.Г. РАДЧЕНКО, В.А. ЗАИРОВА

КАМЕННО-ЗЕМЛЯНЫЕ И КАМЕННОНАБРОСНЫЕ ПЛОТИНЫ



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
Всесоюзный
научно-исследовательский институт гидротехники
имени Б. Е. Веденеева

В. Г. РАДЧЕНКО, В. А. ЗАИРОВА

КАМЕННО-ЗЕМЛЯНЫЕ И КАМЕННОАБРОСНЫЕ ПЛОТИНЫ

„ЭНЕРГИЯ“
Ленинградское отделение
1971

Альбом каменнонабросных плотин содержит поперечные сечения и описание 150 плотин с различными типами противofильтрационных устройств. Приводятся сведения о геологическом строении оснований плотин, характеристики материалов, из которых были возведены противofильтрационные устройства и упорные призмы плотин, методы производства работ при устройстве отдельных элементов плотин, данные натурных наблюдений по осадкам и горизонтальным смещениям, а также некоторые дополнительные сведения, такие как описание применявшихся машин и механизмов, стоимости работ и пр.

Учитывая широкий размах гидротехнического строительства в СССР альбом может быть полезным пособием для специалистов — инженеров и техников, занятых в области проектирования, строительства и эксплуатации плотин из местных материалов.

В. Г. Радченко, В. А. Заирова

Каменно-земляные и каменнонабросные плотины

Издательство «Энергия», Ленинградское отделение, 1971

Редактор *Е. Н. Боравская*

Технический редактор *Л. П. Никитина*

Сдано в производство 1/III 1971 г. Подписано к печати 8/VI 1971 г. М-23874. Печ. л. 10,375. Усл. печ. л. 14,525.
Уч.-изд. л. 11,1. Бум. л. 5,2. Заказ 96. Тираж 1000. Цена 1 руб. 51 коп.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние три десятилетия в мировой гидротехнической практике получило значительное развитие строительство плотин из местных материалов, особенно каменно-земляных и каменно-набросных. Факторами, обусловившими это, послужили общее развитие техники, появление крупных строительных и большегрузных транспортных машин, достижения в области механики грунтов и смежных наук, а также накопление значительного опыта проектирования, строительства и эксплуатации плотин из местных материалов. Строительство плотин из местных материалов получает развитие и в СССР. В настоящее время строятся Нурекская плотина высотой 300 м, Чарвакская высотой 168 м, Серебрянские плотины и др., проектируется ряд плотин, в том числе Рагунская высотой 370 м.

Экономические и технические достоинства плотин из местных материалов, особенно для отдаленных районов, определяют широкую перспективу их строительства в СССР и большой интерес к ним в инженерных кругах. В этих условиях изучение мирового опыта в данной области является весьма актуальным, поэтому в лаборатории земляных гидросооружений ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева была выполнена работа по обобщению обширных материалов по плотинам этого типа. Сведения о каменно-земляных и каменнонабросных плотинах были получены из книг советских и зарубежных авторов, а также из советской и иностранной периодической литературы, список которой приводится.

В альбоме рассматриваются каменно-земляные плотины с грунтовыми ядрами и экранами и каменнонабросные плотины с экранами и диафрагмами из железобетона, асфальтобетона, металла, полимерных пленок и дерева.

Альбом содержит описание конструкций плотин, сведения о геологическом строении оснований плотин, характеристики ма-

териалов, из которых возводились плотины, сведения о методах производства работ по устройству отдельных частей плотин, данные натурных наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями и некоторые дополнительные сведения о применявшихся строительных машинах и механизмах, стоимости работ и пр. Не все плотины одинаково полно освещены, что определялось объемом сведений, имеющихся в литературе.

Описание плотин выполнено в следующем порядке. В пределах каждого раздела плотины расположены в порядке убывания их высоты. При описании каждой плотины после наименования, общих сведений и схемы поперечного сечения с подрисуночной подписью следует изложение дополнительных сведений по пунктам: противофильтрационное устройство, переходные зоны, боковые призмы, контрольно-измерительная аппаратура и данные натурных наблюдений, данные о машинах и механизмах и стоимости работ. Если по плотине имеются данные о гранулометрическом составе применявшихся грунтов, то на это указывает буква (Г) в подрисуночных подписях. Кривые гранулометрического состава приводятся в приложении под номером, соответствующим номеру плотины.

Альбом составлен в лаборатории земляных гидросооружений ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева заведующим группой В. Г. Радченко и старшим инженером В. А. Зауровой под общим руководством заведующего лабораторией М. П. Павчича и заведующего отделом оснований и земляных сооружений докт. техн. наук, проф. П. Д. Евдокимова. При просмотре рукописи ценные замечания были сделаны консультантом ВНИИГ А. М. Масленниковым, за что авторы приносят ему искреннюю благодарность. Равным образом, авторы приносят благодарность инженеру Е. М. Ивановой оказавшей большую техническую помощь при подготовке рукописи к печати.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

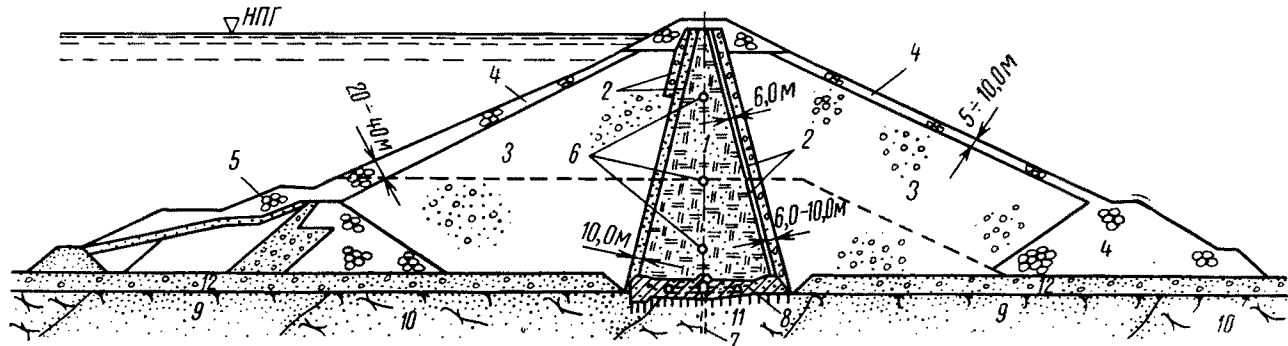
- H —высота плотны, $м$;
 L —длина плотны по гребню, $м$;
 b —ширина плотны по гребню, $м$;
 B —ширина плотны по основанию в максимальном сечении, $м$;
 m —коэффициент откоса;
 $\gamma_{ск}$ —объемный вес скелета грунта, $т/м^3$;
 $\gamma_{уд}$ —удельный вес, $т/м^3$;
 φ —угол внутреннего трения грунта, градусы;
 c —сцепление грунта, $кг/см^2$;
 c_v —коэффициент консолидации, $см^2/сек$;
 n —пористость грунта, %;
 ϵ —коэффициент пористости;
 σ —нормальное напряжение, $кг/см^2$;
 τ —касательное напряжение, $кг/см^2$;
 w —влажность грунта, %;
 $w_{опт}$ —оптимальная влажность грунта, %;
 W_p —влажность на пределе раскатывания;
 W_t —влажность на пределе текучести;
 $W_{пл}$ —число пластичности;
 k_f —коэффициент фильтрации, $см/сек$;
ВБ—верхний бьеф;
НБ—нижний бьеф;

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

КАМЕННО-ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ С ГРУНТОВЫМИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

ПЛОТИНЫ С ЯДРАМИ

1. НУРЕКСКАЯ ПЛОТИНА СССР р. Вахш, (строится) $H=300$ м



1—ядро из сафедобской супеси (Γ); 2—фильтры ($d=0-5$ мм; $d=0-50$ мм) (Γ); 3—упорные призмы из галечника (Γ); 4—пригрузка откосов и упорный банкет из рваного камня; 5—верховая строительная перемычка; 6—смотровые галереи; 7—противофильтрационная завеса; 8—бетонная пробка; 9—песчанники; 10—песчанники и алевролиты; 11—алевролиты; 12—аллювий

1. Ядро из сафедобской супеси укладывается слоями 0,3—0,6 м с уплотнением виброкатком ПВК-70 за шесть—восемь проходов. Расчетные характеристики: $\gamma_{ск} = 2,10-2,15$ т/м³; φ изменяется от 25—26° до 38° в зависимости от содержания в смеси мелкозема ($d < 5$ мм); c колеблется от 0,12 до 1,2 кГ/см² в зависимости от влажности смеси; $\omega_{опт} = 7,5-10\%$; $k_{ф} = 1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-8}$ см/сек. Объем ядра 7,85 млн. м³.

2. Переходные зоны из гравелистых грунтов (отсев, дробленые) укладываются слоями 0,5—0,6 м с уплотнением виброкатком ПВК-25 за шесть проходов; расчетные характеристики: а) первый слой фильтра (0—5 мм); $\gamma_{ск} = 1,85$ т/м³; $n = 0,315$; $k_{ф} = 40-50$ м/сут; б) второй слой фильтра со стороны ВВ (0—50 мм); $\gamma_{ск} = 2,2$ т/м³; $n = 0,147$; $k_{ф} = 10-15$ м/сут; в) второй слой фильтра со стороны НБ: $\gamma_{ск} = 2,0$ т/м³; $n = 0,26$;

$k_{\phi}=40-50 \text{ м/сут}$. Угол внутреннего трения материала переходных зон $\varphi=32-33^{\circ}$. Объем переходных зон 3,34 млн. м^3 .

3. Упорные призмы из рядового галечникового материала укладываются слоями 1,0—1,2 м с увлажненным (расход воды 0,17 м^3 на 1 м^3 галечника) и уплотняются виброкатком ПВК-70 за шесть проходов; $\gamma_{\text{ск}}=2,2 \text{ т/м}^3$; $n=0,147$; $k_{\phi}=5-10 \text{ м/сут}$. Пригрузка откосов производится камнем ярусами по 10 м с уплотнением струей воды из гидромонитора; $\gamma_{\text{ск}}=1,8 \text{ т/м}^3$; $n=0,308$; $k_{\phi}=(10-40) \cdot 10^3 \text{ м/сут}$. Объем упорных призм 46,67 млн. м^3 (в том числе пригрузка 12,56 млн. м^3).

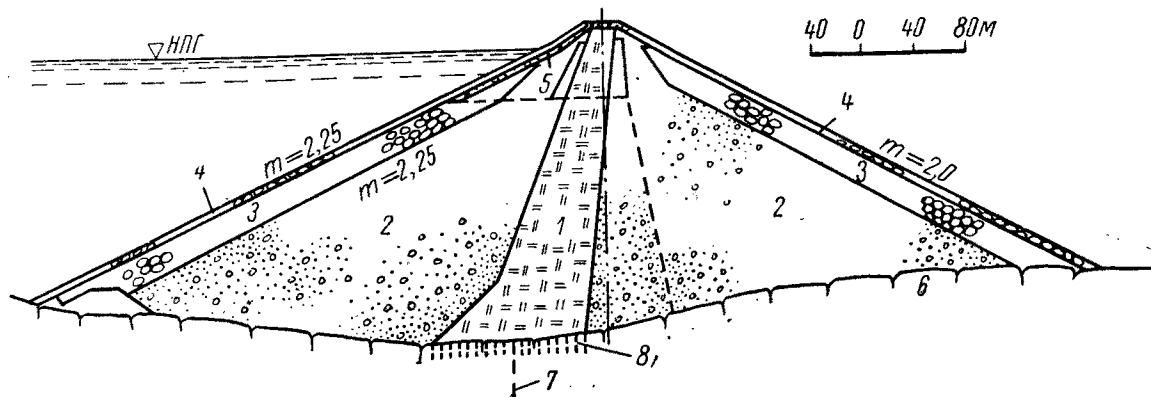
4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры (58 шт.), пьезодинамометры (80 шт.), грунтовые динамометры

(60 шт.), термометры (39 шт.), инклинометры (17 шт.), дистанционные щелемеры (30 шт.), гидравлические марки (24 шт.), деформометры горизонтальные (46 шт.), деформометры вертикальные (3 шт.), динамометры в галечнике (6 шт.), опорные створные знаки (36 шт.), контрольные створные знаки (66 шт.).

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 0,5 до 4 м^3 ; автосамосвалы грузоподъемностью 4, 7, 10, 25, 27 т; бульдозеры на базе тракторов мощностью 100 и 140 л. с.; катки на пневмошинах 25 т; виброкатки ПВК-25, ПВК-70. Общий объем тела плотины 58,4 млн. м^3 (в том числе верхняя строительная перемычка 1,56 млн. м^3).

2. ПЛОТИНА МАЙКА.

Канада, р. Колумбия (строится) $H=240 \text{ м}$; $b=12 \text{ м}$; $L=823 \text{ м}$; $V=914 \text{ м}$



1—ядро из морены (30—40% $\leq 0,07 \text{ мм}$); 2—упорные призмы из песчано-гравийного материала; 3—пригрузка из гравия или камня; 4—крепление булыжником или крупным камнем; 5—зона уплотненного гравия, гальки и булыжника; 6—трещиноватые гранито-гнейсы с прослойками глинистых сланцев; 7—противофильтрационная завеса глубиной до 90 м; 8—площадная цементация

1. Ядро укладывается слоями 0,3 м с уплотнением вибротактом. Высокая влажность морены сильно осложняет укладку в сыром климате. Объем ядра 3,0 млн. м³.

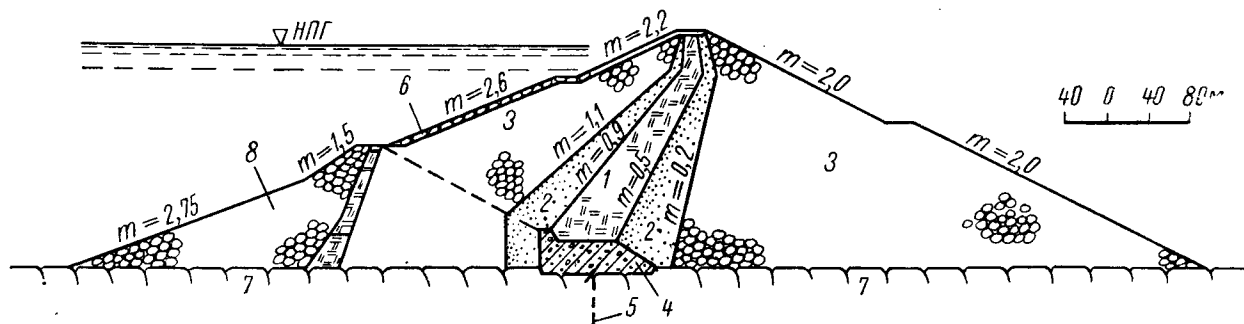
2. Фильтры из песчано-гравийного материала (с отсевом) невелики по объему. С верхней стороны ядра фильтр расположен только в зоне переменного горизонта. С нижней стороны объем фильтра также ограничен.

3. Упорные призмы из естественного песчано-гравийного материала укладываются слоями 0,35 м с уплотнением 10-тонным вибротактом за четыре прохода. Объем упорных призм и фильтров 25,5 млн. м³.

5. Погрузка песчано-гравийных материалов в карьере в основном производится погрузчиками на пневмоходу с ковшом емкостью 11,4 м³. Перевозка в плотину осуществляется автотележками грузоподъемностью 120 т с разгрузкой вниз. При расчистке основания под плотину использовались автосамосвалы грузоподъемностью 75 т. Для установления величины плотности отдельных зон плотины проводились полевые исследования. Среднемесячная интенсивность укладки материалов 130 тыс. м³. Общий объем плотины 28,5 млн. м³. Стоимость гидроузла 136 млн. долларов.

3. ПЛОТИНА ОРОВИЛЛ

США, р. Фезер, 1967 г. $H=224$ м; $b=24$ м; $L=2050$ м; $V=1085$ м.



1—ядро из смеси глины, пылеватых частиц, гравия и гальки ($d_{\text{макс}}$ до 7 см) (Г); 2—переходная зона из отсортированной смеси пылеватых частиц, песка, гравия, гальки и булыжника ($d_{\text{макс}}$ до 37 см); 3—упорные призмы из смеси песка, гравия, гальки и булыжника ($d_{\text{макс}}$ до 60 см) (Г); 4—бетонный массив; 5—противофильтрационная завеса; 6—крепление из камня; 7—метаморфизованная мелкозернистая кристаллическая скальная порода; 8—перемычка

1. Ядро укладывается слоями 0,24 м с уплотнением 100-тонным катком на пневмошинах за восемь проходов; $\gamma_{\text{ск}}=2,28$ т/м³; $\varphi=14^\circ$; $c=0,3$ кг/см². Отступление от $\psi_{\text{опт}}$ при укладке допускается $\pm (0,5 \div 1,0)\%$. Полевые определения плотности мате-

риала ядра проводятся методом шурфа с изменением объема шурфа песком. Объем пробы составляет около 0,035 м³, вес пробы изменяется от 77 до 91 кг. Объем ядра 6,4 млн. м³.

2. Переходные зоны укладываются слоями 0,36 м с уплотнением 3,6-тонным вибротатком за два прохода; $\gamma_{ск}=2,48 \text{ т/м}^3$; $\varphi=39^\circ$. Определение плотности материала переходных зон проводится методом шурфа с измерением объема водой при помощи полимерной пленки. Объем пробы составляет 0,29—0,34 м³, вес пробы изменяется от 680 до 820 кг. Объем переходных зон 6,9 млн. м³.

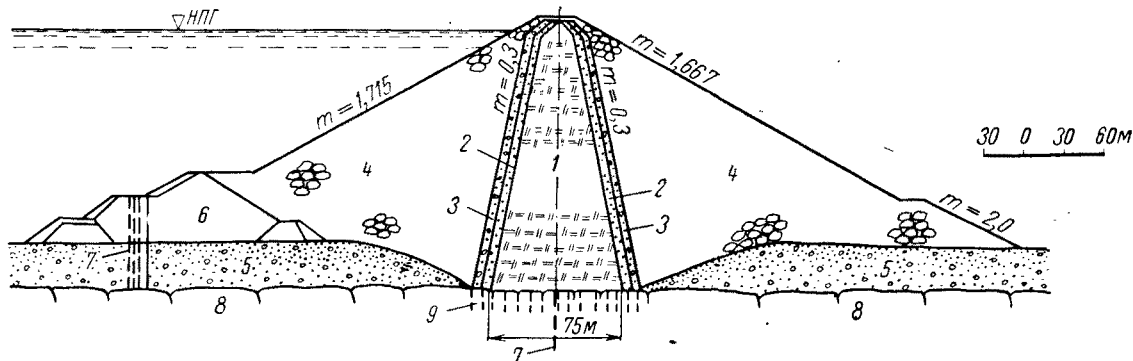
3. Упорные призмы укладываются слоями 0,6 м с уплотнением 3,6-тонным вибротатком за два прохода; $\gamma_{ск}=2,28 \text{ т/м}^3$; $\varphi=38^\circ$. Определение плотности материала упорных призм проводится аналогично тому, как это делается в переходных зонах. Объем упорных призм 45 млн. м³.

4. Установлена контрольно-измерительная аппаратура для замеров пьезометрических напоров, порового давления, давления грунта, а также осадок и смещений тела плотины.

5. Коэффициент запаса K_3 плотины на устойчивость по методу круглоцилиндрических и плоских поверхностей сдвига для основных сочетаний нагрузок превышает 1,5. С учетом сейсмички минимальное значение K_3 равно 1,17. Карьеры для ядра разрабатываются скреперами емкостью 38 м³, карьеры переходной зоны—ротормыми экскаваторами (производительность 3000 м³/ч) и драглайнами с ковшом емкостью 8,5 м³. Доставка материалов на место укладки осуществляется транспортерами, ж. д. транспортом и автотележками грузоподъемностью 100 т. Среднесуточная производительность по насыпям 38 тыс. м³. Общий объем плотины 61 млн. м³. Стоимость плотины 130 млн. долларов. Стоимость укладки 1 м³ материала упорных призм 1,28 доллара.

4. ПЛОТИНА КЕБАН

Турция, р. Евфрат, (строится) $H=203 \text{ м}$, $b=8 \text{ м}$, $L=670 \text{ м}$



1—ядро из глины; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—наброска из горной массы; 5—аллювий; 6—верховая перемычка; 7—противофильтрационная завеса; 8—метаморфизованный известняк; 9—площадная цементация

1. Ядро из тонких глин укладывается слоями 0,2 м с уплотнением кулачковым катком при оптимальной влажности. Зона ядра на контакте с основанием укладывается при влажности на 2% больше оптимальной. Объем ядра 1,52 млн. м³.

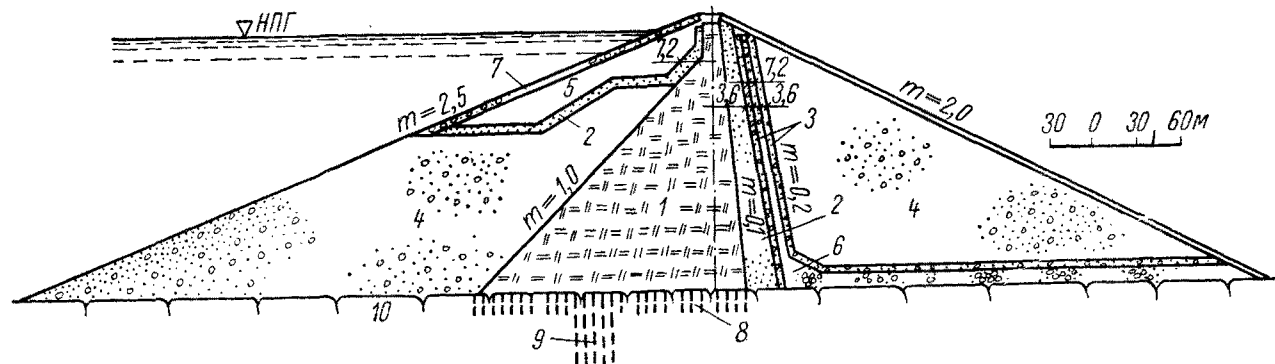
2. Фильтры из аллювиальных отложений укладываются слоями 0,3 м с уплотнением 10-тонным виброкатком за четыре прохода.

3. Упорные призмы из горной массы укладываются слоями 0,6—1,0 м с уплотнением 10-тонным виброкатком за четыре прохода. Объем упорных призм 11,4 млн. м³.

5. Основание плотины состоит из метаморфизованных известняков или мраморов, сильно трещиноватых. Под плотиной будет выполняться противофильтрационная завеса глубиной 350 м, для чего потребуются пробурить ориентировочно 330 тыс. пог. м скважин и injectировать около 70 тыс. т материалов. В берегах цементация будет вестись из штолен, высотой 3 м, расположенных друг над другом через 40 м по высоте. На правом берегу пять штолен, на левом—восемь. В основании ядра и фильтров производится площадная цементация на глубину 10,5 м.

5. ПЛОТИНА БЕННЕТТ

Канада, р. Пис-Ривер, 1967. $H=183$ м; $b=15$ м; $L=2400$ м; $B=800$ м



1—ядро из песчано-илистого грунта; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—сушесная морена с камнем до 36 см; 5—гравийно-песчаная смесь; 6—крупный гравий; 7—крепление камнем; 8—площадная цементация; 9—противофильтрационная завеса; 10—тонкозернистые сляксы и песчаники

1. Ядро из искусственно приготовленной смеси: 89% песчаных фракций, отсортированных из морены, с крупностью частиц до 1 см и 11% илистого материала. Укатка производилась с помощью 20-тонного катка на пневмошинах; $\gamma_{ск} = 2,05$ т/м³; $k_{ф} = 10^{-6}$ см/сек. Объем ядра 9,7 млн. м³.

2. Первый слой фильтра (10% гравия, 90% песка), второй слой фильтра (75% гравия, 25% песка) и дренаж (95% гравия, 5% песка) укатывались 6,5-тонным виброкатком. Характеристики грунтов: фильтров— $\gamma_{ск} = 2,11$ — $2,17$ т/м³; $k_{ф} = 10^{-3}$ см/сек; дре-

нажа— $\gamma_{ск}=1,83 \text{ т/м}^3$; $k_{ф}=10 \text{ см/сек}$. Объем фильтров и дренажа 7,9 млн. м^3 .

3. Упорные призмы (88% гравия, 12% песка) и зона пригрузки (83% карьерного необогащенного материала, 17% гравия) укатывались 6,5-тонным виброкатком. Плотность грунта упорных призм $\gamma_{ск}=2,14 \text{ т/м}^3$; объем—27,5 млн. м^3 .

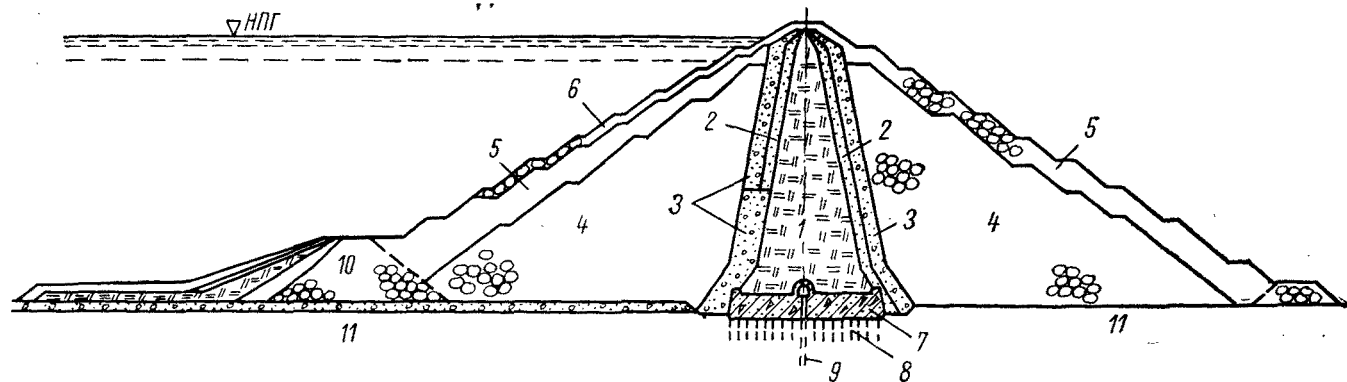
4. Установлена контрольно-измерительная аппаратура для измерения пьезометрических напоров, порового давления, давления грунта, а также осадок и смещений тела плотины.

5. На строительстве применена ковейерная система перемещения грунта из карьера к обогатительной установке, где

большая половина всего объема грунта сортируется, смешивается и затем поступает на плотину. Остальная часть грунта поступает в плотину без обогащения (в основном это пригрузочные зоны). Основной транспортер (длина 5 км, ширина ленты 165 см, стоимость 2 млн. долларов) имеет производительность 5500 $\text{м}^3/\text{ч}$. Перевозка грунта от смесительной установки на место укладки осуществляется 100-тонными автотележками. Из-за климатических условий работы по строительству плотины ведутся с апреля по октябрь. Общий объем тела плотины 45 млн. м^3 .

6. ЧАРВАНСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Чирчин (строится). $H=168 \text{ м}$



1—ядро из суглинка (Г); 2—первый слой фильтра из песчано-гравийной смеси (0–20 мм) (Г); 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси (0–150 мм) (Г); 4—каменная наброска из горной массы (известняк) слои 1–1,5 м (Г); 5—каменная наброска слои 4–6 м; 6—крепление крупным камнем; 7—бетонная пробка; 8—площадная цементация; 9—противофильтрационная завеса; 10—верховая перемычка; 11—известняк трещиноватый.

1. Ядро из пылеватых суглинков. За основной метод укладки принята послойная укатка слоями 0,30–0,50 м с уплотнением 35-тонным катком на пневмошинах за восемь проходов; $\gamma_{ск,ср} =$

$=1,70 \text{ т/м}^3$; $\varphi=20^\circ$; $c=0,2 \text{ кг/см}^2$; $k_{ф}=10^{-6} \text{ см/сек}$. Влажность суглинка при укладке изменяется в пределах 17–20%. Объем ядра 3,566 млн. м^3 .

2. Первый слой фильтра укладывается слоями 0,5 м с уплотнением 35-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов; $\gamma_{ск.р} = 1,8 \text{ т/м}^3$; $\varphi = 30^\circ$. Второй слой фильтра укладывается слоями 0,5—1,0 м с уплотнением 35-тонным катком на пневмошинах за шесть—восемь проходов. $\gamma_{ск.р} = 2,1 \text{ т/м}^3$; $\varphi = 30^\circ$. Объем переходной зоны 1,96 млн. м^3 .

3. Упорные призмы из горной массы укладываются, в основном, слоями 1,5 м с увлажнением в кузове автосамосвала (расход воды 150 л на 1 м^3 наброски) и уплотнением 35-тонным катком на пневмошинах или груженым автосамосвалом грузоподъемно-

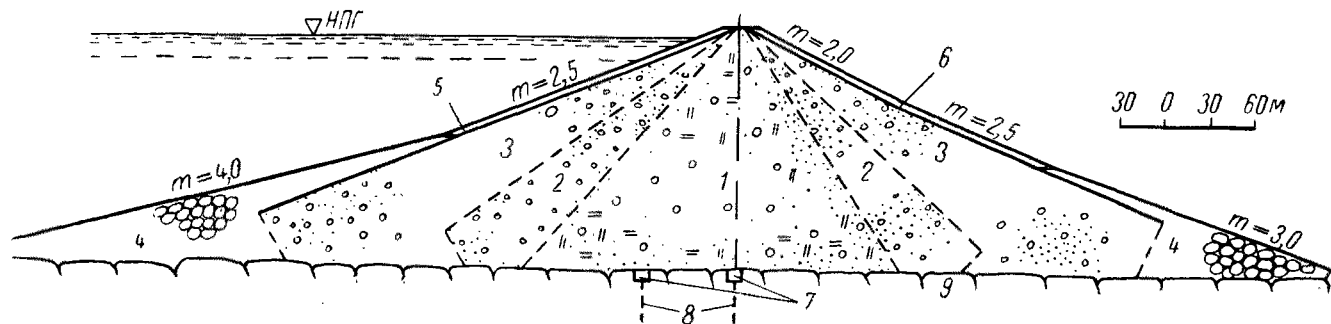
стью 25—27 т за шесть—восемь проходов; $\gamma_{ск.р} = 1,95 \text{ т/м}^3$; $\varphi = 38^\circ$. Объем упорных призм 13,37 млн. м^3 .

4. Устанавливается следующая контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, грунтовые динамометры, пьезодинамометры, инклинометры, деформометры, динамометры для каменной наброски, поверхностные реперы.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшом емкостью от 0,5 до 4 м^3 ; автосамосвалы грузоподъемностью 5; 7; 10; 25; 27 т; бульдозеры на базе тракторов мощностью 100 и 140 л. с.; катки на пневмошинах 35 т.

7. ПЛОТИНА ТРИНИТИ

США, р. Тринити, 1957—1961 гг. $H = 164 \text{ м}$; $b = 12 \text{ м}$; $L = 745 \text{ м}$; $V = 790 \text{ м}^3$



1—ядро из элювиальных отложений (глина, пыль, песок, гравий); 2—переходная зона (пыль, песок, гравий, булыжник); 3—гравий, булыжник, валуны; 4—каменная наброска; 5—крепление из каменной наброски слоями 1 м; 6—крепление из каменной наброски слоями 0,6 м; 7—два бетонных зуба; 8—противофильтрационная завеса; 9—прочная скала (мета-андезиты)

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением кулачковым катком за 12 проходов; $\gamma_{ск.р} = 1,76 \text{ т/м}^3$; $\omega_{опт} = 16,5\%$. Объем ядра 7,15 млн. м^3 .

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,30 м с уплотнением кулачковым катком за 12 проходов; $\gamma_{ск.р} = 1,81 \text{ т/м}^3$. Объем переходных зон 2,88 млн. м^3 .

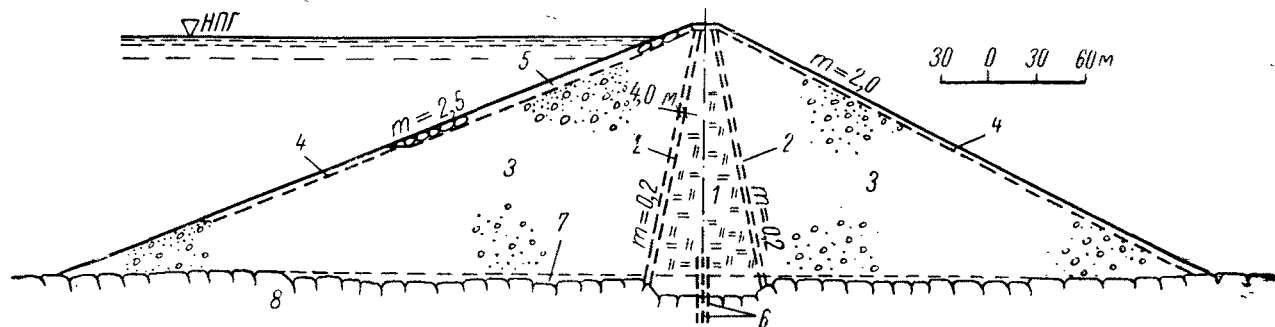
3. Зона 3 упорных призм укладывалась слоями 0,30—0,45 м; зона 4—слоями 0,6 и 1,0 м. Уплотнение в обоих случаях осуществлялась гусеничным трактором. Объем упорных призм 12,1 млн. м³.

5. Основание под плотиной расчищалось. На контакте с ядром расчистка производилась до прочной скалы (мета-андезиты).

Всего при расчистке было вынуто около 2,5 млн. м³ грунта (песок, гравий, выветрелая скала). Материал из расчисток частично укладывался в переходные зоны плотины. Стоимость плотины 48,93 млн. долларов.

8. ПЛОТИНА КРЕМАСТА

Греция, р. Ахелус, 1966 г. $H=163$ м; $b=10$ м; $L=456$ м; $B=670$ м



1—ядро из глинистого ила; 2—переходная зона из гравия с примесью мелкозема; 3—упорные призм из гравийно-песчаной смеси ($d_{\text{макс}}=200$ мм, 30% менее 4,5 мм); 4—крепление крупным камнем размером более 1 м; 5—каменная наброска из горной массы; 6—противофильтрационная завеса глубиной до 20 м; 7—аллювий; 8—скала (алевролиты, песчаники и конгломераты)

1. Ядро из глинистого ила с включением частиц камня ($d_{\text{макс}}=10$ см). Уплотнение проводилось кулачковым катком; $\gamma_{\text{ск}}=1,77\text{--}1,87$ т/м³; $k_{\text{ф}}=10^{-8}\text{--}10^{-9}$ см/сек. Влажность при укладке превышала оптимальную величину не более чем на 1,0—1,5% ($w_{\text{опт}}=15\text{--}16\%$).

2. Переходные зоны из смеси материала ядра и гравия уплотнялись катком на пневмошинах.

3. Упорные призм из речных гравелистых отложений (0,074 мм—1%; 4,5 мм—30%, основная масса гравия размером меньше 200 мм). Уплотнение производилось 50-тонным катком на пневмошинах; $\gamma_{\text{ск}}=2,2\text{--}2,4$ т/м³. Увлажнение при укладке составляло 150 л на 1 м³ грунта.

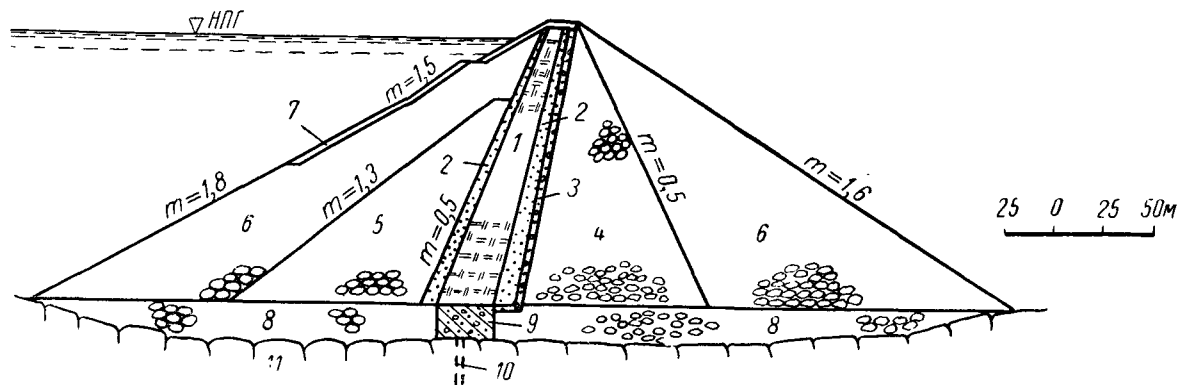
5. В основании плотины залегают аллювиальные отложения сланцы, песчаники и конгломераты различной прочности. Добыча

гравийного материала производилась конвейерными погрузчиками производительностью до 600 м³/ч. Максимальная суточная производительность при отсыпке упорных призм достигала 40 тыс. м³. Для перевозки грунта использовались автосамосвалы

грузоподъемностью 32 т. Плотина была возведена за 12 рабочих месяцев (без учета подготовительных работ). Общий объем тела плотины 7,8 млн. м³.

9. ПЛОТИНА КУГАР

США, р. Маккензи, 1959—1963 гг. $H=158$ м; $b=12$ м; $L=488$ м



1—ядро из глинистых грунтов с отсевом фракций $d>15$ см (Г); 2—первый слой фильтра из несортированного песчано-гравелистого грунта (Г); 3—второй слой фильтра из щебня (Г); 4—наброска из прочного камня ($d_{\text{макс}}=4,6$ см) (Г); 5—камень, содержащий до 25% выветрелого; 6—наброска из прочного камня ($d_{\text{макс}}=61$ см); 7—крепление крупным камнем; 8—обратная засыпка старого русла прочным базальтом; 9—бетонная пробка; 10—противофильтрационная завеса; 11—базальты и туфы, выветрелые и трещиноватые

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода; $\gamma_{\text{ск.ср}}=1,89$ т/м³; $k_{\text{ф}}=1 \cdot 10^{-7}$ см/сек. Камни больше 15 см убирались. Объем ядра 0,623 млн. м³.

2. Первый слой фильтра (зона 2) из террасных отложений укладывался слоями 0,3 м и уплотнялся 50-тонным катком на

пневмошинах за четыре прохода; $\gamma_{\text{ск}}=1,9$ т/м³. Зона 3 ($d_{\text{макс}}=15$ см) укладывалась слоями 0,3 м и уплотнялась 10-тонным виброкатком. Объем переходной зоны 0,517 млн. м³.

3. Внутренние зоны (4; 5) упорных призм укладывались слоями 0,6 м с уплотнением 27-тонным виброкатком за восемь проходов; зона 6 укладывалась слоями 0,9 м с уплотнением

27-тонным трактором за четыре прохода; $\gamma_{ск}=1,82 \text{ т/м}^3$; $n=31\%$. Крепление откосов камнем проводилось без уплотнения. Полевые определения плотности проводились методом шурфа с заливом водой при помощи пленки. Стенки шурфа заделывались глиной. Объем глин и воды затем суммировался. Объем пробы составлял около $0,6 \text{ м}^3$. Объем упорных призм $8,6 \text{ млн. м}^3$.

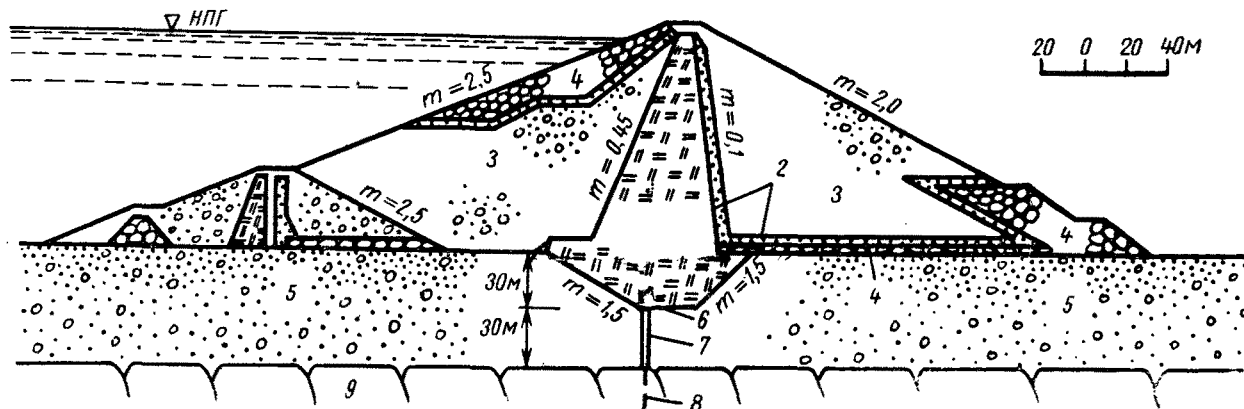
4. Установлена различная контрольно-измерительная аппаратура. Для наблюдения за осадками плотины были установлены глубинные реперы конструкции Бюро Мелиорации США. Осадки низовой упорной призмы через год после возведения соста-

вил: на высоте 40 м от основания $65,8 \text{ см}$; на высоте 55 м — $79,5 \text{ см}$; на высоте 70 м — $85,6 \text{ см}$.

5. Характерным для строительства является рациональное использование грунтовых материалов из полезных выемок и карьеров за счет зонального распределения в теле плотины и подбора оптимальных методов уплотнения. В 1964 г. из-за неравномерной осадки верховой и низовой частей плотины на гребне плотины возникли продольные и поперечные трещины. Они были залечены, и в дальнейшем не возникали. Общий объем тела плотины $9,80 \text{ млн. м}^3$.

10. ПЛОТИНА СВИФТ

США, р. Льюис, 1956—1959 гг. $H=156 \text{ м}$; $b=9,2 \text{ м}$; $L=640 \text{ м}$; $V=600 \text{ м}^3$



1—ядро из глинистых фракций, отсеянных из речных отложений; 2—фильтр из песчано-гравийной смеси; 3—упорные призмы из гравийно-галечникового материала; 4—каменная наброска; 5—аллювий; 6—бетонная стенка; 7—диафрагма из металлического шпунта с забетонированным внутренним пространством; 8—противофильтрационная завеса; 9—скала

1. Ядро укладывалось слоями $0,38 \text{ м}$ с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода. Материал ядра содержал 12% частиц меньше $0,074 \text{ мм}$.

2. Фильтр укладывался слоями $0,38 \text{ м}$ с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах. В середине фильтра устроен дренаж из камня шириной $3,6 \text{ м}$ для отвода воды, фильтрующей через ядро.

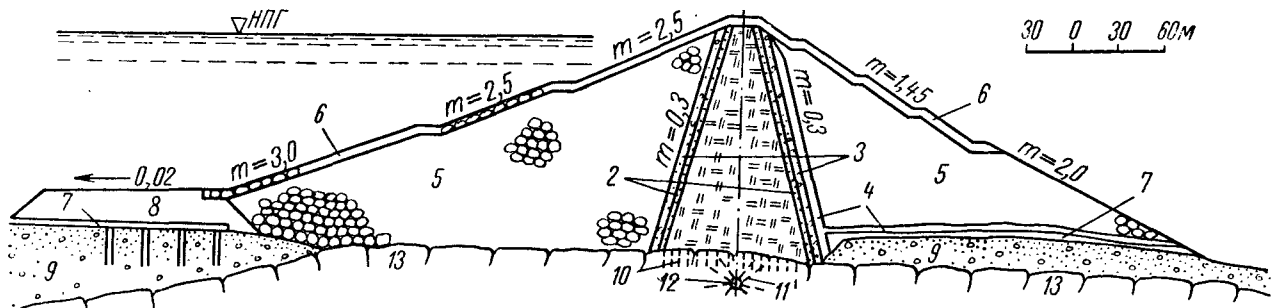
3. Упорные призмы из гравийно-галечникового материала укладывались слоями 0,61 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода. Части упорных призм из каменной наброски уплотнялись струей воды из гидромонитора.

5. Район строительства характеризуется большим количеством атмосферных осадков (2880 мм в год). Представляет интерес сопряжение ядра со скалой основания. Толща алювиальных отложений (60 м) прорезана зубом из грунта ядра, бетонной стенкой, металлической диафрагмой с забетонированным внут-

ренним пространством и цементационной завесой. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 1,1 до 5,3 м³ (10 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 25 т (50 шт.); автотележки грузоподъемностью 38 т; катки на пневмошинах 50 т (2 шт.). Среднемесячная производительность по укладке насыпи 15,2 тыс. м³; максимальная—45,6 тыс. м³. Плотина была построена за 30 месяцев. Основная масса грунта уложена в течение 18 месяцев. Общий объем тела плотины 12 млн. м³. Стоимость гидроузла 58 млн. долларов.

11. ПЛОТИНА ГЕШЕНЕРАЛЬП

Швейцария, р. Гешенеррейс, 1955—1960 гг. $H=155$ м; $b=12$ м; $L=540$ м; $B=700$ м



1—ядро из глинобетона (Г); 2—первый слой фильтра (аллювий 0—100 мм) (Г); 3—второй слой фильтра (аллювий, щебень 0—200 мм) (Г); 4—третий слой фильтра из дробленого камня размером менее 200 мм; 5—упорные призмы (каменная наброска из материала осыпей) (Г); 6—крепление камнем; 7—дренаж; 8—каменная пригрузка; 9—аллювий; 10—площадная цементация; 11—противофильтрационная завеса; 12—цементационная штольня; 13—граниты

1. Ядро укладывалось слоями 0,30 м с уплотнением 35—45-тонным катком на пневмошинах; $\gamma_{ск}=2,17$ т/м³; $w=6-8\%$; $k_{ф}=5 \cdot 10^{-7}-5 \cdot 10^{-8}$ см/сек; $\varphi=30-35^\circ$. Глинобетон приготавливался из отсортированного песчано-гравелистого грунта (<100 мм) и 18% по весу анилиновой глины в порошке. Характеристики глины: $\gamma_{уд}=2,65-2,75$ т/м³; влажность—4%; $w_{пл}=15-19\%$;

$w_T=40-45\%$. Чтобы не допустить избыточную влажность в глинобетоне, мелкие заполнители (размером до 8 мм) просушивались в печах до $w=3-4\%$. Объем ядра 1,2 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,30 м с уплотнением 35—65-тонным катком на пневмошинах.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 2,5 м с увлажнением в кузове автосамосвала (расход воды 150 л на 1 м³ наброски) и уплотнялись проходящим транспортом; $\gamma_{ск}=2,15 \text{ т/м}^3$; $\varphi=40-50^\circ$; $n=17-18\%$; $k_{ф}=5 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-4} \text{ см/сек}$. Объем упорных призм 7,2 млн. м³.

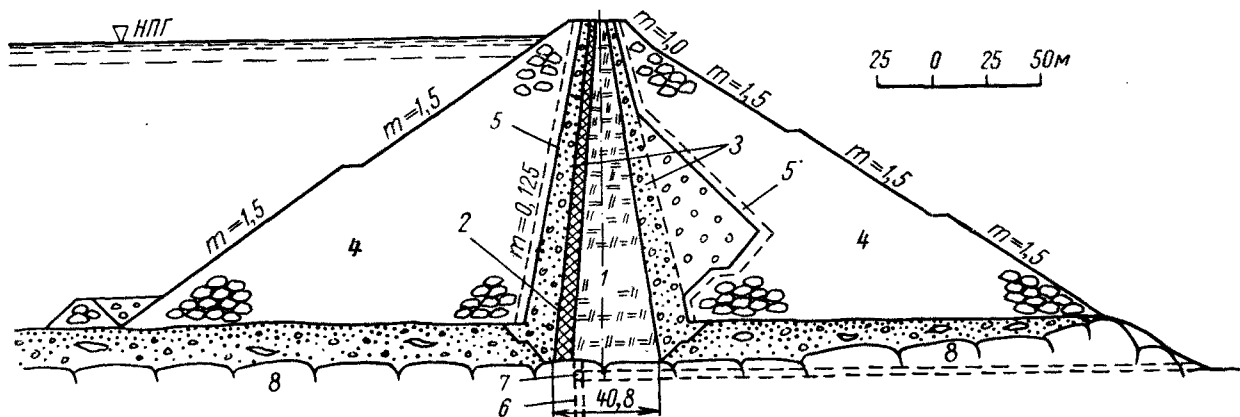
4. Установлена контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, пьезодинамометры, глубинные и поверхностные реперы. За три года наблюдений суммарная осадка ядра на высоте $1/3 H$ от основания составила 2,3 м или 1,5% от высоты плотины. Горизонтальное перемещение гребня при первом наполнении водохранилища составило 10—14 см, при опорожнении

его наблюдалось обратное смещение на 6—7 см. При повторном наполнении водохранилища перемещение оказалось значительно меньше. Общая осадка верховой призмы составила 4,9 м или 5% от высоты плотины. Осадка низовой призмы 79 см.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 1,5—3,0 м³ (16 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 18 и 27 т (70 шт.); тракторы весом 22 и 32 т (22 шт.). Плотина объемом 9,35 млн. м³ была возведена за 30 рабочих месяцев. Средняя месячная производительность по укладке насыпи составляла 300 тыс. м³.

12. ПЛОТИНА ГЕПАЧ

Австрия, р. Фаггенбах, 1961—1965 гг., $H=153 \text{ м}$; $b=10 \text{ м}$; $L=600 \text{ м}$; $B=420 \text{ м}$



1—ядро из песчано-глинистого заполнителя материала осыпей (Г); 2—то же с добавлением 1% бентонита (Г); 3—переходная зона из песчано-гравелистого грунта и отсортированных грунтовых фракций (Г); 4—каменная наброска из горной массы (гнейсы) (Г); 5—мелкий камень; 6—противофильтрационная завеса; 7—цементационная галерея; 8—гнейсы, покрытые аллювием, валунистой глиной и материалом осыпей

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением 40-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов; $\gamma_{ск}=2,15-2,25 \text{ т/м}^3$; $\varphi=29^\circ$; $c=0,1 \text{ кг/см}^2$; $k_f=3 \cdot 10^{-8} \text{ см/сек}$. Грунт с отсевом фракций больше 80 мм подсушивался в печах до $w_{опт}=6,5-7,0\%$. С верховой стороны ядра слой грунта в смеси с 1% бентонита. Пробы на плотность, влажность и гранулометрический состав брались на каждые 500 м³. Объем ядра 1 млн. м³.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,6 м с уплотнением проходящим транспортом; $\gamma_{ск}=2,30 \text{ т/м}^3$; $\varphi=45^\circ$; $k_f=1 \times 10^{-4} \text{ см/сек}$. Пробы на плотность, влажность и гранулометрический состав брались на каждые 7800 м³. Объем переходных зон 1,5 млн. м³.

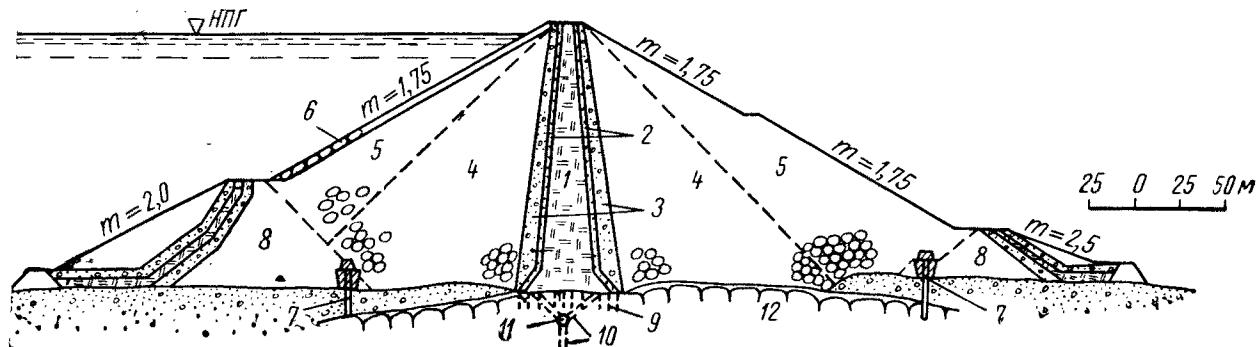
3. Упорные призмы укладывались слоями 2 м с уплотнением 8,5-тонным виброткатом за четыре прохода; $\gamma_{ск}=1,75-1,80 \text{ т/м}^3$; $\varphi=45^\circ$. Камни более 1 м³ укладывали крапом на поверхность откосов. Объем упорных призм 5,6 млн. м³.

4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезодинамометры (32 шт.); грунтовые динамометры (51 шт.), системы измерения вертикальных перемещений (9 шт.), системы измерения горизонтальных перемещений (19 шт.), поверхностные марки (45 шт.). Стоимость аппаратуры составила 1% от стоимости плотины. Строительная осадка материала ядра после возведения на 30 м составила 10 см. Эксплуатационная осадка гребня через 2,5 года составила 0,75-1,0 м. Горизонтальное смещение в ядре на высоте 30 м в это же время равнялось 10 см. Строительная осадка упорных призм после возведения на высоту 30 м равнялась 30 см. Эксплуатационная осадка наброски в максимальном сечении через 2,5 года составила 3 м.

5. Скальный карьер разрабатывался взрывами скважин диаметром 75 мм; высота уступа 20 м, средний расход ВВ 260 г/м³. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшом емкостью до 3-4 м³, автотележки 7 м³, автосамосвалы 10-12 м³. Суточная производительность составляла: по суглинку 3400-6600 м³, по камню 7400-11200 м³.

13. ПЛОТИНА ИНФЕРНИЛЬО

Мексика. р. Бальзас, 1963 г., $H=148 \text{ м}$; $b=10 \text{ м}$; $L=508 \text{ м}$



1—ядро из глины (20-30% менее 0,002 мм) (Г); 2—первый слой фильтра из песчано-гравийной смеси ($d=0,1-10 \text{ мм}$) (Г); 3—второй слой фильтра (дробленный камень $d=5-150 \text{ мм}$) (Г); 4—внутренние зоны упорных призм ($d<4,5 \text{ см}$) (Г); 5—внешние зоны упорных призм из более крупного камня (горная масса) (Г); 6—крепление крупным камнем; 7—бетонная диафрагма; 8—перемычки; 9—площадная цементация; 10—противофильтрационная завеса; 11—цементационный туннель; 12—метаморфизованные кремнистые конгломераты

1. Ядро укладывалось слоями 0,17 м с уплотнением 15-тонным катком. Из-за малой несущей способности материала ядра каток бы снабжен утолщенными кулачками; $\gamma_{ск, ср} = 1,586 \text{ т/м}^3$; $k_f = 5 \cdot 10^{-8} \text{ см/сек}$; $W_T = 49\%$; $W_{пл} = 24\%$. Для получения пластичного ядра, способного выдержать большие деформации сдвига без трещин, средняя влажность была выше оптимальной на 3,7%. Грунт перед укладкой готовился в специальных кавальерах. Объем ядра и переходных зон 0,9 млн. м^3 .

2. Первый слой фильтра укладывался слоями 0,3 м со смачиванием водой и уплотнением 2-тонным вибркатком за четыре прохода; $\gamma_{ск} = 1,87 \text{ т/м}^3$; $k_f = 8 \cdot 10^{-3} \text{ см/сек}$; $\varphi = 45^\circ$. Второй слой фильтра состоял из карьерной мелочи, прошедшей дробление, укладывался слоями 0,3 м с уплотнением аналогично первому слою фильтра; $\gamma_{ск} = 2,02 \text{ т/м}^3$; $k_f = 7 \cdot 10^{-2} \text{ см/сек}$; $\varphi = 47^\circ$.

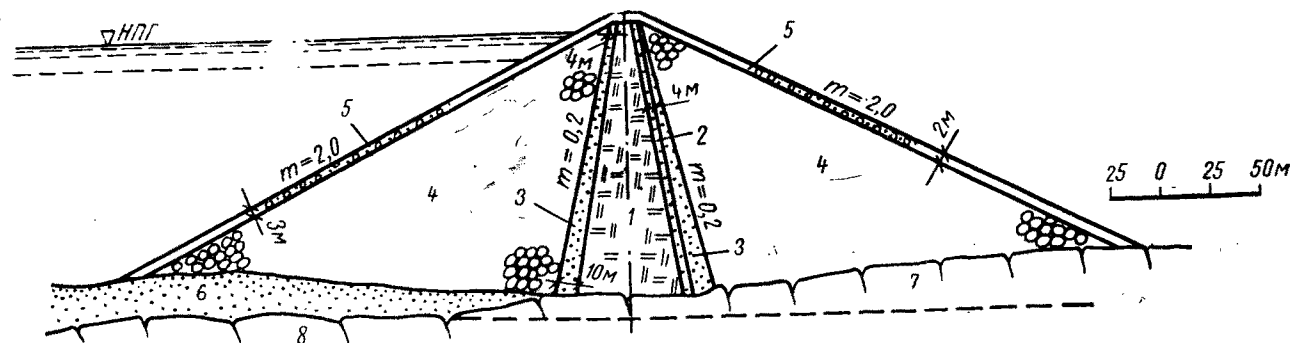
3. Внутренние зоны упорных призм ($d = 0,45 \text{ м}$) укладывались слоями 0,6—1,0 м с уплотнением тяжелыми тракторами за четыре прохода; $\gamma_{ск} = 1,85 \text{ т/м}^3$. Наружные зоны ($d > 0,45 \text{ м}$) отсыпались слоями 2,0—2,5 м без уплотнения; $\gamma_{ск} = 1,76 \text{ т/м}^3$; $\varphi = 47^\circ$. 70% материала наружной зоны состояло из камней больше 1,0 т. Плотность упорных призм замерял методом шурфа объемом до 6 м^3 с засыпкой шурфа сортированным гравием. Объем упорных призм 4,7 млн. м^3 .

4. Контрольно-измерительная аппаратура: открытые пьезометры (10 шт.), нивелиметры (8 шт.), глубинные реперы (4 шт.), экстензометры (10 шт.), поверхностные реперы (50 шт.), акселерометры (4 шт.), сейсмографы (21 шт.). По натурным наблюдениям после наполнения водохранилища осадка гребня плотины за 10 месяцев составила 37 см (0,25% от высоты плотины), горизонтальное смещение в сторону верхнего бьефа 15 см. Через 1,5 года гребень ядра вернулся в первоначальное состояние. Осадка каменной наброски на низовом откосе (на высоте 60 м) составила 15 см (0,25%), горизонтальное смещение равнялось 15 см.

5. Конструкция плотины отражает современные тенденции в плотиностроении: ядро (в нижней части 30 м) у самой подошвы для лучшего сопряжения с основанием расширяется до 45 м; зональная укладка каменного материала различной крупности с соответствующей технологией уплотнения. На строительстве были проведены большие лабораторные и полевые исследования для определения геотехнических характеристик материалов, слагающих тело плотины. Общий объем тела плотины 5,7 млн. м^3 .

14. ПЛОТИНА НЕЦАХУАЛКОЙОТЛ

Мексика, р. Грияльва, 1965 г. $H = 137,5 \text{ м}$; $b = 10 \text{ м}$



1—ядро из суглинка (Г); 2—первый слой фильтра из песка (Г); 3—второй слой фильтра из карьерной мелочи размером менее 10 см (Г); 4—каменная наброска из Горной массы (песчаник); 5—крепление крупным камнем; 6—речные отложения, песок; 7—конгломераты; 8—песчаник

1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с уплотнением 4-тонным вибротатком за шесть проходов; $\gamma_{ск}=1,65-1,75 \text{ т/м}^3$; $\omega=16-28\%$; $W_T=40-50\%$; $W_{пл}=10-30\%$.

2. Первый слой фильтра (зона 2) укладывался слоями 0,25 м с уплотнением 4-тонным вибротатком за четыре прохода. Второй слой (зона 3) укладывался слоями 0,5 м с уплотнением 4-тонным вибротатком за четыре прохода, а также проходящим транспортом.

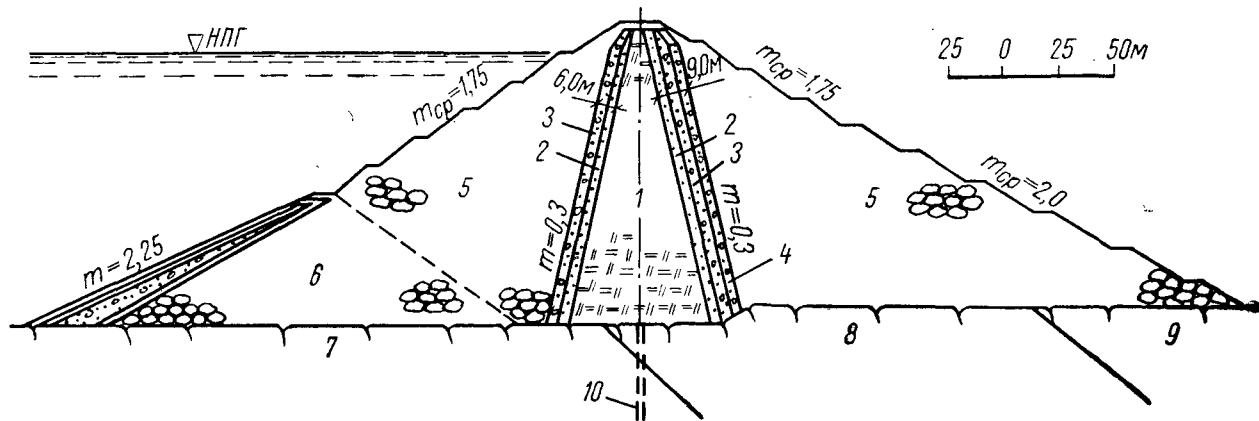
3. Упорные призмы укладывались слоями 0,5—0,75—1,0 м в зависимости от крупности камня. Разравнивание проводилось бульдозерами, уплотнение груженом транспортом. В расчетах принято $\varphi=36^\circ$ (по опытам $\varphi=36-40^\circ$). В процессе отсыпки большие камни сталкивались к внешним сторонам упорных призм.

4. Среди разнообразной контрольно-измерительной аппаратуры были установлены: инклинометры (9 шт.), пьезометры Казгранде (10 шт.). За 13 месяцев после окончания строительства осадка гребня составила 25 см (0,18%), смещение в сторону НБ—25 см, максимальное смещение точек на гребне вдоль оси плотны—23 см.

5. В основании плотины залегают конгломераты, мелкозернистые прочные песчаники, прослой сланцев. Под плотинной проходят четыре зоны сбросов. Аллювиальные отложения были выбраны под ядром и внутренней призмой. Песок под верховой призмой (среднезернистый, чистый, однородный) был оставлен. Зоны сбросов с поверхности разрабатывались, заполнялись бетоном и цементировались на глубину 15 м.

15. ПЛОТИНА ДЕРБЕНДИ КХАН

Ирак, р. Дийяла, 1956—1961 гг. $H=135 \text{ м}$; $b=17 \text{ м}$; $L=445 \text{ м}$; $V=513 \text{ м}^3$



1—ядро из глины; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—третий слой фильтра из гравийной смеси; 5—упорные призмы из горной массы (известняк); 6—верховая перемычка; 7—битуминозный мергель; 8—сланцы; 9—известняки и песчаники; 10—противофильтрационная завеса

1. Ядро из глины (80% менее 0,074 мм) укладывалось слоями 0,15—0,30 м с уплотнением кулачковым катком или катком на пневмошинах за четыре прохода; $\gamma_{ск}=1,72 \text{ т/м}^3$; $\varphi=13^\circ$; $c=1,1 \text{ кг/см}^2$; $w_{опт}=14,5\%$. Полученная в лаборатории плотность, соответствующая оптимальной влажности, равнялась $1,86 \text{ т/м}^3$. Грунт в карьере имел влажность около 22%. Проводилась подсушка.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах за четыре прохода.

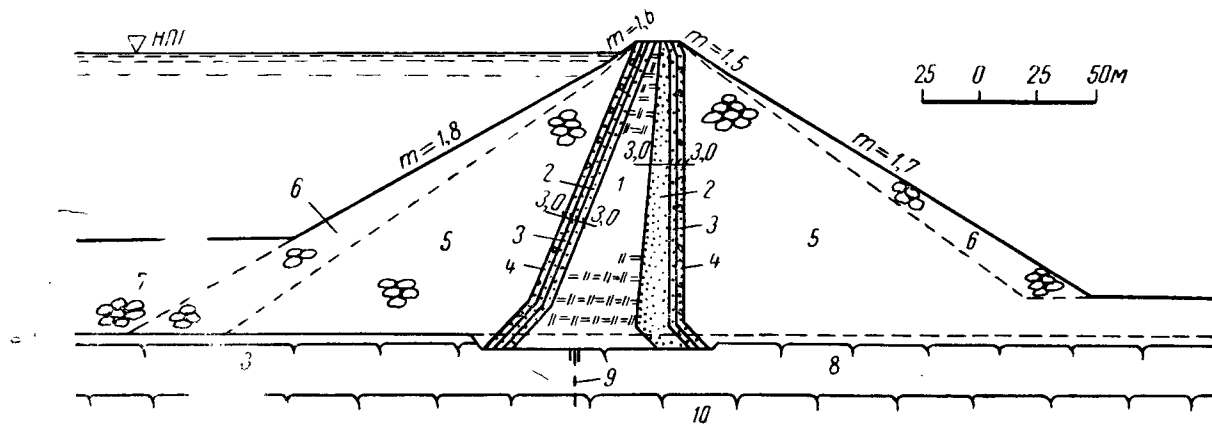
3. Упорные призмы отсыпались слоями от 10 до 30 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м^3 на 1 м^3 наброски). Угол внутреннего трения наброски $\varphi=38^\circ$. Проч-

ность камня известняка $\sigma_{сж}=800\text{—}900 \text{ кг/см}^2$. Крепление откосов крупным отборным камнем проводилось без уплотнения.

5. Устойчивость откосов плотины проверялась по методу круглоцилиндрических и плоских поверхностей. По первому методу k_3 для шести расчетных случаев (особых и основных сочетаний нагрузок) изменялся от 1,41 до 2,21; по второму—от 1,22 до 1,83. Общий объем плотины 7 млн. м^3 . Цены (в долларах) на отдельные виды работ за 1 м^3 : каменная наброска—1,75; фильтры—4,8; ядро—1,75; бетон—30.

16. ПЛОТИНА РАУНД БЮТТ

США, р. Дешютес, 1962—1964 гг. $H=134 \text{ м}$; $b=13,4 \text{ м}$; $L=441 \text{ м}$



1—ядро из илистого песка; 2—первый слой фильтра из пемзового песка, тонкозернистого; 3—второй слой фильтра из дробленого базальта; 4—третий слой фильтра из карьерной мелочи; 5—каменная наброска из сортированной горной массы (базальт $d<0,6\text{м}$); 6—крепление камнем ($d>0,6 \text{ м}$); 7—обратная засыпка; 8—мелкотрещиноватые базальты; 9—противофильтрационная завеса; 10—прочные базальты

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м при оптимальной влажности с уплотнением 50-тонным пневмокатком за четыре прохода. Материал ядра мало пластичен (30% менее 0,074 мм). Объем ядра 0,65 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением 10-тонным виброкатком за четыре прохода. Объем фильтров 0,88 млн. м³.

3. Упорные призмы укладывались слоями 0,6 м с уплотнением 10-тонным виброкатком за четыре прохода. Объем упорных призм 5,8 млн. м³.

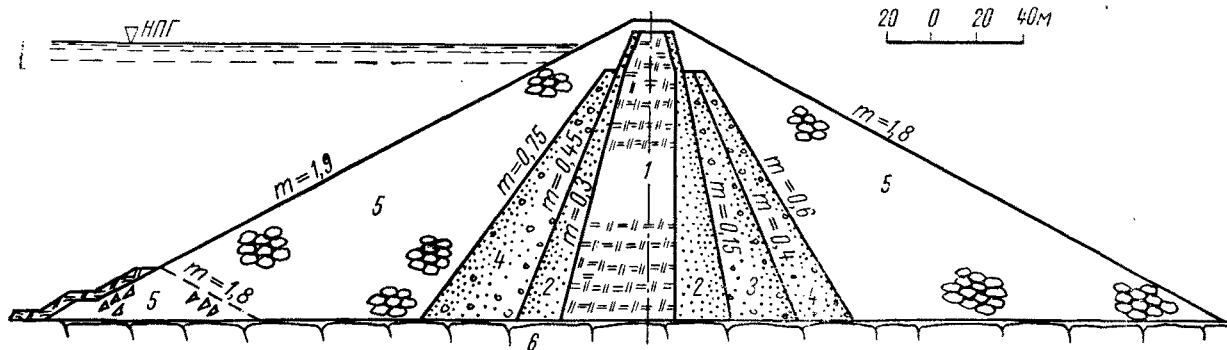
4. По данным натурных наблюдений через 15 месяцев после окончания строительства плотины, максимальная осадка гребня составила 54 см; максимальная осадка на низовом откосе упорной призмы 42 см. В результате неравномерных осадок частей

плотины, а также конфигурации бортов каньона в примыканиях плотины на гребне возникли продольные и поперечные трещины. Общая суммарная длина продольных трещин 152 м, ширина отдельных трещин достигала 15 см. Одна из поперечных трещин у борта имела ширину 2,5 см, глубину до 4,9 м. Трещины были залечены.

5. Материал для всех зон плотины готовился искусственно. Перевозка грунта и горной массы в плотину осуществлялась автосамосвалами грузоподъемностью 27 т и автотележками грузоподъемностью 40 т. Максимальная суточная производительность по всем видам насыпей 32 тыс. м³. Единичные стоимости (в долларах) 1 м³ различных материалов составили: ядро—1,57; фильтр ($d_{\max}=50$ мм)—3,6; фильтр ($d_{\max}=100$ мм)—2,35; каменная наброска—0,615. Общая стоимость гидроузла 60 млн. долларов.

17. ПЛОТИНА КАРТЕРС

США, р. Кусавати (строится). $H=134$ м; $b=12$ м; $L=630$ м; $B=495$ м



1—ядро из суглинка; 2—отсортированная мелочь, полученная из филлитов и выветрелой скалы ($d_{\max}=20$ см, 30% < 0,074 мм); 3—рядовая горная масса из слабовыветрелых пород; 4—здоровые или слабо выветрелые кварциты с примесью до 40% аргиллитов или филлитов; 5—прочный кварцит с примесью не более 30% прочных аргиллитов и филлитов (5% < 0,074 мм); 6—кварциты, аргиллиты, филлиты

1. Ядро укладывается слоями 0,15 м с уплотнением двухбараным кулачковым катком за восемь проходов; $\gamma_{ск. макс} = 2,05 \text{ т/м}^3$; $\gamma_{ск. ср} = 1,7 \text{ т/м}^3$; $\varphi = 12^\circ$. В суглинке допускается содержание отдельных камней размером до 10 см, в пределах, не влияющих на водонепроницаемость.

2. Первый слой фильтра (зона 2) укладывается слоями 0,3 м. Второй и третий слой (зоны 3 и 4) укладываются слоями 0,6 м. Уплотнение осуществляется 10-тонным виброкатком за четыре прохода;

3. Упорные призмы укладываются слоями 1,12 м с уплотнением 19-тонным виброкатком за четыре прохода. $\gamma_{ск} = 1,89 \text{ т/м}^3$;

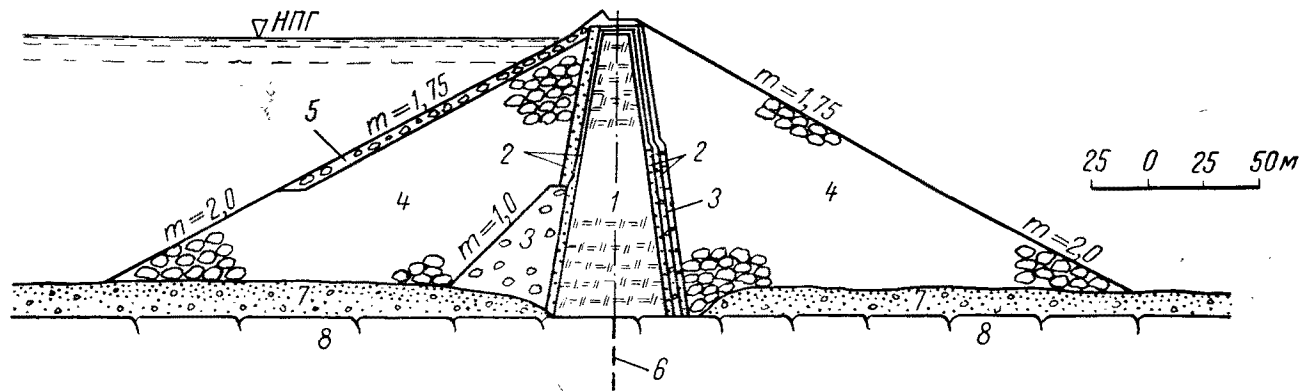
$\varphi = 39,5^\circ$. Объем упорных призм 9,12 млн. м^3 .

4. Устанавливается контрольно-измерительная аппаратура для измерения пьезометрических уровней, давления грунта, порового давления, а также для определения осадок и горизонтальных смещений тела плотины.

5. Расчет устойчивости откосов плотины проводили по методу плоских поверхностей сдвига. Для различных расчетных схем при основном сочетании нагрузок коэффициент запаса k_3 менялся от 1,49 до 1,75. Общий объем плотины 11,2 млн. м^3 . Стоимость 1 м^3 каменной наброски 1,36 доллара. Общая стоимость гидроузла 74,6 млн. долларов.

18. ПЛОТИНА АМБУКЛАО

Филиппины, р. Агно, 1953—1956 гг. $H = 131 \text{ м}$; $b = 15 \text{ м}$; $L = 452 \text{ м}$; $B = 437 \text{ м}$



1—ядро из суглинки (Г); 2—фильтры из песчано-гравийной смеси (Г); 3—карьерная мелочь; 4—каменная наброска (дюрнты) (Г); 5—крепление крупным камнем; 6—противофильтрационная завеса; 7—гравийно-галечниковые аллювиальные отложения; 8—андезиты, туфы и лавы

1. Ядро укладывалось слоями 0,45 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода; $\varphi=15^\circ$. Объем ядра 1,4 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,45 м с уплотнением 60-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода $\varphi=35^\circ$. Объем фильтров 0,4 млн. м³.

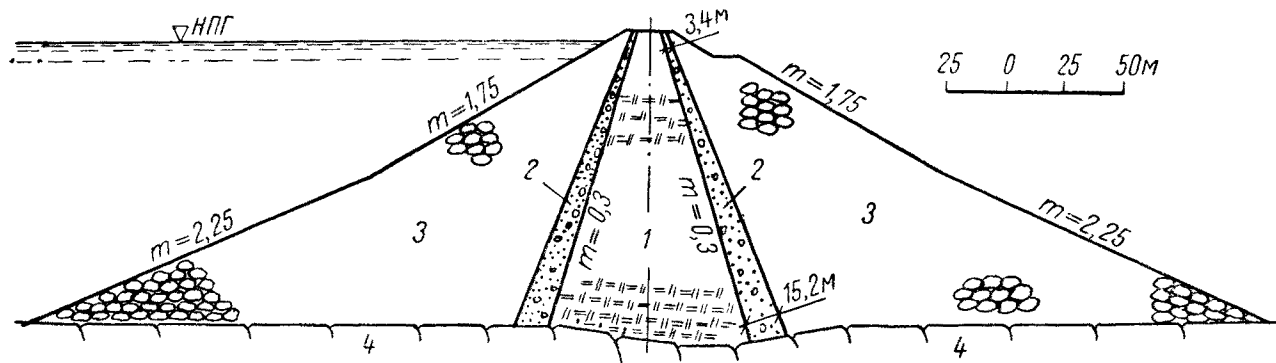
3. Верховая призма укладывалась слоями 0,6 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах при интенсивном полве водой. Низовая призма отсыпалась ярусам 9—27 м с уплотнением струей воды из гидромонитора; $\varphi=40-45^\circ$. Объем упорных призм 5,8 млн. м³.

4. За три года эксплуатации осадка гребня составила 15 см; горизонтальное смещение после заполнения водохранилища 7,5 см.

5. Коэффициент запаса устойчивости плотины, определенный по методу плоских поверхностей сдвига, для наилучшего случая при особом сочетании нагрузок равен 1,21. Основание плотины было тщательно расчищено до здоровой скалы под ядром и в зоне сбросных трещин. Трещины промыты и затампонированы бетоном, основание подверглось цементации на глубину 90 м в пять очередей. Максимальная месячная производительность по всем видам насыпей составляла 500 тыс. м³. Плотина была возведена за 24 месяца.

19. ПЛОТИНА МАД МАУНТИН

США, р. Уайт, 1939—1941 гг. $H=130$ м; $b=15,3$ м; $V=494$ м



1—ядро из искусственной смеси (80% песка с гравием, 20% глины); 2—переходная зона из дробленого мелкозернистого гранита; 3—упорные призмы из прочного аидезита; 4—скала

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением кулачковым катком. Фракции крупнее 15 см отсеивались.

2. Переходная зона укладывалась слоями 0,30 м с механическим уплотнением.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 12 м с уплотнением струей воды из гидромонитора под давлением 4,5 атм, (расход воды 1,0—0,5 м³ на 1 м³ каменной наброски).

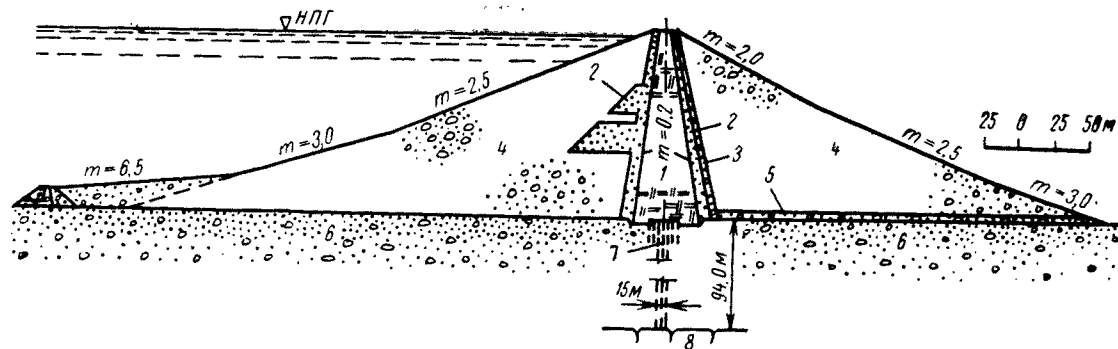
4. На гребне плотины, а также в ядре на высоте 30; 60; 90 м от основания установлены приборы для наблюдения за

осадками и смещениями. За 9 лет наблюдений (с 1941 г.) максимальная осадка гребня плотины составила 32 см, что оказалось близким к расчетному. Максимальная осадка упорной призмы 127 см; горизонтальное смещение гребня в сторону НБ—27 см.

5. Основание под плотину было расчищено от аллювиальных отложений до скалы. Различная осадка между ядром и упорными призмами (призмы осели больше) вызвала образование трещины вдоль оси плотины. Глубина трещины достигала 1,8 м. После залечивания трещины имело место ее вторичное раскрытие. Общий объем тела плотины 1,805 млн. м³.

20. ПЛОТИНА СЕРР-ПОНСОН

Франция, р. Дюранс, 1957—1959 гг. $H=130$ м; $b=10$ м; $L=600$ м; $V=850$ м



1—ядро из пролювиальных отложений; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—упорные призмы из аллювиальных гравелистых грунтов; 5—дренажный слой; 6—аллювиальные гравелистые отложения; 7—противофильтрационная завеса глубиной 94 м; 8—скала

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением 45-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов; $\gamma_{ск}=1,91—2,03$ т/м³; $\varphi=34^\circ$; $c=0,6$ кг/см²; $k_{ф}=1—5 \cdot 10^{-7}$ см/сек; $c_v=0,3—0,6$ см²/сек.

Камни крупнее 150 мм убирались. Перед укладкой вышележащего слоя производилось боронование закатанных поверхностей. Перед окончательной укаткой катком на пневмошинах проводилась укатка кулачковым катком.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах; $\gamma_{ск}=2,23 \text{ т/м}^3$; $n=20\%$; $\varphi=41^\circ$; $k_{ф}=1-3 \times 10^{-2} \text{ см/сек}$.

3. Упорные призмы укладывались слоями 0,6 м с полнвом (расход воды 100 л на 1 м³ материала) и уплотнением 45-тонным катком на пневмошинах. Расчетные характеристики верховой призмы: $\gamma_{ск}=2,3 \text{ т/м}^3$; $n=16\%$; $\varphi=41^\circ$; $k_{ф}=5-6 \cdot 10^{-3} \text{ см/сек}$. Расчетные характеристики нижней призмы: $\gamma_{ск}=2,33 \text{ т/м}^3$; $n=14\%$; $\varphi=39^\circ$; $k_{ф}=5-6 \cdot 10^{-3} \text{ см/сек}$.

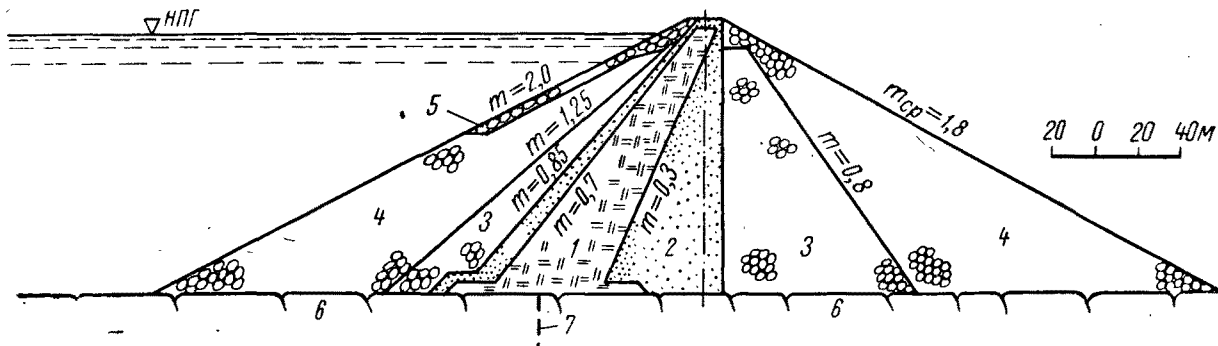
4. Заложено 140 различных приборов контрольно-измерительной аппаратуры, в том числе датчики для замера порового давления и напряжений, реперы для определения горизонтальных и

вертикальных деформаций, пьезометры и пр. Максимальная осадка в ядре к концу строительства на высоте $2/5 H$ составила 1,12 м. Общая осадка по оси ядра, включая осадку основания составила 2,6 м, 1,9% от высоты плотины. За 27 месяцев после окончания строительства осадка гребня ядра оказалась равной 0,15 м. Осадка упорных призм в два раза меньше, чем ядра.

5. Основные строительные механизмы: драглайны с ковшами емкостью 3,8-5,4 м³ (5 шт.); тракторные полуприцепы емкостью 19 м³ (35 шт.); тракторы со сменным оборудованием для бульдозеров (16 шт.). Месячная производительность по насыпям достигала 620 тыс. м³.

21. ПЛОТИНА ФУРНАС

Бразилия, р. Рио-Гранде, 1958-1962 гг. $H=127 \text{ м}$; $b=15 \text{ м}$; $L=554$



1—ядро из глины (продукт выветривания кварцитов и сланцев); 2—переходная зона из кварцитов (15% менее 0,074 мм; 30% менее 0,2 мм, 40% менее 2 мм, 15% менее 25 мм); 3—зона из горной массы с большим содержанием карьерной мелочи; 4—каменная наброска из прочных кварцитов (5% менее 2 мм, 29% менее 25 мм, 60% менее 75 мм, 80% менее 145 мм); 5—крепление крупным камнем; 6—кварциты с вкраплением слюдястых сланцев; 7—противофильтрационная завеса

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода. Нижняя часть

ядра из песчанистой глины характеризовалась $\gamma_{ск}=1,677 \text{ т/м}^3$, $w=19,2\%$; $\varphi=15^\circ$; $c=0,1 \text{ кг/см}^2$; верхняя часть из иловатых глин

характеризовалась $\gamma_{ск} = 1,57 \text{ т/м}^3$; $\omega = 27\%$. Поверхность грунта перед укладкой вышележащих слоев бороновалась на глубину 5 см. Пробы на плотность брались на каждые 350 м³. Объем ядра 1,28 млн. м³.

2. Зона 2 укладывалась слоями 0,3 м с уплотнением трактором за два прохода; $\gamma_{ск} = 1,89 \text{ т/м}^3$; $\omega = 4,2\%$; $\varphi = 41^\circ$. Зона 3 укладывалась слоями 0,3—0,5 м с уплотнением трактором за два прохода; $\gamma_{ск.ср} = 1,98 \text{ т/м}^3$; $\omega = 2,5\%$. Объем переходных зон 4,028 млн. м³.

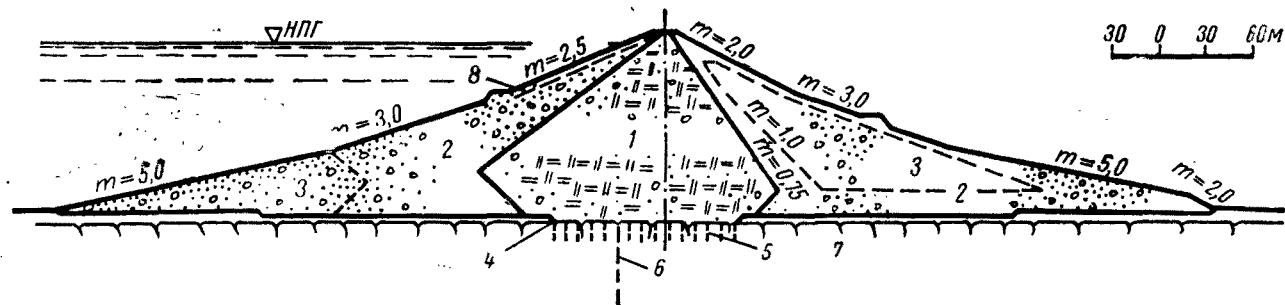
3. Упорные призмы укладывались слоями 0,6 м с уплотнением трактором за два прохода; $\gamma_{ск} = 1,85 \text{ т/м}^3$; $\omega = 1,5\%$. При наличии крупных камней высота слоя увеличивалась до 0,8 м. Объем упорных призм 4,138 млн. м³.

4. По данным натуральных наблюдений через 12 месяцев после возведения плотины максимальная осадка гребня составила 131 мм (0,12% от высоты плотины); максимальное горизонтальное смещение в сторону НБ 90 мм. Через 20 месяцев осадка достигла 187 мм, горизонтальное смещение 138 мм.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 0,57—3,0 м³, автосамосвалы грузоподъемностью 25 т (59 шт.), думпкары грузоподъемностью 18 т (10 шт.). Почти вся горная масса была получена из полезных выемок. На строительстве были проведены опытные работы по уточнению методов укладки и уплотнения отдельных зон плотины. Общий объем тела плотины 9,3 млн. м³. Стоимость гидроузла 100 млн. долларов.

22. ПЛОТИНА НАВАХО

США, р. Сан-Джуан, 1958—1962 гг. $H = 125 \text{ м}$; $b = 9 \text{ м}$; $L = 1160 \text{ м}$; $V = 700 \text{ м}$



1—ядро из глинистых и илистых грунтов с примесью песка и гравия; 2—песчано-гравийный материал с большим количеством гальки и булыжников; 3—зоны отсыпки некачественного разнородного материала; 4—выемка под зуб плотины; 5—площадная цементация; 6—противофильтрационная завеса; 7—прочная скала, состоящая из песчаника с прослойками сланца; 8—крепление откоса

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением 55-тонным самоходным четырех-барабанным кулачковым катком за

шесть проходов. Грунт подвозился скреперами, разравнивание осуществлялось бульдозерами.

3. Зона 2 упорных призм укладывалась слоями 0,45 м; зона 3 — слоями 0,3 м. Уплотнение проводилось виброкатком. V-образный сцеп из трех катков перемещался гусеничным трактором.

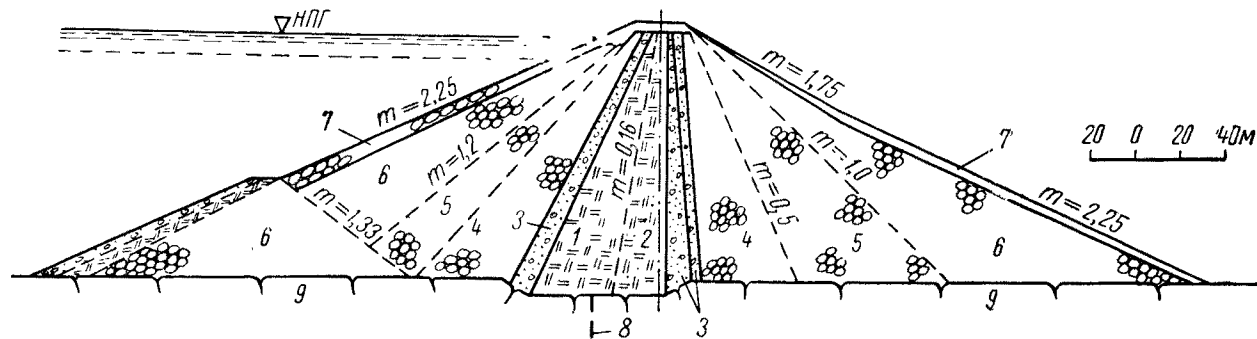
4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, поверхностные марки, приборы для наблюдения за осадками и горизонтальными перемещениями тела плотины.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы (5 шт., из них 3 прямых лопаты, 2 драглайна); автотележки грузоподъ-

емностью 60 т (12 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 30 т (10 шт.); скреперы емкостью 20 м³ (11 шт.); бульдозеры (16 шт.); катки кулачковые и виброкатки (6 шт.). Максимальная месячная производительность по всем видам насыпей 500 тыс. м³. Общий объем плотины 20 млн. м³. Стоимость гидроузла 22,83 млн. долларов.

23. ПЛОТИНА САММЕРСВИЛ

США, р. Гули, 1961—1964 гг. $H=119$ м; $b=12,2$ м; $L=695$ м



1—часть ядра из глины; 2—часть ядра из супеси; 3—переходная зона из песчаников ($d=7-15$ мм); 4—наброска камня ($d<22,5$ см); 5—наброска камня ($d<45$ см); 6—наброска камня ($d<60$ см); 7—крепление крупным камнем; 8—противофильтрационная завеса; 9—песчаники и сланцы

1. Ядро укладывалось при влажности грунта выше оптимальной с подсушкой, слоями 0,2 м и уплотнением кулачковым катком. При влажности, близкой к оптимальной, грунт укладывался слоями 0,3 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,3 м с уплотнением 45-тонным катком на пневмошинах.

3. Зона 4 упорных призм укладывалась слоями 0,3 м, зона 5 — слоями 0,6 м, зона 6 — слоями 0,9 м. Во всех зонах производилось разравнивание бульдозером и уплотнение 50-тонным катком за шесть—восемь проходов. Расчетные характеристики: $\gamma_{ск} = 1,76$ т/м³; $\varphi=38^\circ$. Объем упорных призм 5,35 млн. м³.

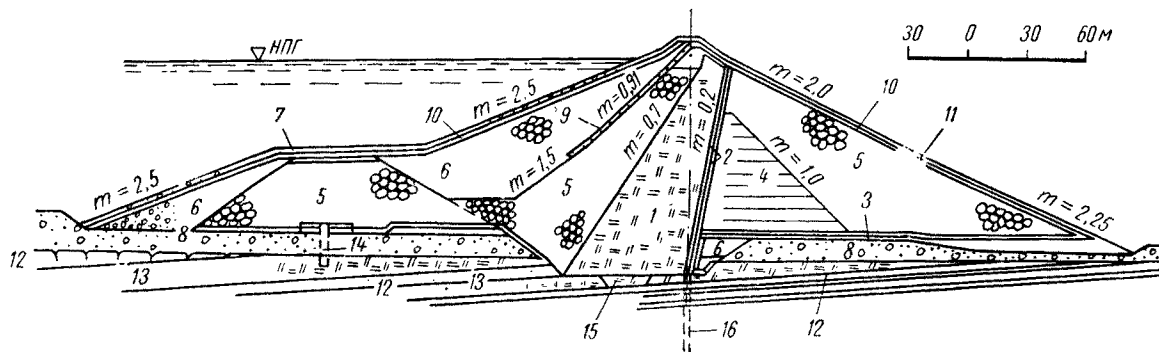
5. Расчет устойчивости плотины проводился по методу круглоцилиндрических и плоских поверхностей сдвига. Коэффициент

запаса k_3 для различных расчетных схем при основных и особых сочетаниях нагрузок изменялся от 1,3 до 1,9. Среднее значение сопротивления раздавливанию камня, использованного в наброску,

равнялось 230 кг/см^2 . Среднее значение модуля деформации было равным $2,94 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2$. Общий объем тела плотины 10 млн. м^3 .

24. ПЛОТИНА МАНГЛА

Пакистан, р. Джелам (строится). $H=116 \text{ м}$; $L=3340 \text{ м}$



1—ядро из глины; 2—двухслойный песчано-гравийный фильтр; 3—дренаж; 4—укатанный песок с гуглинком; 5—песчаник; 6—гравий; 7—крепление камнем; 8—аллювий; 9—переходная зона; 10—гравийная смесь; 11—галька и булыжник; 12—песчаник; 13—глины; 14—противофильтрационная завеса; 15—траншея зуба; 16—дренажные скважины

1. Ядро укладывается тонкими слоями с уплотнением тяжелым катком на пневмошинах за шесть—восемь проходов. Расчетные характеристики: $\varphi=22^\circ$; $c=0,22 \text{ кг/см}^2$. Так как в карьере грунт очень плотный, разработка ведется рипперами. Затем грунт складывают в бурты, смачивают и выдерживают перед укладкой в плотину до полугода.

2. Фильтры и переходная зона 3 укладываются послойно и уплотняются тяжелым катком на пневмошинах.

3. Упорные призмы (зоны 4, 5, 6) укладываются послойно и уплотняются тяжелым катком на пневмошинах. Расчетные углы внутреннего трения приняты: для 4 зоны $\varphi=20^\circ$, для 5 зоны $\varphi=36^\circ$; для 6 зоны $\varphi=40^\circ$.

4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры (216 шт.); датчики давления грунта (35 шт.); глубинные реперы для измерения осадок основания и наброски (29 шт.); приборы для замеров горизонтальных смещений (20 шт.). Максимальная осадка основания к 6. III. 1968 г. составила 60,8 см.

Максимальная строительная осадка насыпи к этому времени была равной 3,95 м (4% от высоты слоя насыпи). Максимальное перемещение гребня в сторону НБ за период с 24/IV 1967 г. по 12/II 1968 г. составило 52,5 см.

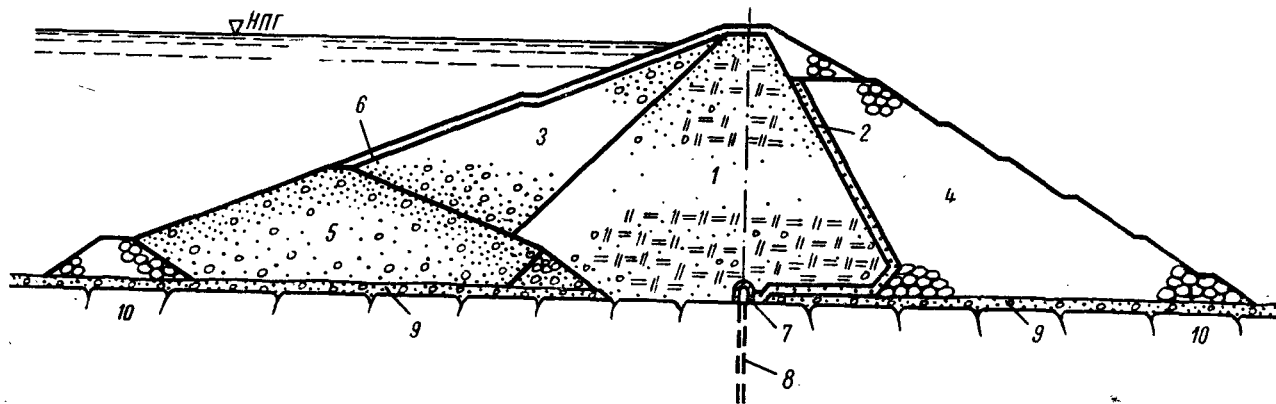
5. Расчет устойчивости плотины проводили по методу круглоцилиндрических поверхностей. Для различных расчетных схем, в том числе с учетом сейсмики, коэффициент запаса изменялся

от 1,0 до 1,4. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 0,57 до 6,1 м³ (25 шт.); автосамосвалы и автотележки с донной, боковой и задней разгрузкой грузоподъемностью до 90 т (260 шт.). Максимальная суточная производитель-

ность по всем видам насыпей составляла 100 тыс. м³, в том числе в ядро 20 тыс. м³. Максимальная месячная производительность 3,06 млн. м³. Общий объем тела плотины 63,5 млн. м³. Стоимость гидроузла 400 млн. долларов.

25. ЗЕЙСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Зeya (проект), $H=113$ м



1—ядро из супесчаного грунта; 2—фильтр; 3—песчано-гравийный грунт; 4—каменная наброска из полезных выемок; 5—гравийно-песчаные грунты; 6—крепление камнем; 7—цементационная галерея; 8—противофильтрационная завеса; 9—аллювий; 10—диориты

1. Ядро укладывается слоями 0,8 м с уплотнением катком на пневмошинах. Расчетные характеристики: $\gamma_{ск} = 1,65$ т/м³; $\varphi = 29^\circ$.

2. Переходная зона укладывается слоями 0,5—1,0 м с уплотнением катком на пневмошинах. Расчетные характеристики: $\gamma_{ск} = 1,65$ т/м³; $\varphi = 31^\circ$.

3. Упорные призмы (зоны 3, 4, 5) укладываются слоями

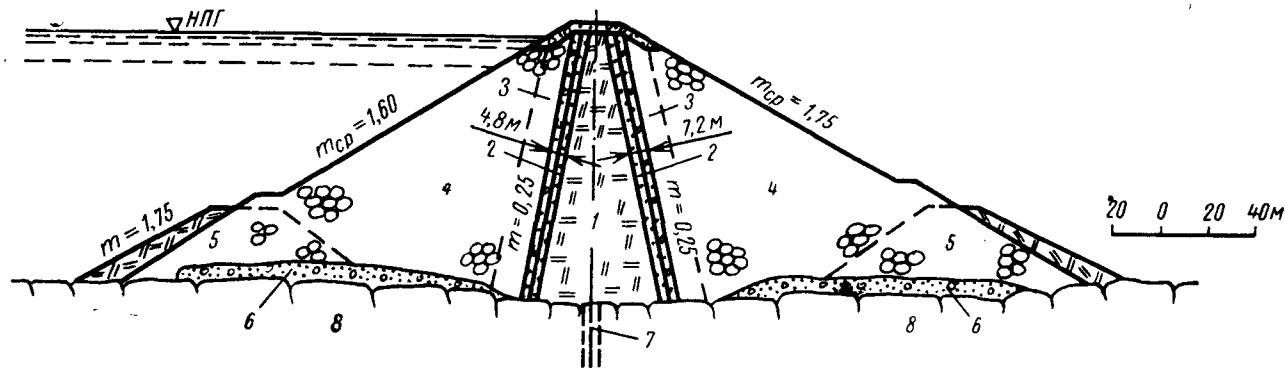
1,0—1,5 м с уплотнением катком на пневмошинах. Расчетные характеристики: $\gamma_{ск} = 1,75$ т/м³; $\varphi = 37^\circ$.

4. По проекту в плотине предполагалось установить следующую контрольно-измерительную аппаратуру: пьезометры, пьезодинамометры, датчики давления в грунте, поверхностные марки, телескопические реперы.

5. Общий объем тела плотины 13,1 млн. м³.

26. ПЛОТИНА АКОСОМБО

Гана, р. Вольта, 1961—1966 гг. $H=112,5$ м; $b=12,3$ м; $L=640$ м



1—ядро из глины (50% менее 0,074 мм); 2—двухслойный фильтр (Г); 3—каменная наброска из мелкого камня ($d < 60$ см) (Г); 4—каменная наброска из более крупного камня (50% менее 15 см) (Г); 5—верховая и низовая перемычки; 6—аллювий; 7—противофильтрационная завеса; 8—кварциты

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов. В лабораторных условиях была получена плотность $\gamma_{ск} = 1,95$ т/м³ при $w_{опт} = 13\%$ (что составляло 95% от плотности по Проктору). Часть ядра на высоту 20 м от основания была уложена с плотностью 100% по Проктору при влажности выше оптимальной на 0,5%. Плотность остальной части составляла 95% от плотности по Проктору при влажности на 2% выше оптимальной. Повышенная влажность ядра считалась необходимой для уменьшения опасности возникновения трещин при неравномерных деформациях.

2. Фильтры укладывались слоями 0,45 м и уплотнялись 3,5-тонным виброкатком за четыре прохода.

3. Зона 3 упорных призм укладывалась слоями 0,9 м с уплотнением 3,5-тонным виброкатком за четыре прохода. Зона 4

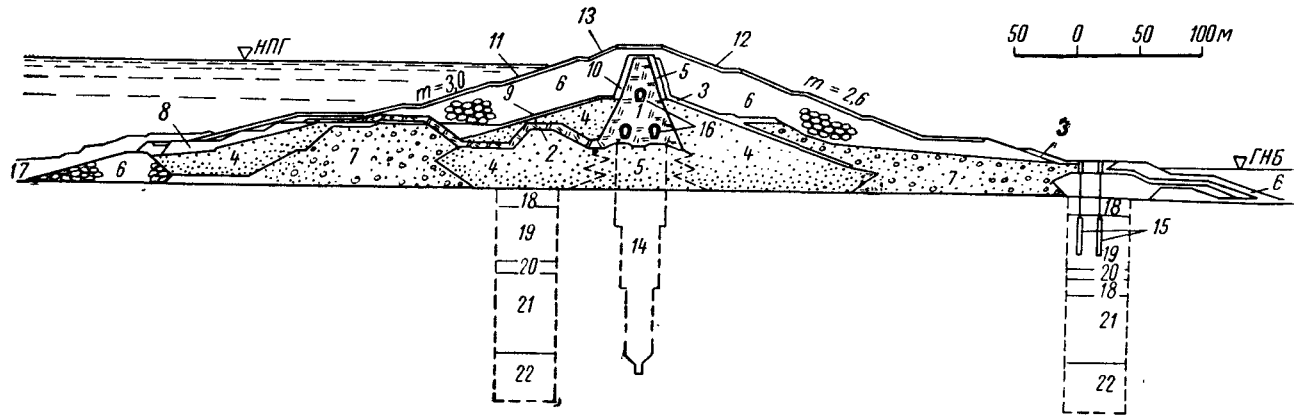
укладывалась либо слоями 0,9 м с механическим уплотнением, либо отсыпалась пионерно слоем 9 м. Выбор высоты слоя зависел от выхода камня в карьере. В первом случае расход воды на смачивание составлял 0,5 м³ и 1 м³ наброски, во втором (гидромонитор) — 2,5 м³.

4. В плотине установлена разнообразная контрольно-измерительная аппаратура, в том числе пьезометры, глубинные реперы и другие приборы для наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями тела плотины.

5. Устойчивость откосов плотины проверялась по методам круглоцилиндрических и плоских поверхностей сдвига. Сейсмическое ускорение было принято 0,15 g. Общий объем тела плотины 7,8 млн. м³. Стоимость гидроузла 187 млн. долларов.

27. ПЛОТИНА САДД-ЭЛЬ-ААЛИ

ОАР, р. Нил, 1960—1969 гг. $H=110$ м; $b=40$ м; $L=3600$ м; $B=980$ м



1, 2—ядро и понур из глины; 3—трехслойный фильтр (первый слой—крупнозернистый песок $d_{50}=1,1-1,6$ мм; второй слой—щебень 5—25 мм; третий слой щебень 40—150 мм); 4—дюнный песок; 5—крупнозернистый песок; 6—горная масса; 7—камень, замыйтый песком; 8—камень, замыйтый суглинком; 9—щебень; 10—каменная мелочь; 11—крупный камень; 12—каменная кладка; 13—мошенье камнем; 14—противофильтрационная завеса; 15—глубинный дренаж; 16—смотровые галереи; 17—отложения ила; 18—песок средне- и мелкозернистый; 19—песок среднезернистый; 20—песок средне- и крупнозернистый; 21—песок крупнозернистый глинистый; 22—переслаивание супесей, суглинков, песков и песчаников.

Ядро укладывалось слоями 0,30—0,45 м с уплотнением первоначально гусеничными тракторами и 10-тонными катками, а затем катками на пневмошинах весом 18—30 т при общем числе проходов 15—18; $\gamma_{ск}=1,85-1,90$ т/м³; $\omega=14-15\%$; $k_{ф}=10^{-5}-10^{-7}$ см/сек; $\varphi=16^{\circ}$, $c=0,6-0,7$ кг/см². На примыканиях к скале и по периметру бетонных галерей укладывалась пластичная глина слоями 0,2 м; $\omega=15-18\%$.

2. Так как нижние части каменных призм замывались песком, обратные фильтры были выполнены только около верхней части ядра, где упорные призмы не замывались. Фильтры укладывались слоями 0,4—0,5 м с разравниванием и уплотнением бульдозера-

ми. Часть объема фильтров укладывалась с помощью опалубки.

3. Нижние части упорных призм отсыпались из горной массы ярусами высотой до 35 м с ограниченным содержанием мелких фракций. Естественная рассортировка горной массы по высоте позволила осуществить замыв песком нижней части отсыпанной толщи. Верхние части упорных призм отсыпались пионерно из рядовой горной массы слоями 6—10 м с уплотнением струей воды из гидромонитора. Отдельные зоны отсыпались насухо слоями 2 м с уплотнением проходящими автосамосвалами.

4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры (закладные и опускаемые) (99 шт.), пьезодинамометры (54 шт.), грун-

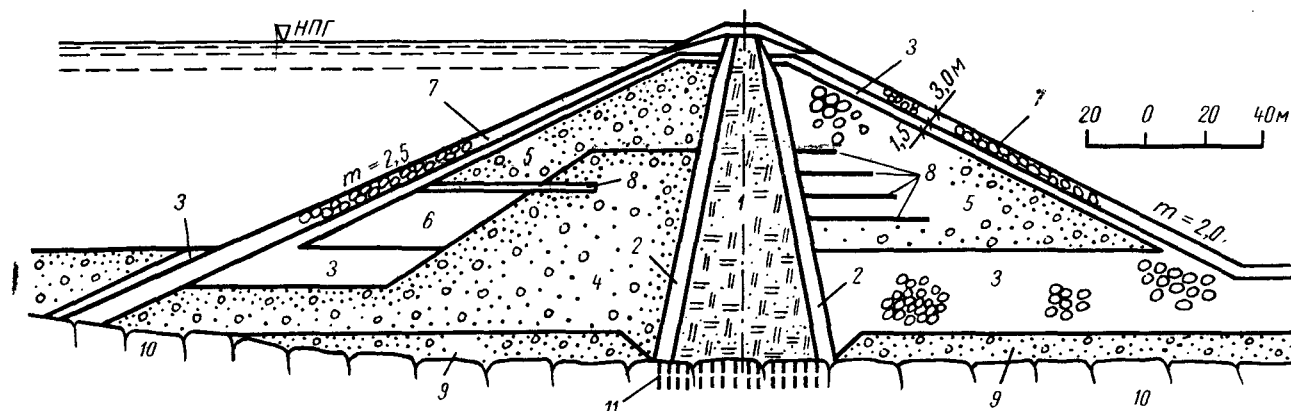
товые динамометры (45 шт.), измерители продольного и поперечного расширения ядра (32 шт.), шахта с отвесом (в ядре) (3 шт.), глубинные реперы (15 шт.); поверхностные реперы (46 шт.); плита-марка (3 шт.); плано-высотные марки (18 шт.).

5. Ядро возведено на 30-метровом слое уплотненного намывного песка и сопряжено с водоупорными отложениями посредством уникальной многоярусной противофильтрационной завесы,

прорезающей намывные уплотненные пески и всю толщу залегающих под ними аллювиальных отложений реки. Ширина завесы в верхней части 40 м, в нижней — 5 м. Общий объем тела плотины 41,4 млн. м³, в том числе: каменных насыпей 22,8 млн. м³, песчаных насыпей 13,8 млн. м³, насыпей из глины 3,7 млн. м³, фильтров 0,8 млн. м³. Объем закрепленного грунта в завесе 1,66 млн. м³ суммарная длина скважин инъекции 335 тыс. п. м.

28. ПЛОТИНА ШИМЕН

Китай, провинция Тайвань, р. Такекан Крик, 1957—1963 гг. $H=110$ м; $b=10$ м



1—ядро из супеси; 2—переходная зона из сортированного песчано-гравелистого грунта; 3—речной гравий; 4—речная галька и гравий; 5—галька, гравий террас; 6—иловая речная галька; 7—крепление булыжником; 8—дрены; 9—гравелисто-галечниковый аллювий; 10—трещиноватая скала (песчаник); 11—площадная цементация

1. Ядро укладывалось слоями 0,30 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов.

2. Переходные зоны укладывались тонкими слоями с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов.

3. Упорные призмы (зоны 3, 4, 5, 6) из древних террасовых и современных аллювиальных отложений укладывались слоями 0,4 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за

шесть — восемь проходов; $\gamma_{ск}=2,08-2,20$ т/м³; $\varphi=39-41^\circ$. Фракции галечников более 6,25 см составляли 50%; фракции крупнее 60 см — от 5 до 25%. Наиболее крупные фракции укладывали на верховой откос для крепления.

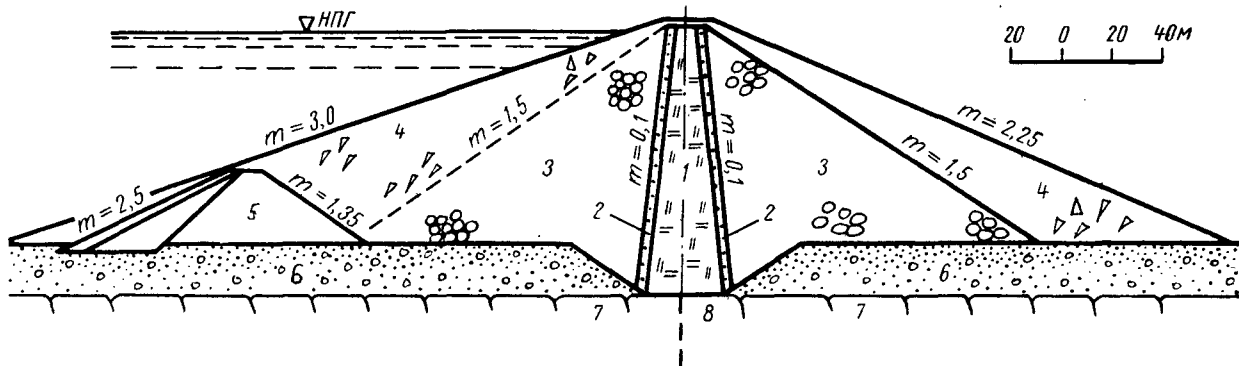
5. Террасовые галечники обладают меньшим удельным весом (примерно 2,55 т/м³) и большим содержанием пылеватых и песчаных фракций. При распределении материалов в упорные приз-

мы, террасовый галечник стремились укладывать на более высоких отметках и, в основании, в низовую призму. На строительстве были проведены опыты по определению угла внутреннего трения галечников на трехосных приборах. Опыты проводились для кон-

солидированных и неконсолидированных образцов по открытой и закрытой системам. Общий объем тела плотины 6,83 млн. м³. Стоимость гидроузла 80 млн. долларов.

29. ПЛОТИНА МАКИО

Япония, р. Отаки, 1957—1960 гг. $H=106$ м; $b=10$ м; $L=284$ м; $V=484$ м



1—ядро из вулканического пепла и брекчи андезита (Г); 2—переходная зона из песчано-гравийной смеси; 3—песчано-гравийно-галечниковая смесь; 4—каменная наброска из песка; 5—перемычка; 6—аллювий; 7—песчаники; 8—противофильтрационная завеса

1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с уплотнением кулачковым катком за шесть—восемь проходов; $\gamma_{ск} = 1,40$ т/м³; $w = 30\%$; $\varphi = 31^\circ$; $c = 0$; $k_{\phi} = 4 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-6}$ см/сек; $\gamma_{ск,ест} = 1,0 - 1,1$ т/м³. Грунт в карьере обладает большой влагоемкостью. Для образцов, содержащих частицы до 150 мм, влажность 35%; $W_T = 40 - 70\%$; $W_{пл} = 30 - 50\%$.

2. Фильтр (зона 2) из отсортированных аллювиальных отложений ($d < 200$ мм) укладывался слоями 0,2—0,3 м и уплотнялся одновременно с зоной 3 кулачковым катком за шесть—восемь проходов.

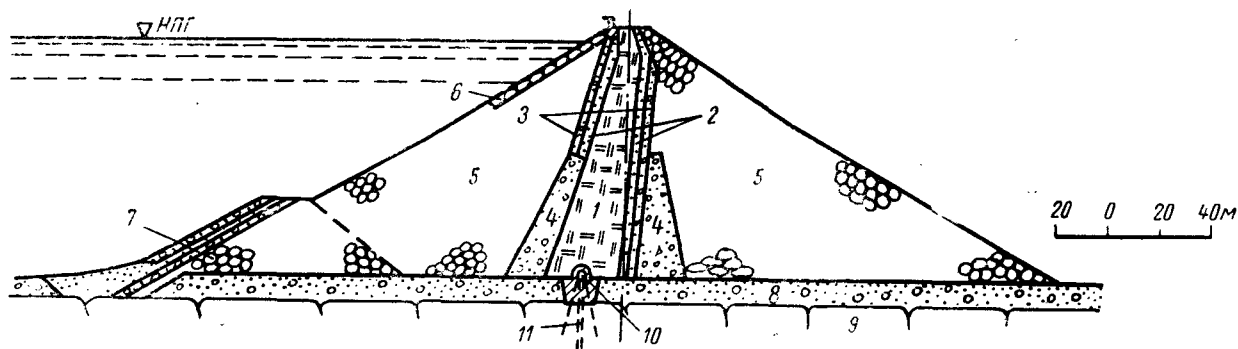
3. Зона 3 упорных призм из смеси песка, гравия, гальки, бу-

лыжника ($d < 600$ мм) укладывалась слоями 0,5—0,6 м с уплотнением катком на пневмошинах; $\gamma_{ск} = 2,20$ т/м³; $w = 5\%$; $\varphi = 41,7^\circ$; Зона 4 из песка отсыпана с верховой стороны без особых требований к высоте слоев и уплотнению. С низовой стороны слой 1,5—2,0 м с уплотнением проходящим транспортом; $\gamma_{ск} = 1,65$ т/м³; $\varphi = 45^\circ$.

5. Коэффициенты запаса на устойчивость откосов плотины (также с учетом сейсмичности при $g = 0,15$) для различных расчетных схем изменялись от 1,35 до 1,89 для верховой призмы и от 1,45 до 1,61 для низовой. Общий объем тела плотины 2,56 млн. м³.

30. ПЛОТИНА ТИКВЕШ

Югославия, р. Черная, 1968 г. $H=105$ м; $B=360$ м



1—ядро из глины; 2—песок; 3—гравий; 4—мелкий карьерный камень; 5—каменная наброска; 6—крепление крупным камнем; 7—перемычка; 8—аллювий; 9—скала, трещиноватая; 10—цементационная галерея; 11—противофильтрационная завеса

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением груженым автосамосвалом за 12 проходов; $\gamma_{ск} = 1,9$ т/м³; $n = 0,42$; $\varphi = 20^\circ$; $c = 0,2$ кг/см²; $k_{ф} = 10^{-6}$ см/сек. Объем ядра 0,193 млн. м³.

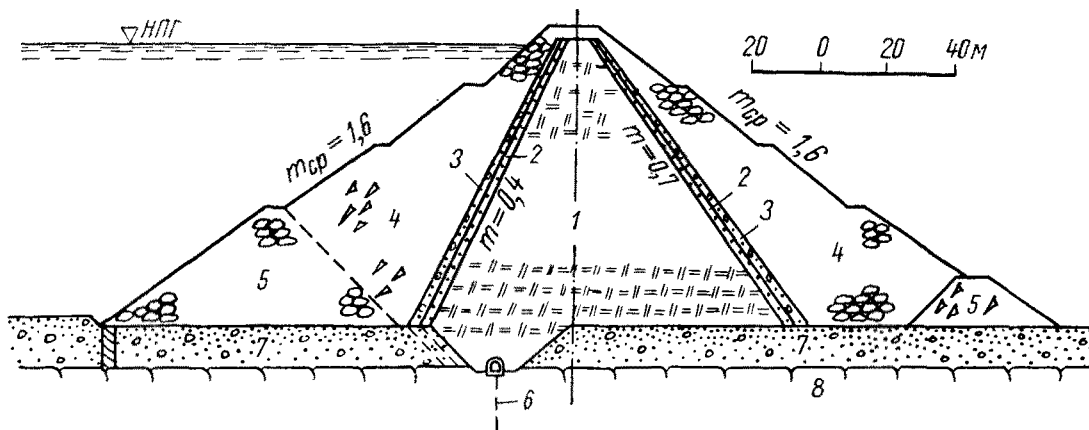
2. Фильтры укладывались слоями 0,5—0,6 м с уплотнением катком на пневмошинах. Объем фильтров 0,375 млн. м³.

3. Упорные призмы из горной массы укладывались слоями 1,5—2,0 м с уплотнением движущимся транспортом; $\varphi = 40^\circ$. Объем упорных призм 2,0 млн. м³.

5. Строительное превышение гребней плотины над проектной отметкой 1,9 м.

31. ПЛОТИНА ГЛОБОЧИЦА

Югославия, р. Черный Дрин. $H=102$ м; $b=7$ м; $L=196$ м; $B=250$ м



1—ядро из озерных глинистых отложений; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из галечника; 4—упорные призмы из каменной наброски; 5—перемычки; 6—противофильтрационная завеса глубиной 50 м; 7—аллювиальные отложения; 8—плитчатые известняки с прослойками глинистого сланца

1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с механическим уплотнением; $\gamma_{ск} = 1,86$ т/м³ при $\omega_{онт}$; $\varphi = 23^\circ$; $c = 0,08$ кг/см²; $k_{ф} = 10^{-6}$ см/сек для низового клина и 10^{-8} см/сек для верхового). Объем ядра 0,36 млн. м³.

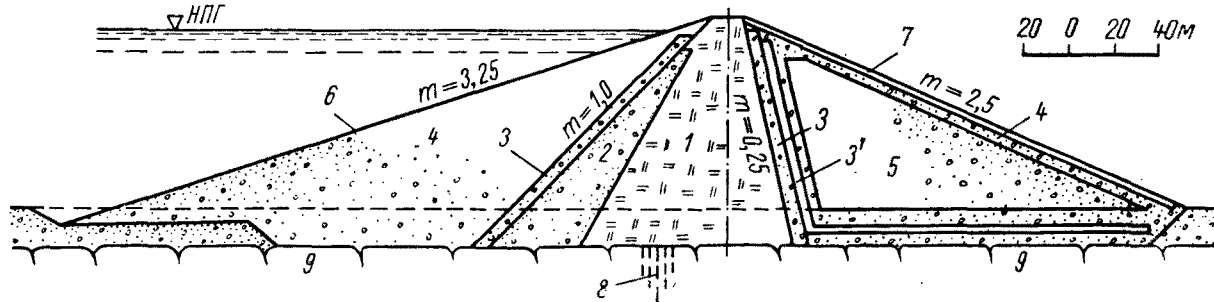
2. Фильтр укладывали слоями 0,3—0,4 м с уплотнением груженым транспортом. Объем фильтров 0,08 млн. м³.

3. Упорные призмы ($d_{макс} = 0,6$ м) отсыпались слоями 5 м с уплотнением струей воды из гидромонитора; $\gamma_{ск} = 1,85$ т/м³; $n = 36\%$; $\varphi = 45^\circ$. Объем упорных призм 0,55 млн. м³.

5. Строительное превышение гребня плотины над проектной отметкой 1,0 м. Общий объем тела плотины 0,945 млн. м³.

32. ПЛОТИНА КАСТЭЙК

США, р. Кастэйк, (строится). $H=102$ м; $b=12,2$ м; $L=1586$ м; $V=670$ м



1—ядро из глинистых сланцев (продуктов выветривания) ($d < 15$ см, 60% менее 4,75 мм); 2—выветрелый материал из полезных выемок; 3 и 3'—обогатенный речной песок и гравий (Г); 4—речной песок и гравий (Г); 5—пески и гравий из полезных выемок, песчаник ($d < 25$ см); 6—грунтоцементное покрытие из смеси цемента и грунта (8% по весу) толщиной 0,6 м; 7—крепление крупным камнем; 8—противофильтрационная завеса; 9—песчаники

1. Ядро укладывается слоями 0,15 м (после укатки) с уплотнением кулачковым катком за 12 проходов.

2. Переходные зоны (зоны 2 и 3) укладываются слоями 0,3 м (после укатки) с уплотнением трехвальцовым виброкатком. Зона 3' укладывается слоем 0,6 м с тем же уплотнением.

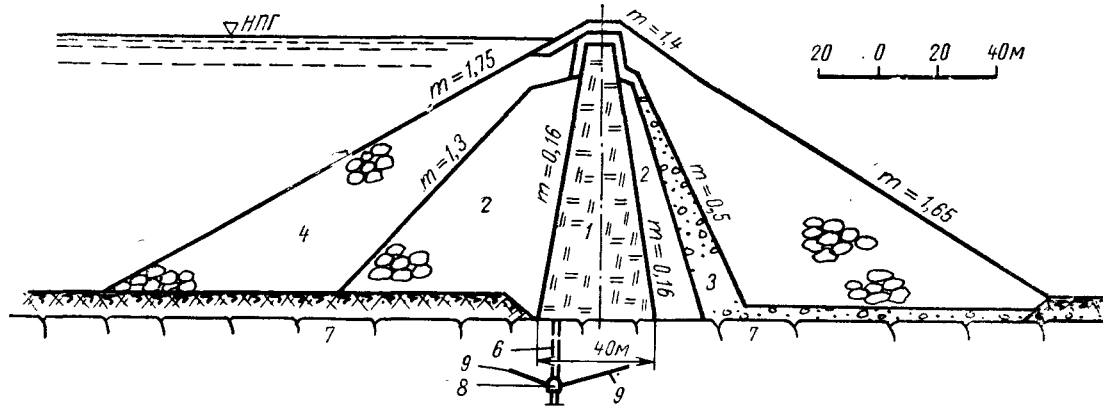
3. Зона 4 упорных призм укладывается слоями 0,38 м (после укатки) с уплотнением виброкатком. Зона 5— укладывается слоями 0,25 м с уплотнением катком на пневмошинах за четыре прохода.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы (прямая

лопата и драглайн с ковшом емкостью 10 м³ (2 шт.); скреперы емкостью 33,6—38,0 м³ (35 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 30 т и 65 т (22 шт.); автотележки грузоподъемностью 75 т (6 шт.); бульдозеры пневмоколесные (5 шт.); ковшовые погрузчики емкостью 1,9 м³; 4,2 м³; 11,4 м³ (10 шт.); виброкатки (в сцепе 3 катка) 3 шт.; кулачковые катки (4 шт.). Погрузка материалов в основном осуществлялась ковшовыми погрузчиками емкостью 11,4 м³, а также драглайном с ковшом 10 м³. Стоимость гидроузла 43,4 млн. долларов.

33. ПЛОТИНА МЕССАУРЕ

Швеция, р. Стора Луле Эльв, 1957—1962 гг. $H=101$ м; $b=8$ м; $L=1900$ м



1—ядро из морены (10% менее 0,006 мм; 20% менее 0,076 мм); 2—переходные зоны из моренного песка; 3—дренаж из гравия и мелкого камня; 4—песчано-гравелистый грунт со значительным содержанием камня; 5—каменная наброска из горной массы (граниты); 6—противофильтрационная завеса; 7—граниты, прикрытые рыхлыми моренными отложениями; 8—инспекционный туннель; 9—скважины для никлиметров

1. Ядро в нижней части укладывалось слоями 0,25 м при оптимальной влажности с уплотнением кулачковым катком ($d_{\text{макс}}=100$ мм). Верхняя часть укладывалась шведским мокрым методом, допускающим превышение влажности до 4% выше оптимальной, с уплотнением тракторами; $k_{\phi}=5 \cdot 10^{-6}$ см/сек.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах до 95—97% от плотности по Проктору.

3. Верховая упорная призма (зона 4) укладывалась слоями 1,0—1,5 м с поливом водой и уплотнением трактором. Низовая упорная призма (зона 5) отсыпалась слоями 10—15 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски).

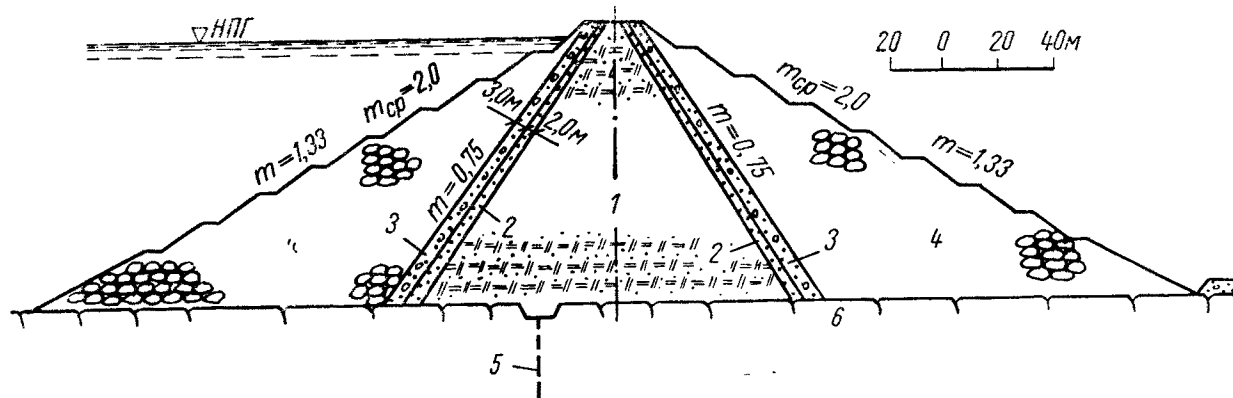
4. Контрольно-измерительная аппаратура: никлиметры (5 шт.); глубинные реперы (14 шт.); пьезометры (72 шт.); пьезо-

динамометры, грунтовые динометры (15 шт.); поверхностные марки и реперы. Строительная осадка нижней части ядра 0,5—1,5% от высоты плотины, а с учетом осадки основания 1—7%. Строительная осадка каменной наброски 3%. Через год после возведения: осадка гребня составила 0,05% от высоты плотины; осадка низовой упорной призмы 0,2—0,3% (на 1/2 высоты низового откоса).

5. Укладка камня в упорные призмы в зимний период разрешалась только в те зоны плотины, где будущая осадка не могла повлиять на устойчивость сооружения (не ближе, чем на 5—10 м от переходного слоя). Цементационная завеса была выполнена из инспекционного туннеля, заложенного на глубине 20—30 м от кровли скалы. Наблюдения за разбуханием основания проводились из того же туннеля с помощью никлиметров. Общий объем тела плотины 10 млн. м³.

34. ПЛОТИНА ЧЕРРИ-ВЭЛЛИ

США, р. Черри, 1951—1955 гг. $H=100$ м; $b=12,2$ м; $L=794$ м; $B=403$ м



1—ядро из илистого песка; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из гравия; 4—каменная наброска из горной массы (гранодиорит); 5—противофильтрационная завеса; 6—выветрелые граниты

1. Ядро укладывалось слоями $0,25$ м с уплотнением 35-тонным кулачковым катком за 12 проходов; $\gamma_{ск}=1,69$ т/м³; $\varphi=27^\circ$; $c=0$; $k_{ф}=3 \cdot 10^{-6}$ см/сек.

2. Фильтры укладывались слоями $0,3$ м с уплотнением гусеничным трактором.

3. Упорные призмы отсыпались слоями $5-9$ м с уплотнением струей воды из гидромонитора; $\gamma_{ск}=1,76$ т/м³; $\varphi=45^\circ$. Горная масса отсыпалась на бровку откоса и ставливалась под откос бульдозерами.

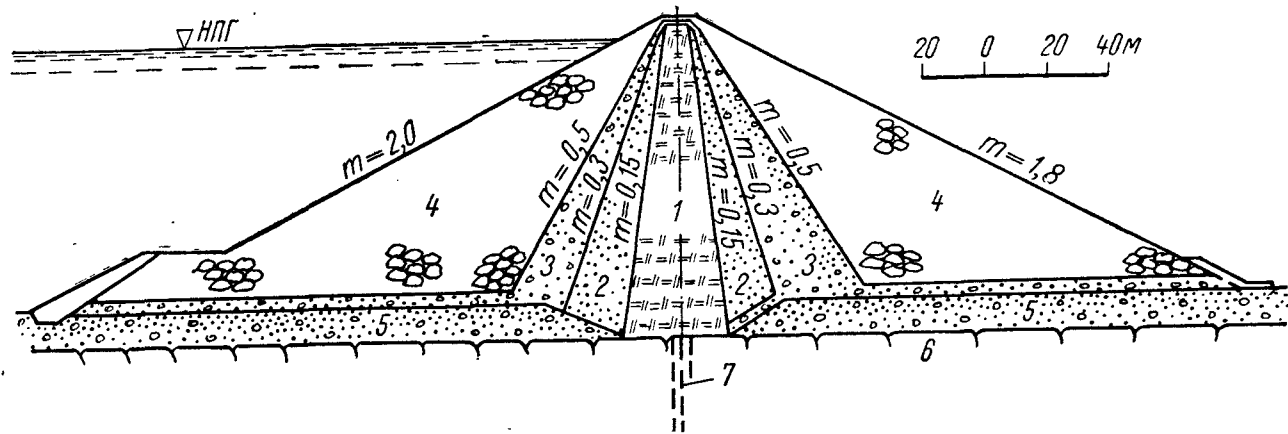
4. По данным натуральных наблюдений максимальная осадка гребня через два года после окончания строительства составила $13,7$ см ($0,14\%$); через три года — 19 см. Максимальное горизон-

тальное смещение через два года — $15,2$ см ($0,16\%$). Максимальная осадка призм через два года составила $60,8$ см. После первого напоянения на гребне плотины были замечены продольные трещины шириной до $0,6$ см, длиной $7-12$ м, глубиной до $0,4$ м.

5. Каменный карьер разрабатывался уступами по 9 м; скважины $d=100$ мм бурились по сетке $3,5 \times 3,5$ м. Взрывание велось с замедлением. Максимальная суточная производительность по отсыпке камня $10,64$ тыс. м³; средняя производительность $5,47$ тыс. м³. Грунт ядра доставлялся скреперами. Максимальная суточная производительность по отсыпке ядра достигала $17,7$ тыс. м³. Стоимость плотины составила $7,2$ млн. долларов.

35. ПЛОТИНА ЗЕЙТЕВАРЕ

Швеция, р. Стора Луле Эльв, 1967 г. $H=100$ м; $b=12$ м.



1—ядро из суглинка; 2—песок; 3—гравийно-песчаная смесь; 4—каменная наброска; 5—аллювий; 6—скала; 7—противофильтрационная завеса, трехрядная, глубиной 25 м, 12 м и 6 м

1. Ядро укладывалось слоями 0,5 м с уплотнением катком на пневмошинах за четыре прохода.

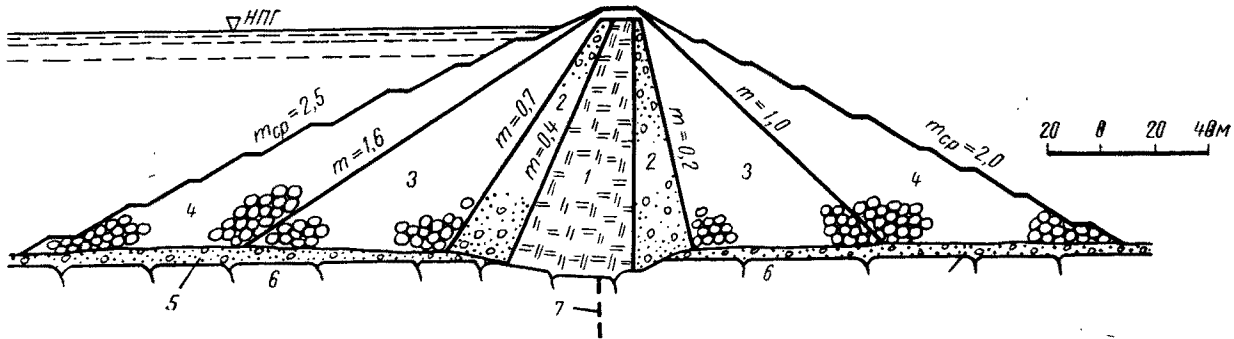
2. Первый слой переходной зоны (зона 2) укладывался слоями 0,5 м. Второй слой (зона 3) — слоями 1,0 м. При укладке материал увлажнялся; уплотнение проводилось за четыре прохода виброкатка.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 2 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 5 м³ на 1 м³ каменной наброски).

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 3—5 м³ (4 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 10—45 т (12 шт.); гусеничные тракторы (12 шт.); виброкатки (6 шт.); гидромониторы (2 шт.). Горная масса была получена из полезных выемок (1,0 млн. м³) и из карьера (1,5 млн. м³). Средняя часовая производительность по отсыпке плотины 1150 м³. Общий объем тела плотины 4,9 млн. м³. Стоимость гидроузла 274 млн. шведских крон.

36. ПЛОТИНА КАДЖАКАЙ

Афганистан, р. Хелманд, 1952—1954 гг. $H=97,6$ м; $h=12$ м; $L=275$ м; $B=460$ м



1—ядро из смеси глины, песка, гравия ($d_{\text{макс}}=100$ мм); 2—песчано-гравелистый грунт; 3—гравий; 4—каменная наброска из прочного известняка; 5—аллювий; 6—доломитизированный известняк; 7—противофильтрационная завеса

1. Ядро уплотнялось до плотности, равной 98% от плотности по Проктору. Влажность при укладке была на 2—4% ниже оптимальной. Характеристики ядра: $\varphi=17^\circ$; $c=1,5$ кг/см²; $k_{\varphi}=1 \cdot 10^{-4}$ см/сек.

2. Переходные зоны уплотнялись до плотности, равной 95% от плотности по Проктору. Характеристики переходных зон: $\varphi=34^\circ$; $k_{\varphi}=4 \cdot 10^{-2}$ см/сек.

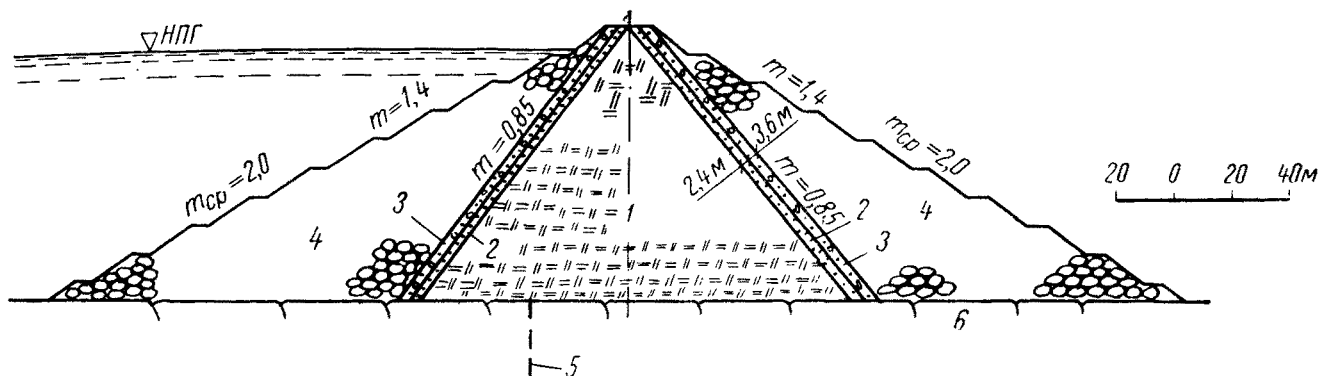
3. Упорные призмы отсыпались слоями 10 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски).

4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, пьезодинамометры, грунтовые динамометры, поверхностные марки и реперы. По данным натурных наблюдений осадка ядра после трех лет эксплуатации составила 5 см. Через пять лет осадка достигла 5,9 см (0,06% от высоты плотины). Горизонтальное смещение в сторону НБ через три года составило 1,8 см, через пять лет — 2,0 см (0,02% от высоты плотины).

5. Плотина построена за 20 рабочих месяцев со средней месячной интенсивностью отсыпки 287 тыс. м³. Общий объем тела плотины 3,3 млн. м³. Стоимость плотины 12,5 млн. долларов.

37. ПЛОТИНА УАТАУГА

США, р. Уатауга, 1947—1948 гг. $H=97$ м; $b=9,6$ м; $L=274$ м; $V=384$ м



1—ядро из супесей и тонких глин; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—упорные призмы из каменной наброски (кварциты); 5—противофильтрационная завеса; 6—кварциты

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск}=1,92-2,08$ т/м³; $\varphi=30^\circ$; $c=0$. Объем ядра и фильтров 1,125 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 9 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски). Угол внутреннего трения наброски $\varphi=45^\circ$. Объем упорных призм 1,53 млн. м³.

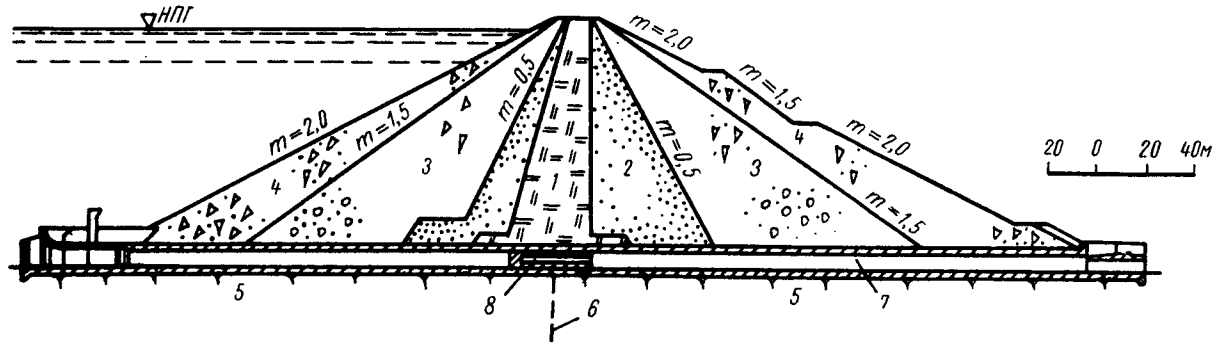
4. По данным натурных наблюдений осадка ядра в макси-

мальном сечении распределялась по годам следующим образом: через два года — 0,48%, через четыре года — 0,6%, через шесть лет — 0,7%, через восемь лет — 0,81% от высоты плотины. Горизонтальное смещение ядра незначительно. Наблюдения за перемещением упорных призм не велись.

5. Расчет устойчивости откосов плотины проводился по методу круглоцилиндрических поверхностей сдвига. Упорные призмы осели значительно больше, чем ядро, что привело к образованию тонких продольных трещин на гребне плотины. Трещины были залечены и более не наблюдались.

38. ПЛОТИНА ЭСТРЕЙТО

Бразилия, р. Рио Гранде, 1968 г., $H=97$ м, $b=10$ м, $L=500$ м



1—ядро из мелких неоднородных супесей (17% < 0,002 мм; 28% < 0,02 мм); 2—переходные зоны из мелко- и среднезернистых песков (20% < 0,84 мм); 3—наброска камня из полезных выемок (25% < 0,84 мм); 4—наброска карьерного камня (кварцитов, сланцев) (30% < 2,5 см); 5—кварцевые сланцы и кварциты; 6—противофильтрационная завеса; 7—строительный водовод; 8—бетонная пробка

1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с уплотнением 40-тонным катком на пневмошинах; $\gamma_{ск. ср} = 1,84$ т/м³. Грунт ядра характеризуется низкой пластичностью и малым сцеплением. Допускается отклонение влажности от оптимальной: от -0,5% до +1,5%. Объем ядра 0,58 млн. м³.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,3 м с уплотнением 40-тонным катком на пневмошинах за два прохода; $\gamma_{ск} = 1,94$ т/м³

3. Зона 3 упорных призм укладывалась слоями 0,5 м из гру-

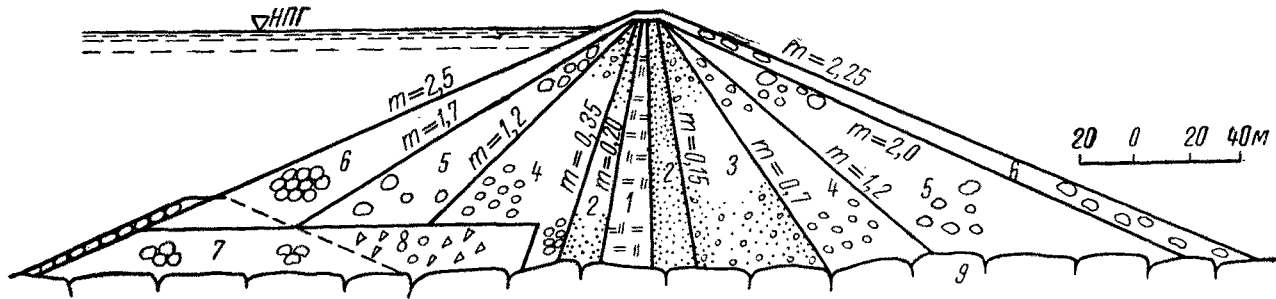
бообмолоченного материала с уплотнением трактором за два прохода, $\gamma_{ск} = 2,02$ т/м³; зона 4—слоями 0,6 м с тем же уплотнением, $\gamma_{ск} = 1,90$ т/м³.

4. После одного года эксплуатации осадка гребня в максимальном сечении составила 42 мм, горизонтальное смещение в сторону НБ 35 мм; перемещение вдоль оси плотины в сторону левого берега 4 мм.

5. При возведении плотины максимально использовался камень из полезных выемок. Общий объем тела плотины 5,92 млн. м³.

39. ПЛОТИНА БЛУ-РИВЕР

США, р. Манензи (строится). $H=91,5$ м; $L=386$ м; $B=375$ м



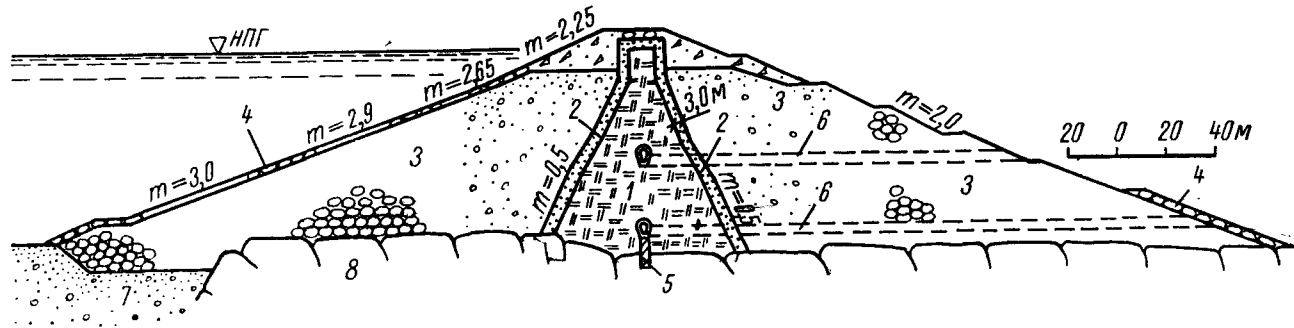
1—ядро из суглинка; 2—песок; 3—песок и гравий; 4—гравий; 5—гравий и булыжник с крупными камнями; 6—булыжник и крупные камни; 7—верховая перемычка; 8—рваный камень; 9—скала

1. Ядро укладывается слоями 0,3 м с уплотнением 45-тонным катком на пневмошинах. Объем ядра 0,25 млн. м³.
2. Переходные зоны укладываются с уплотнением самоходным виброкатком. Объем переходных зон 3,06 млн. м³.
3. Упорные призмы укладываются с уплотнением самоходным виброкатком. Объем упорных призм 0,49 млн. м³.
5. Камениый материал, получаемый в карьерах, проходит

сортировку и обогащение. Обогащительная установка имеет точную производительность 2200 м³. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 1,9 м³ и 9,2 м³ (2 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 32, 45 т (13 шт.); автотележки грузоподъемностью 108 т (8 шт.); колесные погрузчики (3 шт.); тракторы (11 шт.); пневмокоток и виброкоток.

40. ПЛОТИНА МАРМОРЕРА

Швейцария, р. Юлия, 1950—1954 гг. $H=91$ м; $b=12$ м; $L=400$ м; $V=440$ м



1—ядро из морены (Г); 2—фильтр из песка (Г); 3—каменная наброска из горной массы (Г); 4—наброска крупного камня; 5—бетонная стенка; 6—инспекционные галереи; 7—аллювиальные отложения; 8—скала

1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с уплотнением 20-тонным кулачковым катком за 12 проходов. Камни более 12 см удалялись. Характеристики грунта ядра: $\omega=9\%$; $k_{\phi}=10^{-6} \div 10^{-7}$ см/сек. Объем ядра 0,5 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,20 м с уплотнением 20-тонным кулачковым катком за шесть—восемь проходов: $k_{\phi}=10^{-4} \div 10^{-5}$ см/сек. Объем фильтров 0,1 млн. м³.

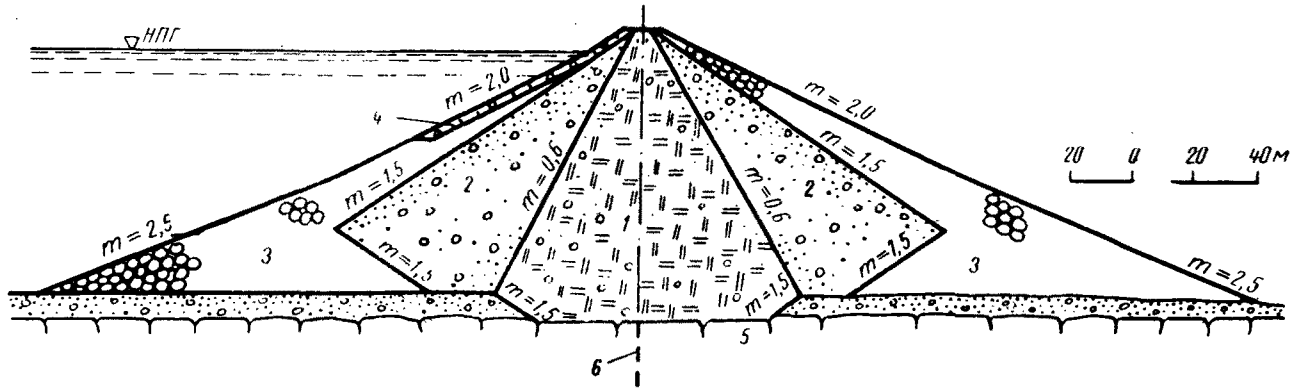
3. Упорные призмы укладывались слоям 1,0 м. Камни более 30 см убирались. Объем упорных призм 2,1 млн. м³.

4. По данным натуральных наблюдений осадка гребня за полтора года после окончания строительства составила 17 см.

5. Максимальная сменная производительность по всем видам насыпи 10 тыс. м³.

41. ПЛОТИНА БЛУ-МЕЗА

США, р. Ганнисон, 1962—1966 гг. $H=91$ м; $b=9$ м; $L=255$ м



1—ядро из смеси глины, песка, гравия; 2—переходная зона из песка и гравия; 3—каменная наброска из прочной скалы (камни объемом до $0,7$ м³); 4—крепление крупным камнем; 5—прочная скала (биотитовый кварц, гнейсы, слюдяные кварциты), 6—противофильтрационная завеса

1. Ядро укладывалось слоями $0,15$ м с уплотнением кулачковым катком за 12 проходов. Грунт для ядра получали из трех карьеров. Плотность грунта из этих карьеров при укладке составляла $1,75$; $1,71$ и $1,705$ т/м³, что соответствовало требуемой величине плотности, равной 95% по Проктору. Плотность и влажность определялись из расчета одна проба на 1500 м³ грунта.

2. Переходные зоны укладывались слоями $0,3$ м с уплотнением катком на пневмошинах за двенадцать проходов. Получен-

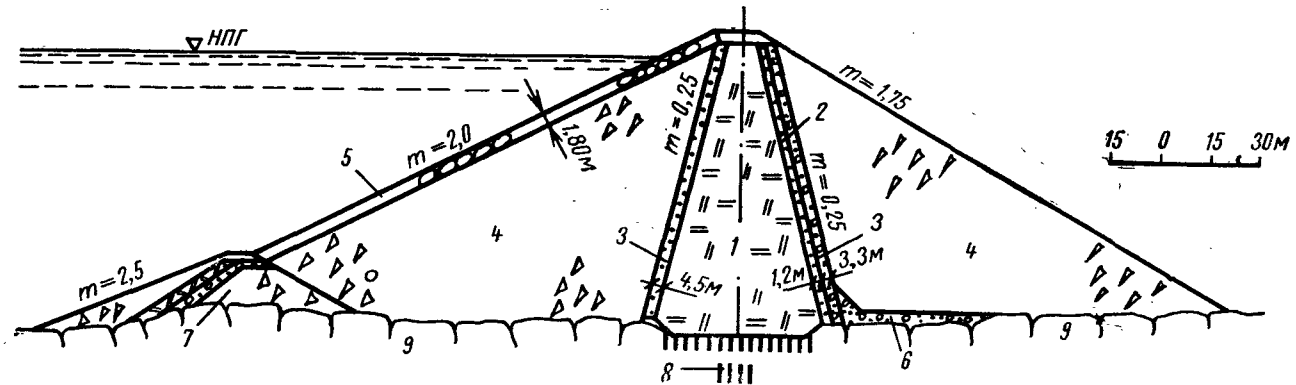
ная при укатке плотность составляла 90—96% от плотности по Проктору.

3. Упорные призмы укладывались слоями $0,9$ м с уплотнением проходящим транспортом.

5. Общий объем тела плотины $2,26$ млн. м³. Средняя стоимость 1 м³ насыпи составляла $1,6$ доллара.

42. ПЛОТИНА ЛИН БРАЙАН

Англия, р. Тоун (строится). $H=90$ м; $b=9,0$ м



1—ядро из валунной глины (Г); 2—первый слой фильтра из песка (Г); 3—второй слой фильтра из гравийной смеси (Г); 4—каменная наброска из горной массы (Г); 5—крепление крупным камнем; 6—дренаж; 7—верховая перемычка; 8—противофильтрационная завеса; 9—аргиллиты с прослойками известняка

1. Ядро укладывается слоями 0,20 м с уплотнением 8,5-тонным виброкатком. Глина содержит большое количество валунов. Лабораторные испытания показали, что плотность достигает величины $\gamma_{ск}=2,24$ т/м³ при $\omega_{опт}=14\%$.

2. Переходные зоны укладываются слоями 0,3 м с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за три—четыре прохода.

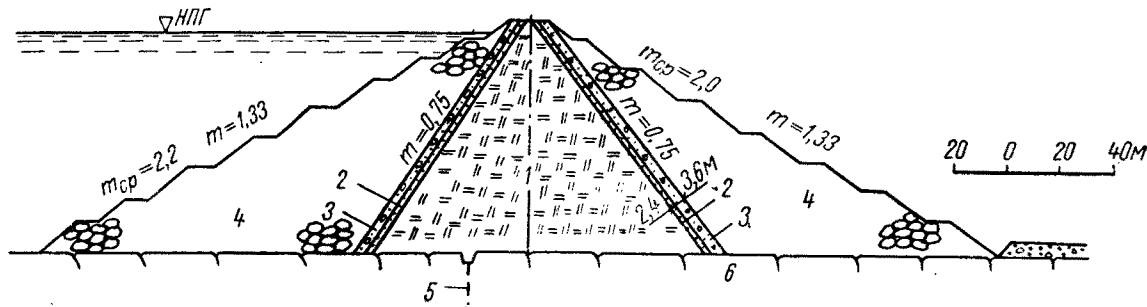
3. Упорные призмы укладываются слоями 0,9 м с увлажнением и уплотняются 8,5-тонным виброкатком за четыре прохода. Угол внутреннего трения $\varphi=44^\circ$.

4. Предполагается установить в плотине большое количество контрольно-измерительной аппаратуры.

5. На строительстве были проведены опытные работы по уплотнению каменной наброски. Угол внутреннего трения определен с помощью прибора трехосного сжатия на образцах диаметром до 30 см. Стоимость гидроузла 12,7 млн. англ. фунтов. Стоимость плотины 3,5 млн. англ. фунтов. Окончание намечено на 1972 г.

43. ПЛОТИНА САУТС ХОЛСТОН

США, р. Холстон, 1948—1950 гг. $H=86,5$ м; $b=12,2$ м; $L=486$ м; $B=485$ м



1—ядро из глины; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—наброска из горной массы (песчаник с примесью сланцев); 5—противофильтрационная завеса; 6—выветрелая скала

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск}=1,92-2,08$ т/м³; $\varphi=23^\circ$.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 9 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски). Для верховой упорной призмы $\varphi=40^\circ$, для нижней $\varphi=45^\circ$.

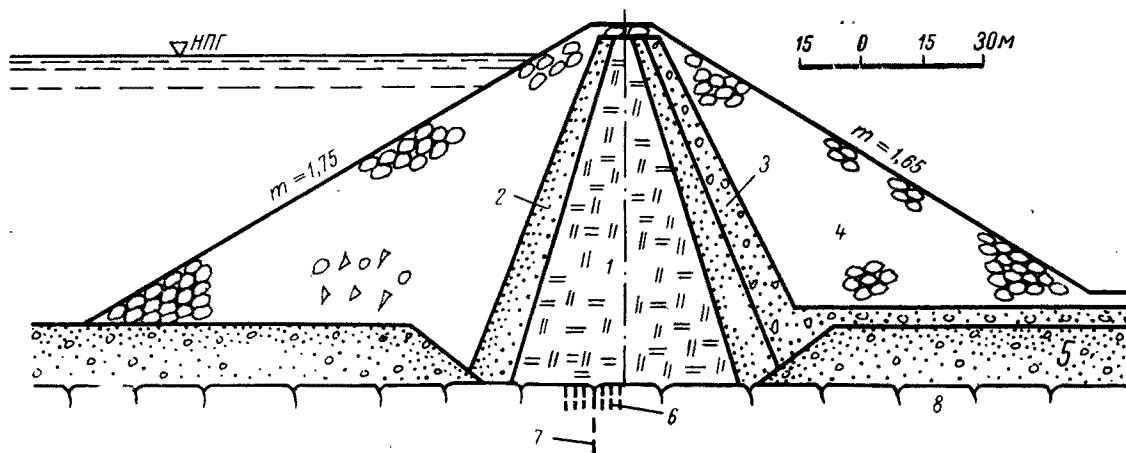
4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины после двух лет эксплуатации составила 0,7% от высоты плотины;

через четыре года — 0,88%; через шесть лет — 1%. При первом наполнении водохранилища гребень плотины сместился в сторону ВВ на 7,5 см. При последующих наполнениях и опорожнениях гребень смещался в обе стороны, в целом, оставаясь смещенным в сторону ВВ на 5—7 см.

5. Расчет устойчивости плотины проводился по методу круглоцилиндрических поверхностей сдвига. В результате того, что упорные призмы осели больше, чем ядро, на гребне плотины возникли небольшие продольные трещины, которые были впоследствии залечены. Общий объем тела плотины 4,5 млн. м³.

44. ПЛОТИНА ЛЕТСИ

Швеция, р. Стора Луле Эльв, 1960—1967 гг. $H=85$ м; $L=520$ м



1—ядро из морены; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—каменная наброска из горной массы; 5—морена с булыжником; 6—площадная цементация; 7—противофильтрационная завеса; 8—прочный гранит

1. Ядро укладывалось слоями 0,27 м с уплотнением 3,5-тонным виброткатком. Плотность ядра составляла 95% и выше от плотности по Проктору. Влажность $w=7-8\%$. В дождливый сезон применялся метод шведской мокрой укладки. При этом морена укладывалась слоями 0,30—0,38 м с уплотнением бульдозером. Плотность составляла 85—90% от плотности по Проктору; $k_{\phi}=10^{-6}$ см/сек. Контроль плотности ядра осуществлялся плотномером с использованием радиоактивных изотопов. Булыжники размерами более 22 см убиралась.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,5 м с уплотнением 3,5-тонным виброткатком. В зимнее время толщина слоя принималась 0,22 м и уплотнялась кулачковым виброткатком.

3. Упорные призмы укладывались слоями 1 м с уплотнением тяжелыми тракторами и полным водой из расчета 8—10 м³ воды на 1 м³ каменной наброски. В зимнее время камень укладывался только во внешние зоны упорных призм слоями толщиной 2 м с уплотнением тяжелыми тракторами. Снег, лед удалялись.

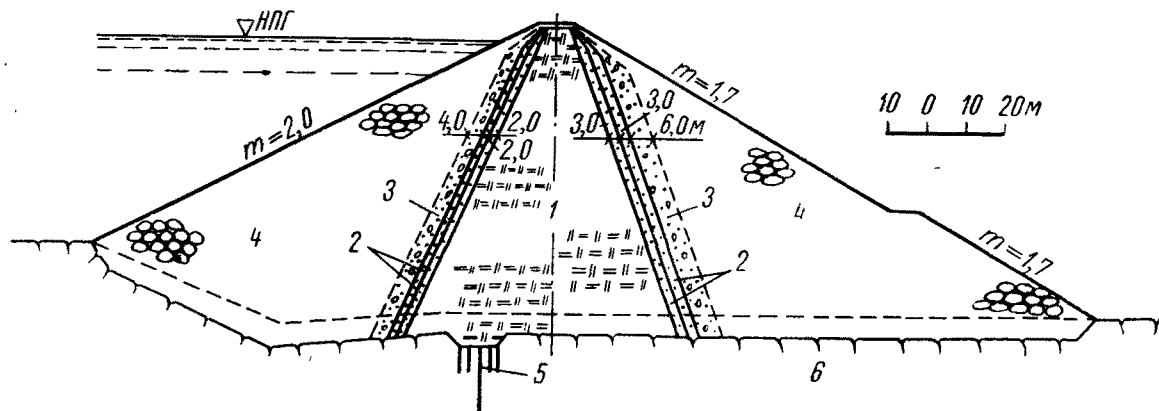
4. Плотина оснащена большим количеством контрольно-измерительной аппаратуры, в частности, для измерения осадок и горизонтальных смещений в ядре и в упорных призмах. В плотине применен инклинометр новой конструкции с точностью измерения 0,05°.

5. Плотина расположена недалеко от Полярного круга. На строительстве получили дальнейшее развитие методы зимней укладки грунтов. Так, камень не разрешалось укладывать в один зимний сезон по высоте более, чем на 15—20 м. Запрещалось отсыпать камень на ту часть наброски, которая отсыпана в зим-

нее время, до тех пор, пока последняя не оттаяет. Поливка водой (8—10 м³ на 1 м³) разрешалась только после оттаивания. Камень для упорных призм плотины был получен целиком из полезных выемок. Общий объем плотины 2,28 млн. м³. Стоимость плотины 16 млн. англ. фунтов.

45. ПЛОТИНА КОЗАН

Турция, р. Килген (строится). $H=82,5$ м; $b=10$ м; $L=289$ м; $V=280$ м



1—ядро из глины; 2—первый и второй слои фильтра; 3—третий слой фильтра; 4—каменная наброска; 5—противофильтрационная завеса; 6—известняки

1. Ядро из тонких глин. Скала на контакте с ядром покрывается цементным раствором.

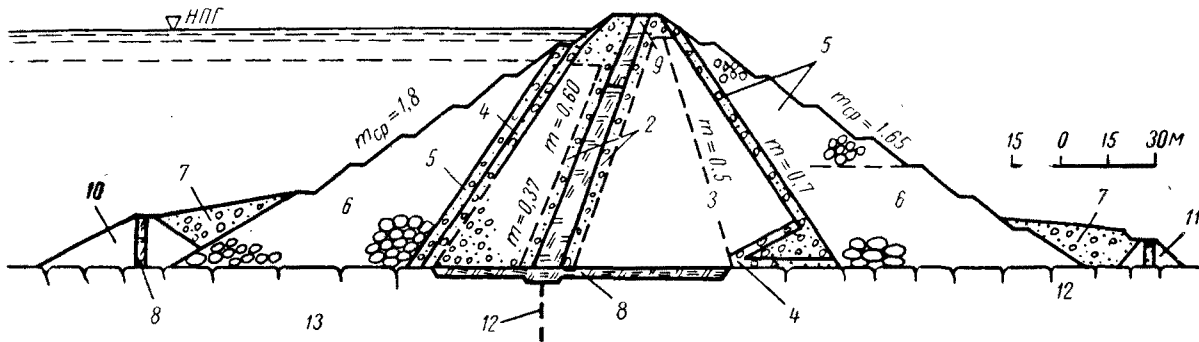
2. Фильтры из аллювиальных отложений и искусственного материала, полученного дроблением известняков.

3. Упорные призмы из горной массы (известняк) укладываются слоями 0,9 м с механическим уплотнением.

4. Общий объем плотины 1,195 млн. м³. Общая стоимость гидроузла составляет 60 млн. лир (турецких).

46. ПЛОТИНА КОКИН БРОД

Югославия, р. Урвау, 1957—1962 гг. $H=81$ м; $b=7$ м; $L=200$ м; $B=278$ м



1—ядро из песчанистой глины; 2—выветрелые известняковые сланцы; 3—наброска из известняковых сланцев; 4—гравийная смесь; 5—выветрелый известняк (Г); 6—наброска из известняка (Г); 7—рядовой камень; 8—глина; 9—мергельстая глина; 10—верховая перемычка; 11—низовая перемычка; 12—противофильтрационная завеса; 13—известняковые сланцы

1. Ядро укладывалось слоями 0,2—0,3 м с уплотнением кувалочковым катком за 8 проходов. Объем ядра 0,353 млн. м³.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,45 м с поливом водой и уплотнением 40—45-тонными катками на пневмошинах; $\gamma_{ск. ср} = 2,21$ т/м³; $k_{ф ср} = 3,3 \cdot 10^{-2}$ см/сек. Объем переходных зон 0,8 млн. м³.

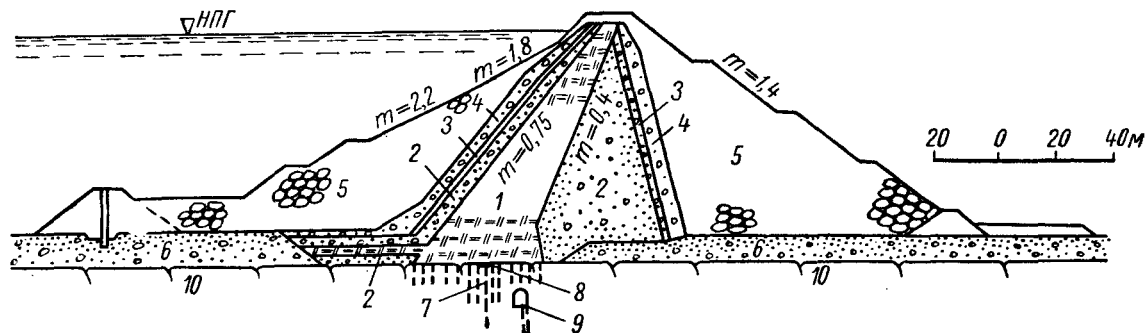
3. Низовая упорная призма укладывалась слоями 1,0 м с уплотнением груженым транспортом. Верховая упорная призма отсыпалась слоями 5 м с поливом водой (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением также груженым транспортом. Из-за наличия в камне глинистых прослоек были введены ограничения по крупности камня (фракции менее 100 мм

не более 5%; 200 мм—до 15%). Объем упорных призм 1,24 млн. м³.

5. На строительстве проводились исследования по определению величины угла внутреннего трения известняков. Для фракций крупностью менее 60 мм получено: на приборе плоского сдвига при $\gamma_{ск} = 2,0$ т/м³; $\varphi = 38^\circ 30'$; $c = 0,56$ кг/см²; на приборе трехосного сжатия при $\gamma_{ск} = 2,05$ —2,17 т/м³ и $\varphi = 34$ —41°, $c = 0$ —0,25 кг/см². Для фракций с максимальной крупностью 50 и 90 мм на приборе плоского сдвига $\varphi = 40^\circ 20'$ и $43^\circ 30'$, $c = 0$; на приборе трехосного сжатия при крупности 8 и 15 мм $\varphi = 40^\circ$ и 42° , $c = 0$. Общий объем тела плотины 2,305 млн. м³. Стоимость 1 м³ каменной наброски оказалась на полтора раза выше стоимости 1 м³ материала ядра.

47. ПЛОТИНА ХОЛЬЕС

Швеция, р. Клар Эльв, 1959—1962 гг. $H=81$ м; $L=400$ м



1—ядро из морены (Г); 2—первый слой фильтра из песчано-гравелистого грунта (Г); 3—второй слой фильтра из дробленого камня; 4—третий слой фильтра из щебня ($d=8-65$ мм) (Г); 5—каменная наброска из горной массы (Г); 6—аллювиальные отложения; 7—противофильтрационная завеса; 8—бетонная плита; 9—дренажная галерея; 10—кварцевый порфир

1. Ядро укладывалось в нижней части слоями $0,3$ м ($d_{\max} = 15$ см) с уплотнением 3-тонным виброкатком за восемь проходов; в верхней части слоями $0,5$ м ($d_{\max} = 30$ см) с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за десять проходов. Плотность ядра составляла при укладке 97—98% от плотности по Проктору: $w = 6-10\%$; $k_{\phi} = 1 \cdot 10^{-6}$ см/сек.

2. Первый слой фильтра укладывался слоями $0,4$ м с уплотнением 3-тонным виброкатком за восемь проходов. Второй — слоями $0,3$ м с уплотнением 3-тонным виброкатком также за восемь проходов. Среднее значение плотности получилось около 95% от плотности по Проктору.

3. Упорные призмы вблизи переходных зон укладывались слоями 2 м с поливом водой и уплотнением движущимся транс-

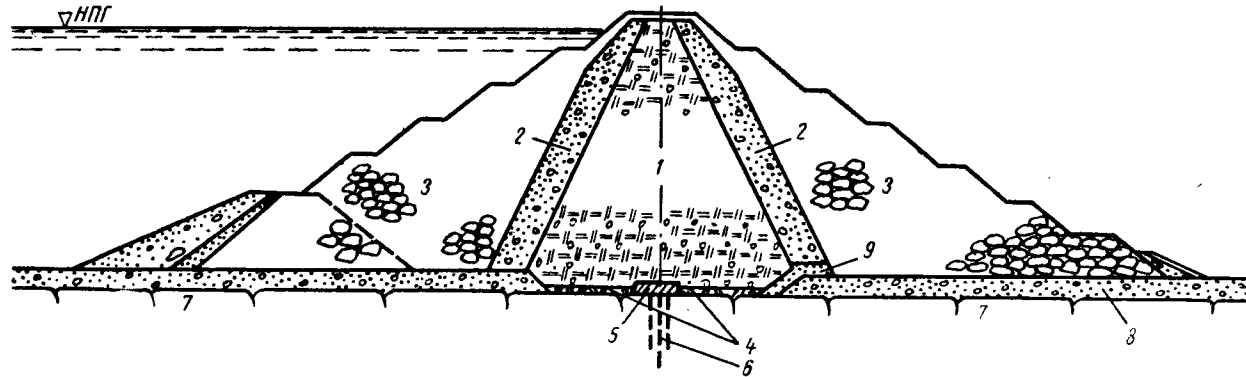
портом. Вне указанных выше зон призмы отсыпались слоями от 5 до 10 м с поливом водой (расход воды $0,5$ м³ на 1 м³ каменной наброски).

4. По данным натуральных наблюдений после 7 месяцев эксплуатации осадка гребня составила 47 мм; после 12 месяцев — 53 мм. Смещение в сторону НБ после 12 месяцев было равно 34 мм. Осадка низовой упорной призмы через 1 год была равна 8 мм, осадка верховой упорной призмы 2 мм.

5. На сопряжении ядра со скалой осуществлялась выборка разрушенной скалы и заделка каверн бетоном. Цементация проводилась в три этапа: площадная, промежуточная по глубине, глубинная. Скала над зоной глубинной цементации была покрыта бетонной плитой. Основание за цементацией дренировалось. Общий объем тела плотины $1,7$ млн. м³.

48. ПЛОТИНА СЕРЕБРЯНСКАЯ

СССР, р. Воронья (строится). $H=78$ м



1—ядро из супесчаной морены (Г); 2—песчано-гравелистый грунт (Г); 3—каменная наброска из горной массы (граниты) (Г); 4—глина; 5—бетонная плита; 6—противофильтрационная завеса; 7—граниты; 8—морена; 9—щебень

1. Ядро возводится отсыпкой в воду слоями 3 м с уплотнением движущимся транспортом; $\gamma_{ск}=1,8$ т/м³; $\varphi=31^\circ$; $k_{ф}=\approx 2 \cdot 10^{-4}$ см/сек. Сопряжение ядра со скалой основания осуществляется с помощью цементационной завесы, для которой должно быть пробурено 3,6 тыс. пог. м скважин. Объем ядра 2,0 млн. м³.

2. Фильтры укладываются слоями 0,4—0,6 м с уплотнением грузеями автосамосвалами: $\gamma_{ск}=1,8$ т/м³; $\varphi=31^\circ$. Объем фильтра 1,0 млн. м³.

3. Упорные призмы отсыпаются слоями 6—12 м без ограничения крупности с уплотнением проходящим транспортом; $\gamma_{ск}=\approx 1,9$ т/м³; $\varphi=39^\circ$. Камень имеет временное сопротивление на раз-

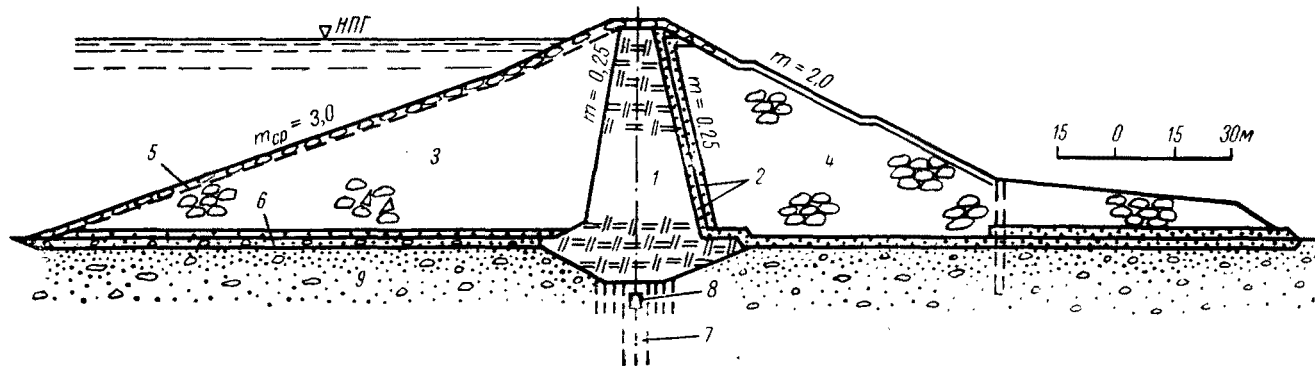
давление 1300 кг/см². Объем каменной наброски 2,0 млн. м³.

4. В плотине устанавливается контрольно-измерительная аппаратура для замеров пьезометрических напоров, порового давления, давления грунта, а также осадок и смещений тела плотины.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 0,5 до 4 м³; автосамосвалы грузоподъемностью 5; 7; 10; 25 т; тракторы и бульдозеры. Расчет устойчивости плотины проводился по методу круглоцилиндрических поверхностей сдвига. Для эксплуатационного случая минимальный коэффициент запаса верхового откоса равен 1,37, для низового откоса — 1,48. Общий объем тела плотины 5 млн. м³.

49. ПЛОТИНА ДУРЛАСБОДЕН

Австрия, р. Зальзах, 1963—1967 гг. $H=70$ м; $b=6,5$ м; $L=470$ м; $B=308$ м



1—ядро из смеси глины с 1—2% бентонита (Г); 2—двухслойный фильтр (Г); 3—верховая упорная призма из гравийно-галечниковой смеси (Г); 4—низовая упорная призма из каменной наброски (Г); 5—крепление крупным камнем; 6—понура из глины; 7—противофильтрационная завеса глубиной около 70 м; 8—инспекционная галерея в уплотненном инъекционном основании; 9—ледниковые аллювиальные отложения

1. Ядро укладывалось слоями 0,3 м с уплотнением 40-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов. Характеристики ядра: $w_{cp}=8\%$; $k_f=10^{-8}$ см/сек. Объем ядра и понура равен 0,494 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,30—0,45 м с уплотнением 40-тонным вибркатком за шесть—восемь проходов; $\gamma_{ск}=2,10$ т/м³. Объем фильтра 0,225 млн. м³.

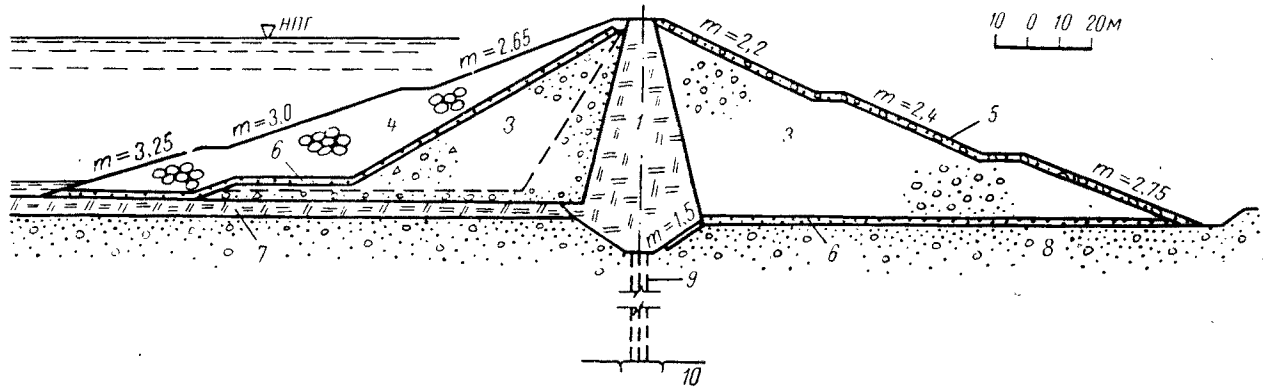
3. Верховая упорная призма укладывалась слоями 0,6 и 1,2 м с уплотнением проходящим транспортом; $\gamma_{ск}=2,08$ т/м³. Низовая упорная призма отсыпалась слоями 2,5 м с уплотнением проходящим транспортом; $\gamma_{ск}=2,10$ т/м³. Объем упорных призм 1,801 млн. м³.

4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, пьезодинамометры, грунтовые динамометры и приборы для измерения осадок и горизонтальных смещений тела плотины.

5. Под всей верховой упорной призмой уложен непроницаемый понур из глины толщиной 30 см. Основание плотины под ядром было заинъектировано глиноцементными и бентонитовыми суспензиями, а также алгонитгелем, которые полностью сохранили деформативную способность основания без нарушения противофильтрационных свойств завесы. Центральный ряд завесы осуществлен из инъекционной галереи.

50. ПЛОТИНА ТИНАХОНЕС

Перу, р. Чанкей (строится). $H=70$ м; $b=9$ м



1—ядро из глины; 2—переходная зона (пылеватый песок и гравий менее 120 мм); 3—песчано-гравийная смесь (гравий менее 120 мм) (Г) 4—каменная наброска ($d>120$ мм); 5—крепление (гравий, щебень); 6—фильтр; 7—естественный понур; 8—аллювиальные отложения; 9—противофильтрационная завеса глубиной до 100 м; 10—скала

1. Ядро укладывается слоями 0,20 м с уплотнением 60-тонным катком на пневмошинах за двенадцать проходов; $\gamma_{ск} = 1,8$ т/м³; $\varphi=24^\circ$; $c=0,34$ кг/см².

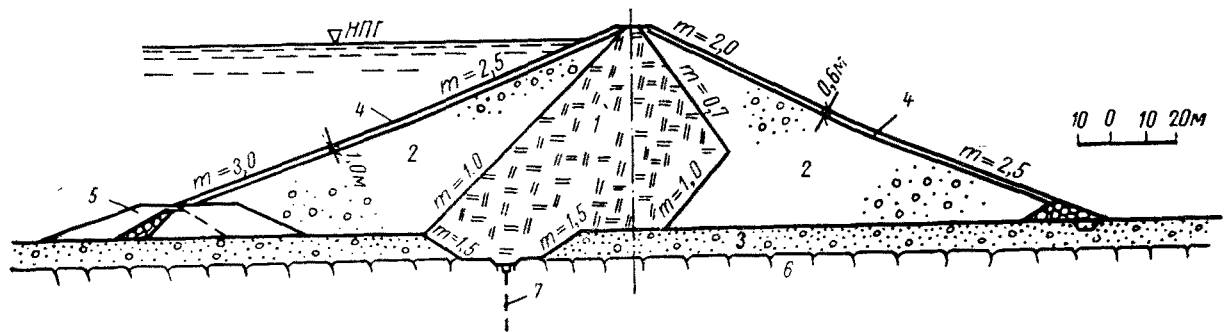
3. Упорные призмы укладываются тонкими слоями с уплотнением 11,5-тонным виброкатком за четыре—шесть проходов;

$\gamma_{ск} = 2,2$ т/м³; $\varphi=39^\circ$.

5. В основании плотины залегают аллювиальные отложения (глубиной до 100 м), прикрытые сверху глинами и подстилаемые скальными породами (лавы). Сопряжение ядра со скалой осуществляется трехрядной противофильтрационной завесой.

51. ПЛОТИНА КУБУК II

Турция, р. Кубук, 1961—1964 гг. $H=69$ м; $b=10$ м; $L=230$ м



1—ядро из суглинка; 2—гравийно-галечниковый материал; 3—аллювиальные отложения; 4—крепление камнем; 5—верховая перемычка; 6—андезиты; 7—противофильтрационная завеса

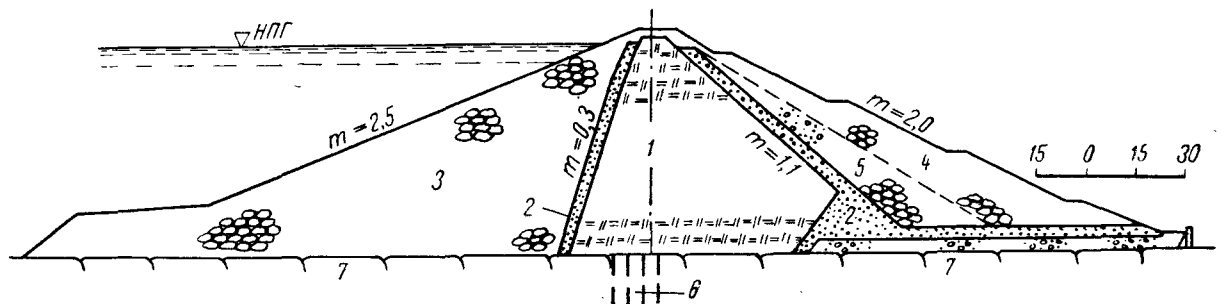
1. Ядро из пылеватых суглинков укладывалось слоями 0,15 м при влажности несколько ниже оптимальной с уплотнением кулачковым виброкатком.

3. Упорные призмы из гравийно-галечникового материала уплотнялись виброкатком с гладким вальцом.

5. Общий объем тела плотны 1,1 млн. м³. Стоимость гидроузла 33 млн. турецких лир.

52. ПЛОТИНА ТУМА

Австралия, р. Тума, 1959—1962 гг. $H=68$ м; $b=10$ м; $V=360$ м



1—ядро из делювиального глинистого грунта (Г); 2—переходная зона из карьерной мелочи с песком; 3—верховая упорная призма из наброски гранита; 4—зона пригрузки из гранита; 5—зона пригрузки из выветрелых гранито-гнейсов; 6—противофильтрационная завеса; 7—биотитовые граниты и гранито-гнейсы

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением кулачковым катком за 12 проходов; $\gamma_{ск}=1,73$ т/м³ при $\omega_{опт}=17,9\%$; $k_{ф}=0,5 \cdot 10^{-6}$ см/сек; $c=0,32$ кг/см². Плотность материала ядра требовалась не менее 98% от плотности по Проктору. Отклонение влажности грунта от оптимальной допускалось в нижней части ядра $\pm 1,0\%$; в верхней части от -2% до $+1,3\%$.

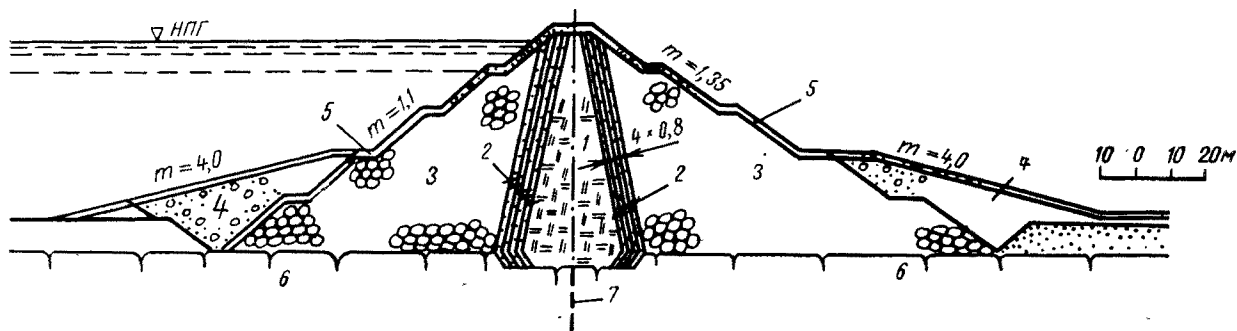
2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением гусеничным трактором за четыре прохода. Требуемая плотность не менее 70% от плотности по Проктору.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 3 м с полным водой (расход воды 1,5 м³ на 1 м³ каменной наброски).

4. В плотине установлена различная контрольно-измерительная аппаратура, в том числе: пьезодинамометры (32 шт.); телескопические реперы и поверхностные марки. За 11 месяцев эксплуатации максимальная осадка гребня составила 3 см (0,05% от высоты плотины). Осадка основания к моменту окончания строительства составила 16 см, после чего практически не менялась.

53. ПЛОТИНА РАСТАН

Сирия, р. Оронто, 1960 г. $H=67,5$ м; $b=11$ м; $B=188$ м



1—ядро из глины (Г); 2—четырёхслойный фильтр (Г); 3—каменная наброска из горной массы (базальты) (Г); 4—грунт из отвалов;
5—крепление крупным камнем; 6—известняки; 7—противофильтрационная завеса

1. Ядро укладывалось слоями 0,25 м с уплотнением кулачковым катком. Грунт, получаемый из четырех карьеров, характеризовался в насыпи следующими данными: $\gamma_{ск} = 1,53-1,69$ т/м³; $\varphi = 12-18,5^\circ$; $c = 0,45 \div 1,6$ кг/см²; $k_{\phi} = 10^{-6} \div 10^{-7}$ см/сек. Глина при необходимости увлажнялась.

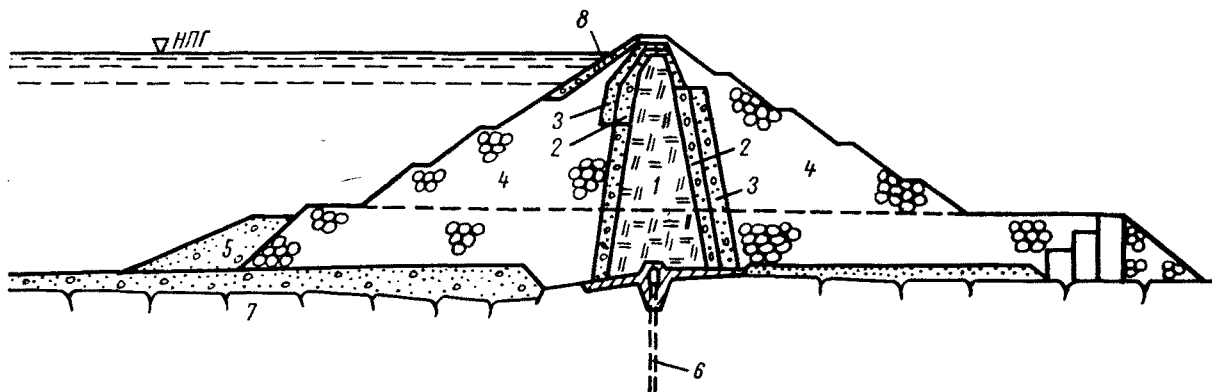
2. Фильтры укладывали слоями 0,8 м с уплотнением бульдозерами и проходящим транспортом.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 3—4 м с уплотнением проходящим транспортом.

5. Материал ядра у береговых скальных примыканий укладывался слоями 10—15 см и уплотнялся пневмотрамбовками. Максимальная суточная производительность: при укладке ядра 3200 м³ (средняя 1700 м³), при укладке каменной наброски 4700 м³ (средняя 3675 м³).

54. ХАНТАЙСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Хантайна (строится). $H=65$ м



1—ядро из моренного грунта (Γ); 2—первый слой фильтра из песчано-гравийной смеси ($d < 10$ мм) (Γ); 3—второй слой фильтра из гравийной смеси ($d > 10$ мм) (Γ); 4—каменная наброска (Γ); 5—естественная песчано-гравийная смесь; 6—двухрядная противофильтрационная завеса глубиной 25 м; 7—долериты; 8—крепление камнем

1. Ядро укладывается слоями 0,3—0,5 м с уплотненным катком на пневмошинах; $\gamma_{ск} = 1,7$ т/м³; $\varphi = 27^\circ$; $c = 0,5$ кГ/см²; $k_{ф} = 10^{-4}$ см/сек. Чтобы предотвратить вынос грунта ядра в трещины скалы, вся площадь контакта ядра с основанием покрывается бетонной облицовкой толщиной 35 см. Глубина бетонного зуба изменяется от 4 до 10 м. Цементационная завеса двухрядная, глубиной до 25 м. Объем ядра 0,155 млн. м³.

2. Фильтры укладываются слоями 1 м с уплотнением виброкатком; $\gamma_{ск} = 2,23$ т/м³; $\varphi = 29^\circ$; $c = 0,05$ кГ/см². Объем фильтров 0,163 млн. м³.

3. Зона 4 упорных призм отсыпается слоями высотой 2—6 м с уплотнением виброкатком и катком на пневмошинах. Зона 5 отсыпается слоями от 3 до 15 м с уплотнением летом струей во-

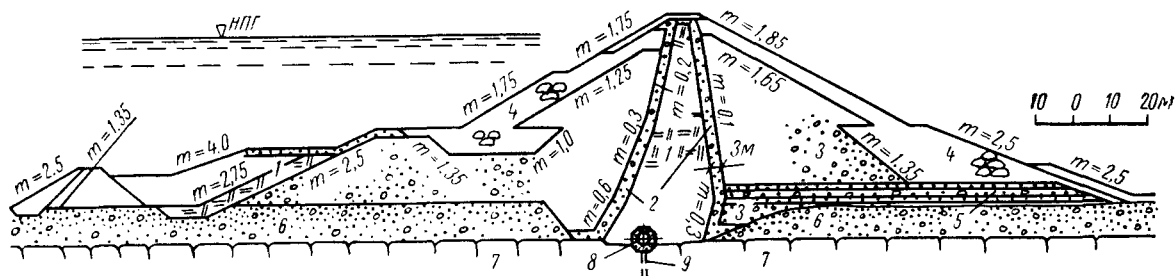
ды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски), зимой — грузным транспортом. Долериты, использованные в наброску, имели временное сопротивление на сжатие 1800—2000 кГ/см². Объем упорных призм 0,725 млн. м³.

4. В плотине устанавливается контрольно-измерительная аппаратура для замеров пьезометрических напоров, порового давления, давления грунта, а также осадок и смещений тела плотины.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 0,5 до 4 м³; автосамосвалы грузоподъемностью 5; 7; 10; 25 т; тракторы и бульдозеры; виброкатки и катки на пневмошинах. Расчет устойчивости плотины проводился по методу круглоцилиндрических поверхностей. Для верхового откоса минимальный коэффициент запаса равен 1,32, для низового 1,27. Общий объем плотины 1,044 млн. м³.

55. ПЛОТИНА ГРЕУ

Франция, р. Вердон, 1968 г. $H=64$; $b=10$ м



1—ядро из суглинка (100% менее 200 мм; 50% менее 5 мм; 25% менее 0,08 мм); 2—фильтр из песчано-гравийного материала; 3—аллювиальный материал (100% менее 300 мм; 5% менее 0,08 мм); 4—каменная наброска из горной массы (100% менее 600 мм; 85% менее 400 мм; 25% менее 25 мм; 5% менее 0,076 мм); 5—дренаж; 6—аллювий; 7—известняки; 8—цементационная галерея; 9—противофильтрационная завеса

1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с уплотнением 48-тонным катком на пневмошинах. При укатке требовалась плотность равная 95% от плотности по Проктору. Влажность при укладке была на 1% меньше $w_{опт}$; $W_T=25,5\%$; $W_{пл}=8,5\%$. Объем ядра 0,096 млн. м³.

2. Фильтр укладывался слоями 0,6 м с поливом водой (расход воды 0,1 м³ на 1 м³ грунта) и уплотнением 6-тонным виброткатком. Объем фильтров 0,07 млн. м³.

3. Упорные призмы укладывались слоями 0,6 м с поливом

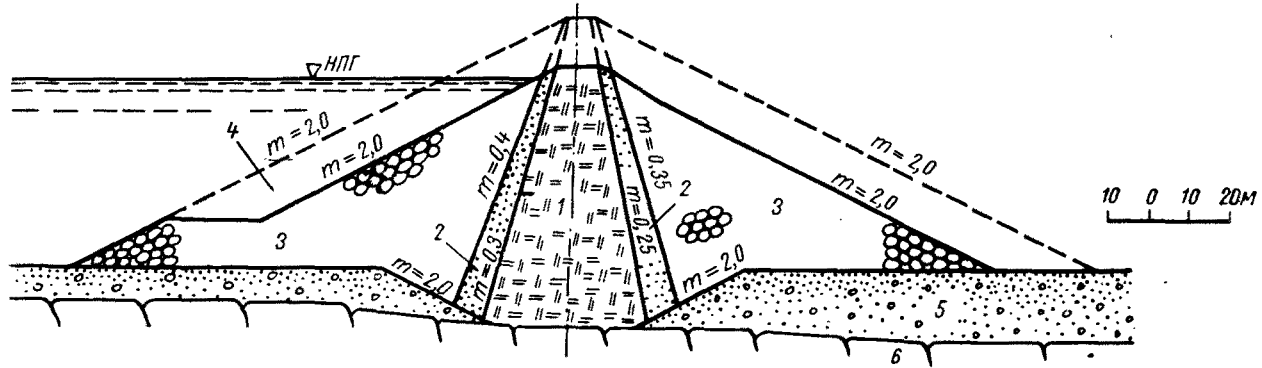
водой (расход воды 0,3 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением 8,5-тонным виброткатком. Объем упорных призм 0,45 млн. м³.

4. В плотине установлена следующая контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры (17 шт.); пьезодинамометры (22 шт.); грунтовые динамометры (13 шт.); глубинные реперы (12 шт.); поверхностные реперы (31 шт.); реперы с электрозондом для определения осадок тела плотины.

5. Горная масса получена из полезной выемки.

56. ПЛОТИНА ХОРСШУ

США, р. Верди, 1944—1946. $H=60$ м; $L=350$ м; $B=237$ м.



1—ядро из супеси; 2—переходная зона из песчано-гравийной смеси; 3—наброска из камня, валунов; 4—плотина второй очереди; 5—речной гравий и валуны; 6—вулканические туфы

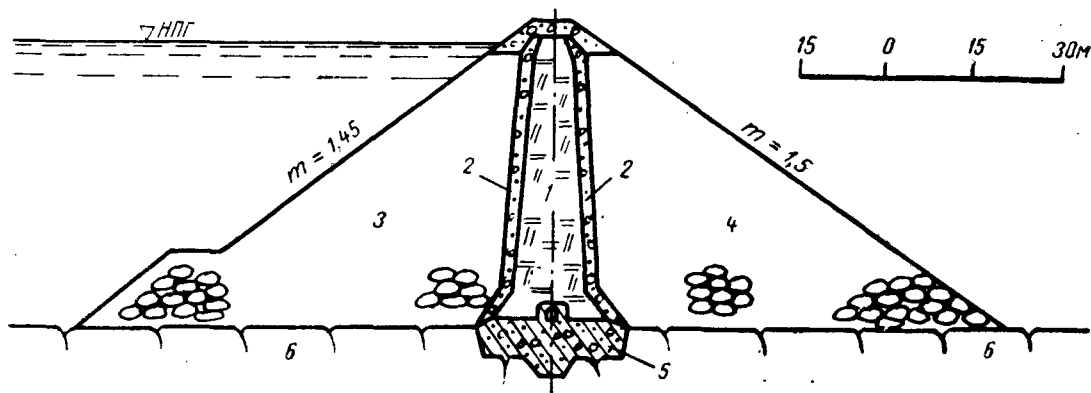
1. Ядро укладывалось слоями 0,20 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск}=1,76$ т/м³; $k_{ф}=1,65 \cdot 10^{-5}$ см/сек. В местах при-
мыкания к борту уплотнение осуществлялось ручными пневмо-
трамбовками. Объем ядра 0,22 млн. м³.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,3 м. Объем пе-
реходных зон 0,11 млн. м³.

3. Упорные призмы укладывались слоями 0,45 м. Объем
упорных призм 0,51 млн. м³.

57. ПЛОТИНА ПЕРУЧА

Югославия, р. Цетина, 1956—1959 гг. $H=60$ м; $b=8$ м; $L=450$ м; $B=220$ м



1—ядро из глины; 2—переходная зона из песчано-гравийной смеси; 3—верховая упорная призма из наброски крупного известняка; 4—низовая упорная призма из наброски мелкого известняка; 5—бетонная пробка; 6—известняки

1. Ядро укладывалось слоями 0,25 м с уплотнением гружеными автосамосвалами при оптимальной влажности; $k_{\phi}=1 \cdot 10^{-8}$ см/сек; объем ядра 0,12 млн. м³.

2. Переходная зона укладывалась слоями 0,3 м с уплотнением виброкатком. Объем переходных зон 0,03 млн. м³.

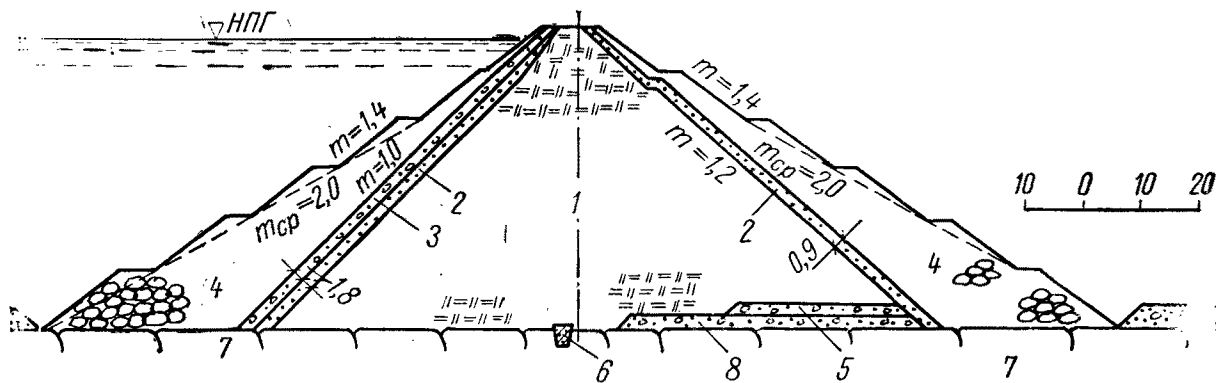
3. Упорные призмы отсыпались слоями 6 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ камен-

ной наброски); $\gamma_{ск}=1,89$ т/м³; $n=29\%$; $\phi=45^{\circ}$. Объем упорных призм 0,64 млн. м³.

4. Контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, пьезодинамометры, грунтовые динамометры, глубинные и поверхностные реперы. За четыре года наблюдений максимальная осадка гребня составила 0,85% от высоты плотины; горизонтальное смещение гребня в сторону ВВ 1—4 см. Максимальная осадка упорных призм за четыре года составила 0,33%.

58. ПЛОТИНА НОТТЕЛИ

США, р. Ноттели, 1941—1942 гг. $H=56$ м; $b=9,6$ м; $L=592$ м; $B=222$ м



1—ядро из суглинки; 2—первый слой фильтра из песка; 3—второй слой фильтра из песчано-гравийной смеси; 4—каменная наброска из кварцита с примесью 20% слюдястого сланца; 5—дренаж; 6—бетонный зуб; 7—выветрелая скала; 8—вскрыша, переработанная и оставленная на месте

1. Ядро укладывалось слоями 0,15—0,20 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск}=1,92-2,08$ т/м³; $\phi=30^\circ$; $c=0,4$ кг/см². Объем ядра 0,65 млн. м³.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.

3. Упорные призмы отсыпались слоями 9 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски). Объем переходных зон и упорных призм 0,53 млн. м³.

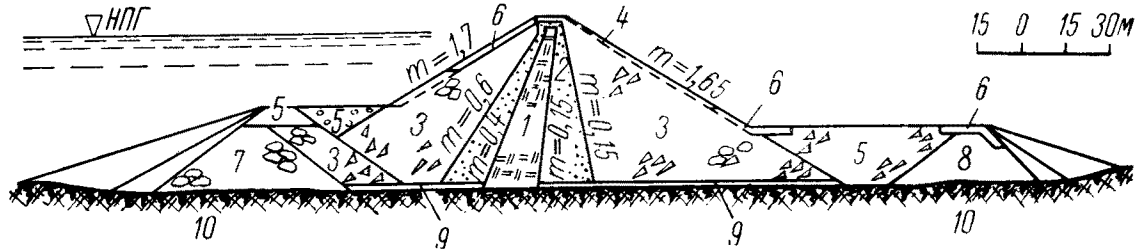
4. По данным натурных наблюдений, которые начались спустя 4 месяца после окончания строительства, осадка гребня в максимальном сечении (в процентах от высоты плотины) соста-

вила: через два года 0,33%; через четыре года 0,40%; через шесть лет 0,45%; через восемь лет 0,50%; через десять лет — 0,60%. Горизонтальное смещение гребня в сторону НБ при первом наполнении водохранилища составило 75 мм. При опорожнении гребень вернулся в сторону ВБ на 25 мм, но при повторном заполнении смещение в сторону НБ увеличилось до 125 мм.

5. Расчет устойчивости откосов плотины проводился по методу круглоцилиндрических поверхностей. Упорные призмы осели больше, чем ядро. Это привело к образованию продольных трещин на гребне плотины. Ширина трещин менялась от 0,6 до 2,4 см, глубина до 2 м. Общая протяженность трещин составила около 180 м.

59. ПЛОТИНА МАКТАКУАК

Канада р. Сент Джон (строится). $H=56$ м



1—ядро из валунной глины; 2—песчано-гравелистый грунт; 3—каменная наброска; 4—крепление крупным камнем; 5—наброска из рядового камня; 6—крепление отборным камнем; 7—верховая перемычка; 8—низовая перемычка; 9—дренажный слой из мелкого камня толщиной 0,30 м; 10—валунные глины

1. Ядро укладывается слоями 0,15—0,20 м с уплотнением виброкатком; $\varphi=32^\circ$; $w_{cp}=10,3\%$; $W_T=24\%$; $W_{пл}=9\%$.

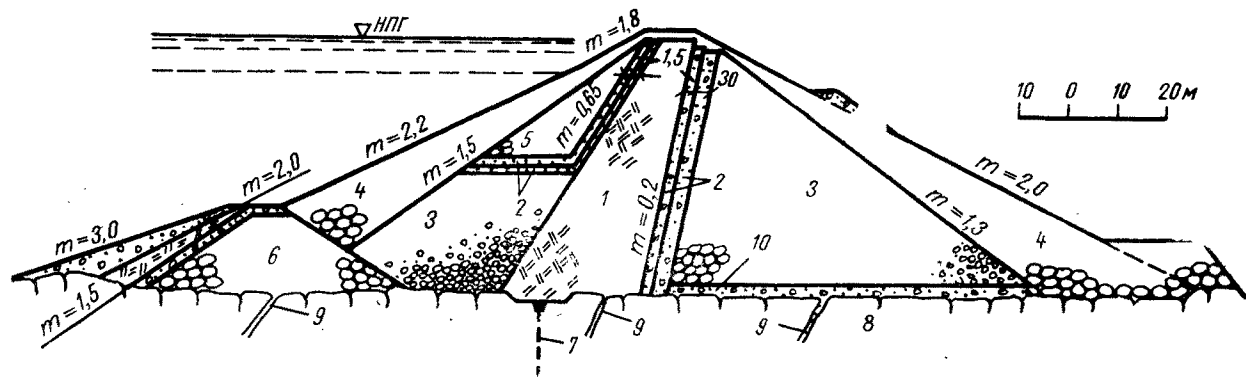
2. Переходные зоны укладываются слоями 0,30 м с уплотнением 4,5-тонным виброкатком за шесть проходов.

3. Зона 3 упорных призм укладывается слоями 0,6 м с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за два прохода; зона 5 — слоями 0,9 м с уплотнением 4,5-тонным виброкатком за четыре прохода.

5. Плотина располагается на мощном 30-метровом слое рыхлых отложений, состоящих из валунистых глин, пылеватых глин, аллювиальных отложений с напорными водами. Под рыхлыми отложениями залегают граувакка, сланцы и аргиллиты. Вся горная масса получена из полезных выемок. Для перевозки грунта использовались автосамосвалы грузоподъемностью 15 и 30 т.

60. ПЛОТИНА КЕСИКЁПРУ

Турция, р. Кизил Ирман, 1959—1967 гг. $H=52,6$ м; $b=10$ м; $L=265$ м



1—ядро из глины; 2—два слоя фильтра из песчано-гравийной смеси; 3—внутренние зоны упорных призм из выветрелой скалы; 4, 5—прочный камень; 6—верховая перемычка; 7—противофильтрационная завеса; 8—гранодиориты, сиениты (местами габбро); 9—сбросы; 10—фильтр

1. Ядро укладывалось слоями 0,15 м с уплотнением кулачковым катком при $w_{\text{онт}}=15\%$.

2. Фильтры из песчано-гравийного материала укладывались слоями 0,3 м.

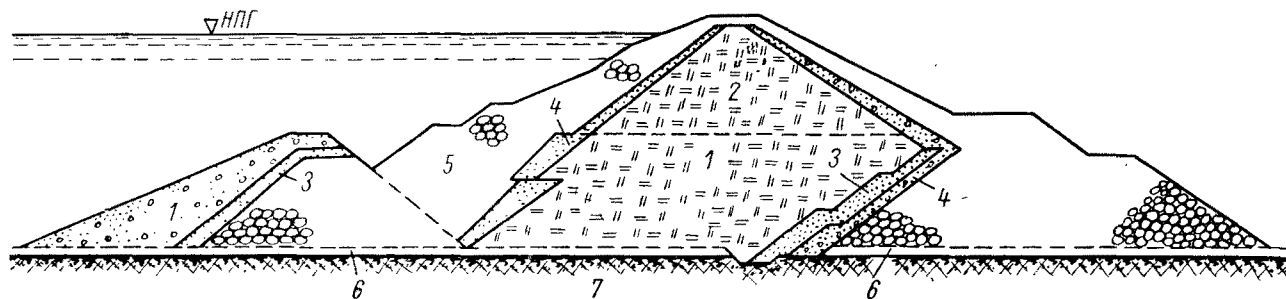
3. Зона 3 упорных призм укладывалась слоями 0,3 м; зона 4—

слоями 0,9 м; зона 5—слоями 0,35—0,40 м. Все зоны уплотнялись 50-тонным катком на пневмошинах.

5. Полная стоимость гидроузла (здание ГЭС, плотина, водосброс, расходы по затоплению) 161 млн. турецких лир, в том числе стоимость гидромеханического оборудования 75,7 млн. турецких лир.

61. ВЕРХНЕ-ТУЛОМСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Тулома, 1962—1965 гг. $H=50$ м



1—морена, отсыпанная в воду (мелкозем более 40%, валуны менее 20%); 2—укатанная морена; 3—мелкий гравий; 4—крупный гравий; 5—наброска камня из полезных выемок; 6—валуны, слой толщиной 2,0÷2,5 м; 7—морена

1. Ядро в нижней части (зона 1) отсыпалось в воду слоями 10—11 м с уплотнением движущимся транспортом; $\gamma_{ск} = 2,1$ т/м³; $\phi = 28^\circ$; $k_{ф} = 10^{-5} \div 10^{-6}$ см/сек. Верхние 18 м (зона 2) укладывались слоями 0,8—1,2 м с уплотнением 8,5-тонным виброткатком за шесть—восемь проходов; полученная плотность составляла 96—97% от плотности по Проктору.

2. Переходные зоны укладывались слоями 0,8 м с уплотнением 8,5-тонным виброткатком за шесть—восемь проходов.

3. Упорные призмы отсыпались слоями до 3 м с уплотнением проходящим транспортом.

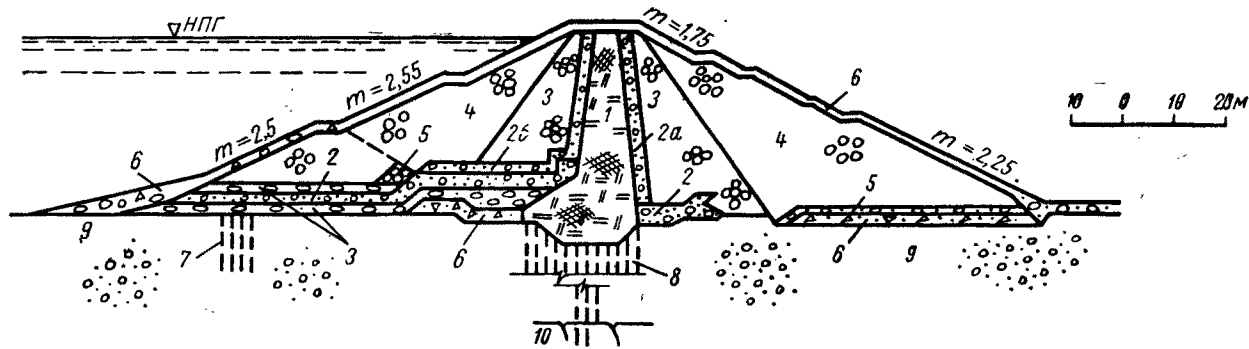
4. В плотине установлена контрольно-измерительная аппара-

тура: пьезометры для определения пьезометрических напоров; реперы для определения осадки гребня. За пределами плотины был установлен мерный водослив для измерения фильтрационного расхода. Максимальная осадка плотины с 10. VIII 1964 г. по 19. XI 1967 г. составила 16,8 см.

5. Моренный грунт в основании плотины имеет следующие характеристики: $\gamma_{ск} = 2,29$ т/м³; $\phi = 35^\circ$; $c = 0,05$ кг/см²; $k_{ф} = 10^{-5}$ см/сек. Для предотвращения замерзания морены при укладке в тело плотины в зимнее время применяли солевой раствор. Суточная интенсивность отсыпки горной массы в среднем составляла 2 тыс. м³. Общий объем плотины 2,9 млн. м³.

62. ПЛОТИНА ЗИЛЬВЕНШТЕЙН

ФРГ, р. Изар, 1958 г. $H=43$ м



1—ядро из глинобетона (Г); 2—моренный гравий (Г); 2а—то же с 20% песка (Г); 2б—то же с 10% песка (Г); 3—террасный гравий (Г); 4—речной гравий; 5—крупный гравий; 6—наброска известняка (Г); 7—противофильтрационная завеса перемычки; 8—противофильтрационная завеса плотины (глубина до 100 м); 9—аллювий; 10—доломиты триаса

1. Ядро из глинобетона укладывалось слоями 0,2 м с уплотнением 12-тонным виброкатком за 10—12 проходов $\gamma_{ск} = 2,3$ т/м³; $\varphi = 36^\circ$; $k_{\phi} = 1 \cdot 10^{-8}$ см/сек. Объем ядра 0,06 млн. м³.

2. Фильтры (зоны 2, 2а, 2б) укладывались слоями 0,3 м с уплотнением 12-тонным виброкатком за шесть—восемь проходов.

3. Упорные призмы (зоны 3 и 4) укладывались слоями 0,5—0,7 м с уплотнением 46-тонным катком на пневмошинах за три прохода; $\gamma_{ск} = 2,1$ т/м³; $\varphi = 36^\circ$. Объем упорных призм 0,84 млн. м³.

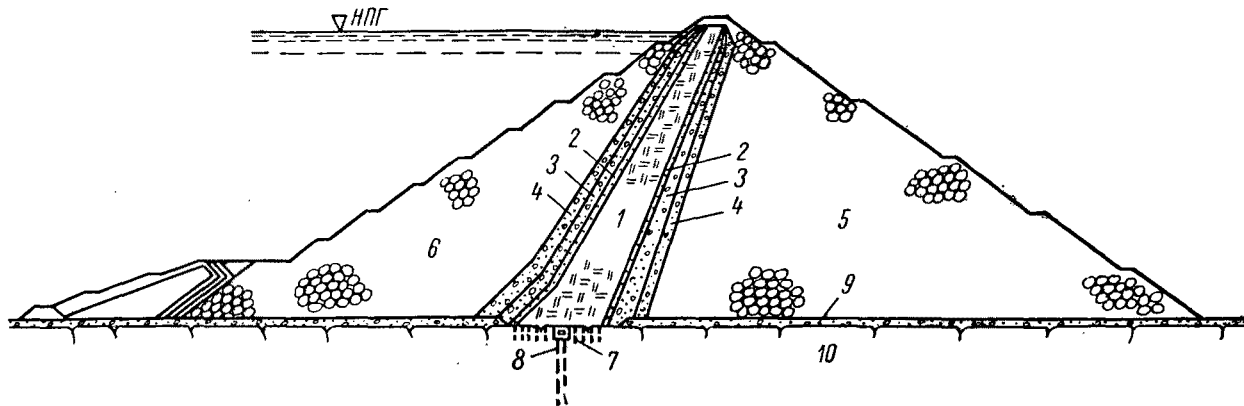
5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами

емкостью 1,25—1,75 м³ (10 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 20 и 27 т (18 шт.); гусеничные тракторы (6 шт.). Средняя производительность по всем видам насыпей за неделю составляла 35—40 тыс. м³. Противофильтрационная завеса в аллювиальных отложениях (глубиной 100 м) была выполнена за 2,5 года. Было пройдено 9400 пог. м скважин и инъецировано 3,7 тыс. м³ тиксотропной глиноцементной суспензии. Глубина цементации в скалу (доломиты) составила 15 м. Стоимость плотины 11 млн. марок (ФРГ).

ПЛОТИНЫ С ЭКРАНАМИ

63. САЯНО-ШУШЕНСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Енисей (проект). $H=225$ м



1—экран из суглинка; 2—песок; 3—песчано-гравийная смесь; 4—карьерная мелочь; 5—наброска гранита; 6—пригрузка крупным камнем; 7—площадная цементация; 8—противофильтрационная завеса; 9—аллювий; 10—биотитовые граниты

1. Экран укладывается слоями 0,3 м с уплотнением 30-тонным кулачковым катком. У береговых примыканий уплотнение осуществляется конусной железобетонной трамбовкой; $\gamma_{ск} = 1,65$ т/м³; $\varphi = 18^\circ$; $c = 0,45$ кг/см²; $\omega_{опт} = 18-19\%$; $k_{ф} = 0,5 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Гранулометрический состав материала экрана; 18% менее 0,002 мм; 53% 0,002—0,05 мм. Объем ядра 3,7 млн. м³.

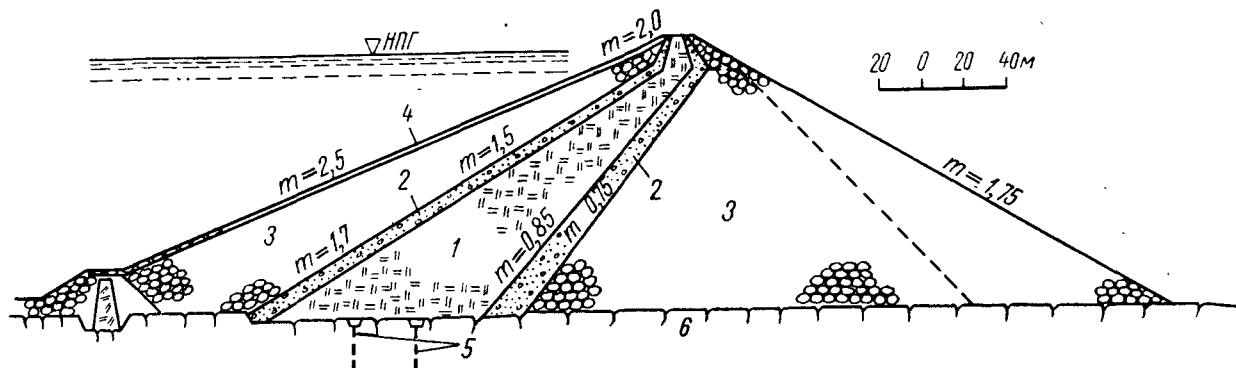
2. Фильтры укладываются слоями до 1 м с поливом водой и уплотнением виброкатком ПВК-25. Объем фильтров 5,85 млн. м³.

3. Упорные призмы из горной массы (граниты) отсыпаются слоями 15—20 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м³ на 1 м³ каменной наброски). Объем наброски 46,27 млн. м³.

4. Сопряжение экрана со скальным основанием осуществляется площадной и глубиной цементацией. Общий объем тела плотины 56,3 млн. м³.

64. ПЛОТИНА МИБОРО

Япония, р. Шо, 1957—1960 гг. $H=130$ м; $b=12$ м; $L=426$ м; $B=542$ м



1—экрaн из смеси глины с гранитной мелочью (Г); 2—фильтр (Г); 3—наброска из горной массы; 4—крепление крупным камнем; 5—противофильтрационная завеса; 6—кварцевый порфирит и гранитовидные порфиры

1. Экрaн укладывался слоями 0,2 м с уплотнением 20-тонным кулачковым катком за 12 проходов; $\gamma_{ск}=2,05$ т/м³; $w=7,8\%$; $\varphi=35^\circ$; $k_{\phi}=1 \cdot 10^{-5}$ см/сек. Поверхность нижнего слоя перед укладкой следующего по высоте разрыхлялась. Отклонение влажности от оптимальной допускалось $\pm 1\%$. У береговых примыканий применяли ручную пневмотрамбовку с давлением 6,6 кг/см², при этом толщина слоя не превышала 5 см.

2. Фильтры (фракция 0—20 мм из смеси песка, гравия и гальки) укладывались слоями 0,4 м с поливом водой и уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода; $\gamma_{ск}=2,16$ т/м³; $n=17\%$; $\varphi=35^\circ$; $w=4\%$.

3. Средняя часть упорной призмы отсыпалась слоями не более 4 м с уплотнением груженым транспортом. Зона низовой грани призмы отсыпалась слоями 8 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м³ на 1 м³ каменной наброски); $\gamma_{ск,ср}=1,87$ т/м³; $n=28,5\%$; $\varphi=38^\circ 40'$. Поверхность нижележа-

щего слоя наброски перед укладкой следующего по высоте обрабатывалась риппером. Мелочь смывалась с поверхности гидромонитором. Объем каменной наброски 4,5 млн. м³.

4. В плотине установлена контрольно-измерительная аппаратура для измерения пьезометрических напоров, порового давления, осадки и горизонтальных смещений тела плотины. По данным натуральных наблюдений, после одного года эксплуатации, максимальная осадка гребня составила 33,9 см (0,27% от высоты плотины), через два года — 42,6 см (0,34%). Горизонтальное смещение гребня в сторону НБ через один год составило 39 см (0,32%).

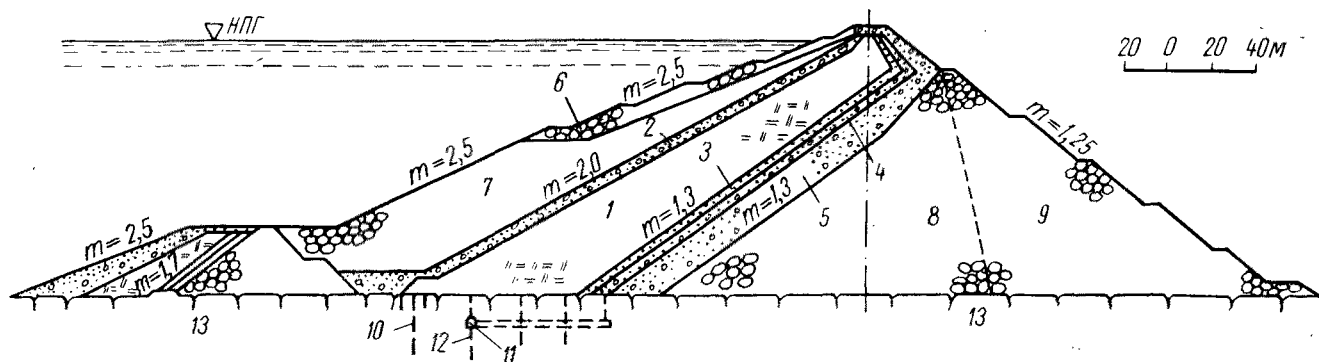
5. Основанием плотины являются трещиноватые порфиритовые кварциты и граниты. На правом берегу вдоль русла проходит тектоническая зона разлома шириной 40 м, которая зацементирована на глубину 60 м из ряда горизонтальных штолен, пройденных из вертикальной шахты. Глина для экраны плотины имела

влажность в карьере на 10% выше $w_{\text{опт}}$ вследствие большого количества атмосферных осадков. В качестве материала экрана была принята смесь глины с выветрелым гранитом в количестве 1:4. Смешивались материалы при экскавации кавальера, где глина и выветрелый гранит укладывались послойно. Основные строитель-

ные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 1,5—4,6 м³ (16 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 15—22 т (76 шт.); бульдозеры (15 шт.); катки кулачковые и на пневмошинах (7 шт.).
Общий объем тела плотины 8 млн. м³.

65. ПЛОТИНА ТРАНГСЛЕТ

Швеция, р. Эстердаль, 1957—1960 гг. $H=122$ м; $b=10$ м; $L=850$ м; $B=600$ м



1—экран из морены (Г); 2—фильтр из несортированного гравия (Г); 3—первый слой фильтра из сортированного гравия (Г); 4—второй слой фильтра из щебня (Г); 5—третий слой фильтра из валунов (Г); 6—крепление крупным камнем; 7—пригрузка из несортированного гравия; 8—зона упорной призмы (каменная наброска из порфиридных диабазов), уложенная в летний период (Г); 9—то же в зимний период; 10—противофильтрационная завеса; 11—дренажная галерея; 12—дрены; 13—снейт и порфир с включенным диабазов

1. Экран укладывался слоями 0,3 м с уплотнением 40-тонным катком на пневмошинах за шесть проходов. Плотность составила 95% от плотности по Проктору; $k_f = 2 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6}$ см/сек; $\varphi = 45^\circ$. Для материала экрана $w_{\text{опт}} = 7-8\%$. При $w = 10\%$ передвижение транспорта становилось затруднительным. Камни крупнее 100 мм убиралась.

2. Фильтр с верхней стороны (зона 2) укладывался слоями 0,5 м с уплотнением вибротрамбовкой. Зона 3 (первый слой фильтра с нижней стороны) укладывалась также слоями 0,5 м

с уплотнением вибротрамбовкой. Зона 4 укладывалась слоями 0,5 м с уплотнением трактором. Зона 5 укладывалась слоями 0,5—1,0 м с уплотнением трактором. Весь материал перед укладкой увлажнялся.

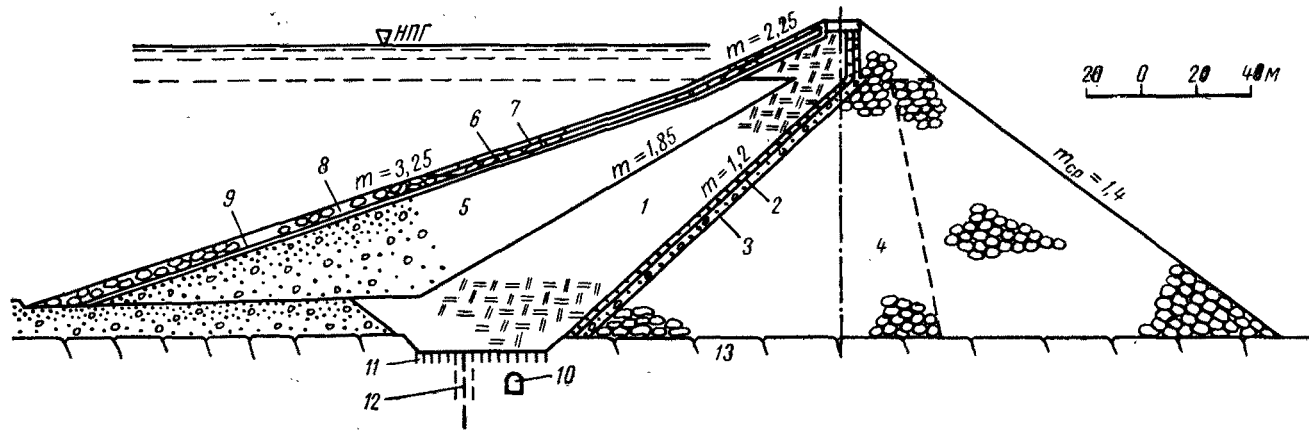
3. Упорная призма отсыпалась слоями 2—3 м с поливом водой из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски, давление 20 атм.) и уплотнением трактором. Низовой клин упорной призмы отсыпался зимой слоями 20 м без поливки водой.

4. Для наблюдения за плотинной в процессе эксплуатации были заложены специальные приборы и устройства для замера деформаций, расходов фильтрующей воды и порового давления. Для замеров осадок по гребню и низовому откосу было заложено более 40 реперов; для определения осадки зимней наброски—9; в промежуточной зоне—15; для наблюдения за осадкой камня, уложенного с поливом, переходных зон и экрана—53 репера. За период наблюдений (6 лет) осадка гребня в максимальном сечении составила 3% от высоты плотинны.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 1,0—4,5 м³ (11 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 5—25 т (66 шт.); катки на пневмошинах 40-тонные (3 шт.). Работы на строительстве велись круглый год, но наброска велась в основном зимой, а насыпь фильтра и экрана—летом. Среднесуточная производительность по укладке каменной наброски составляла 6 тыс. м³ (зимой) и 3 тыс. м³ (летом); по укладке фильтров—5 тыс. м³ (летом), экрана—3 тыс. м³ (летом).

66. ПЛОТИНА МОН-СЕНИ

Франция, р. Сени 1963—1969 гг. $H=120$ м; $b=12$ м; $L=1400$ м; $V=475$ м



1—экран из морены (Г); 2—первый слой фильтра (Г); 3—второй слой фильтра (Г); 4—каменная наброска с увеличением крупности камня в сторону НБ (Г); 5—грунтовая пригрузка; 6, 7, 8—крепление верхового откоса крупным камнем; 9—фильтр; 10—контрольная галерея; 11—площадная цементация; 12—противофильтрационная завеса; 13—известняки.

1. Экран укладывался слоями 0,4 м с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за четыре прохода; $\gamma_{ск}=2,15$ т/м³; $\varphi=37^\circ$; $c=0$; $k_{\phi}=1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-7}$ см/сек; $\omega_{опт}=6-8\%$. Отклонение влажности от оптимальной допускалось в пределах: от -1 до $+2\%$. Объем экрана и пригрузочной зоны 5,0—6,8 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,4 м с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за два прохода; $\gamma_{ск}=1,95$ т/м³. Объем фильтров 0,8 млн. м³.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 1—2 м с поливом водой (расход воды 0,5 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением 8,5-тонным виброкатком за шесть проходов; $\gamma_{ск}=2,0-$

2,05 т/м; $\varphi=41-43^\circ$. Пригрузка (зона 5) укладывалась слоями 0,8 м с уплотнением 8,5-тонным виброткатком за четыре прохода; $\gamma_{ск}=2,2$ т/м³. Объем каменной наброски 7,25 млн. м³.

4. В плотине установлена контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры, пьезодинамометры, грунтовые динмометры, термометры, поверхностные реперы, приборы для измерения осадок и горизонтальных смещений, основанные на применении электротранзюнда.

5. Для каменной наброски использовался известняковый сланец с $R_{сж,ср}=450$ кг/см². Карьер камня тщательно оберегался от

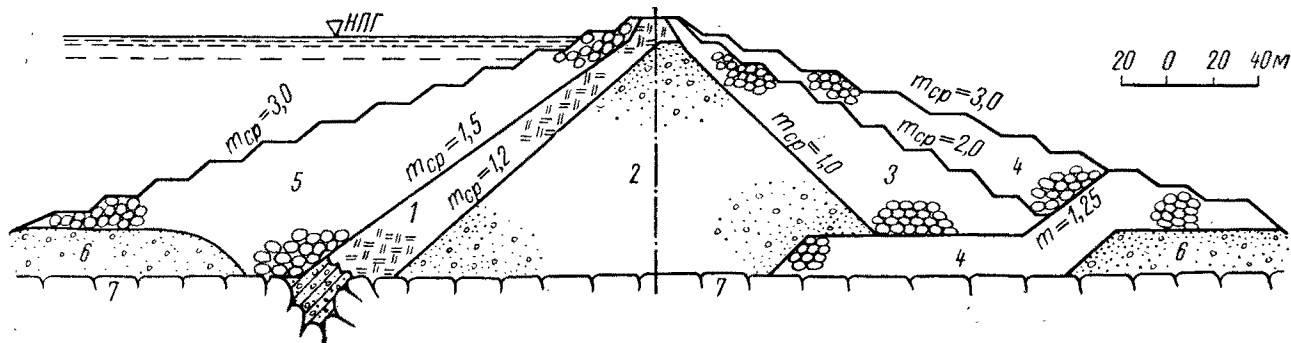
загрязнения при вскрышных работах. Партни камня, загрязненные в процессе взрывных работ материалом разрушенных зон, а также зон с повышенной slickеватостью, выбраковывались.

Из-за применения взрывчатых веществ повышенной брнзантности расход ВВ составлял 35 г на 1 м³. На строительстве были проведены большие опытные работы по отработке методов укладки и уплотнения каменной наброски в тело плотины. Месячная производительность по отсыпке каменной наброски 200—300 тыс. м³.

Общий объем тела плотны 14 млн. м³.

67. ПЛОТИНА САН-ГАБРИЭЛЬ № 1

США, р. Сан-Габриэль, 1935—1937 гг. $H=116$ м; $b=9,5$ м; $L=510$ м



1—экрaн из суглинка; 2—переходная зона из горной массы (7% меньше 0,1 мм; 50% от 0,1 до 150 мм; 43% щебня и камня от 150 до 500 мм); 3—каменная наброска из сортированного камня весом 2,75—6,35 т; 4—сортированный камень весом более 6,35 т; 5—каменная пригрузка; 6—аллювий; 7—гранитоидеы

1. Экрaн укладывался слоями 0,2 м с уплотнением сдвоенным кулачковым катком. Объем экрaна 0,872 млн. м³.

2. Переходная зона отсыпалась слоями 2 м с уплотнением виброткатком. Объем переходной зоны 2,43 млн. м³.

3. Каменная наброска (зоны 3, 4, 5) отсыпалась слоями 7,5 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски). Объем каменной наброски 4,8 млн. м³.

4. По данным натурных наблюдений за четыре года эксплуатации осадка гребня плотины в максимальном сечении составила 12 см. Максимальная осадка каменной наброски за это же время 48 см.

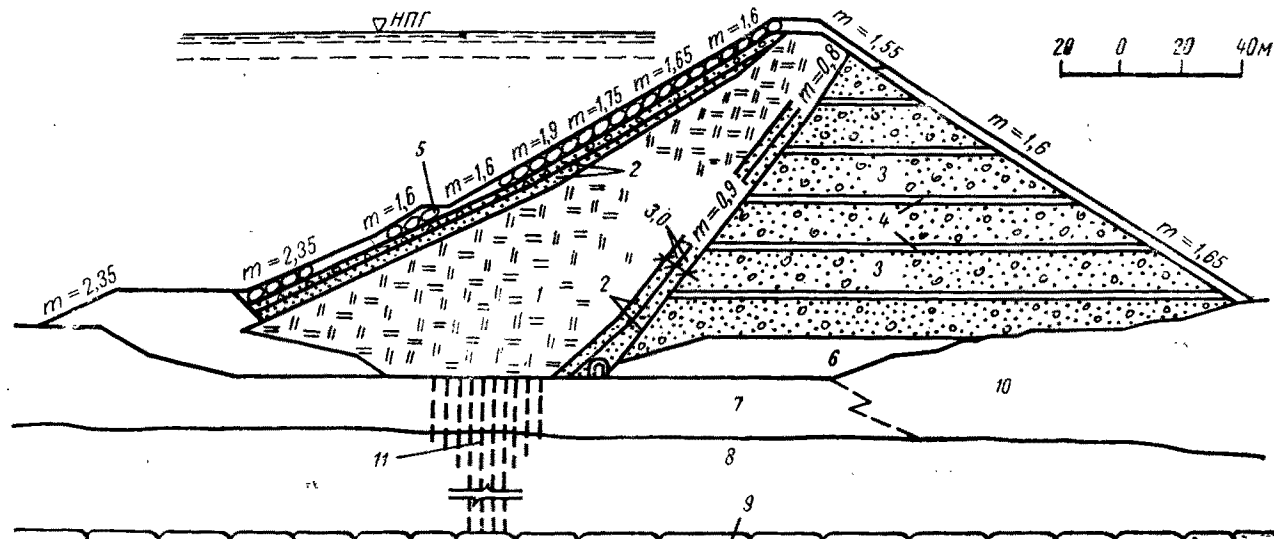
5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью 2,75—3,75 (6 шт.); автосамосвалы с кузовом емкостью 4 м³ (12 шт.); 15,5 м³ (9 шт.); 19,5 м³ (20 шт.); кулачковые

катки, сдвоенные (4 шт.). Среднемесячная производительность по укладке насыпи 350 тыс. м³; максимальная по наброске и насыпи 750 тыс. м³. Для сортировки камня из карьерных отходов на

строительстве была смонтирована сортировочная установка производительностью 1000 м³/ч. Использовался камень крупнее 15 см.

68. ПЛОТИНА МАТТМАРК

Швейцария, р. Засер-Виспе, 1961—1966 гг. $H=115$ м; $b=11$ м



1—экран из морены ($d < 150$ мм) (Г); 2—двухслойный фильтр (Г); 3—упорная призма (Г); 4—дренажные тюфаки; 5—крепление крупным камнем; 6—озерные отложения; 7—аллювий; 8—морена; 9—скала; 10—ледниковые отложения; 11—противофильтрационная завеса глубиной до 100 м

1. Экран укладывался слоями 0,17 м с уплотнением одновременно двух слоев 80-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода; $\gamma_{ск}=2,48$ т/м³; $n=17\%$; $k_{ф}=1 \cdot 10^{-5}$ см/сек; $\varphi=42^\circ$; $c=0,2$ кг/см². Максимальный размер гальки, допускаемый в материале экрана 150 мм. Экран сопрягается со скалой основания с помощью противофильтрационной завесы глубиной до 100 м. Объем экрана 3,5 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением движущимся транспортом; $\gamma_{ск}=2,17$ т/м³; $k_{ф}=10^{-3}$ см/сек; $\varphi=38^\circ$. Объем фильтров 1,5 млн. м³.

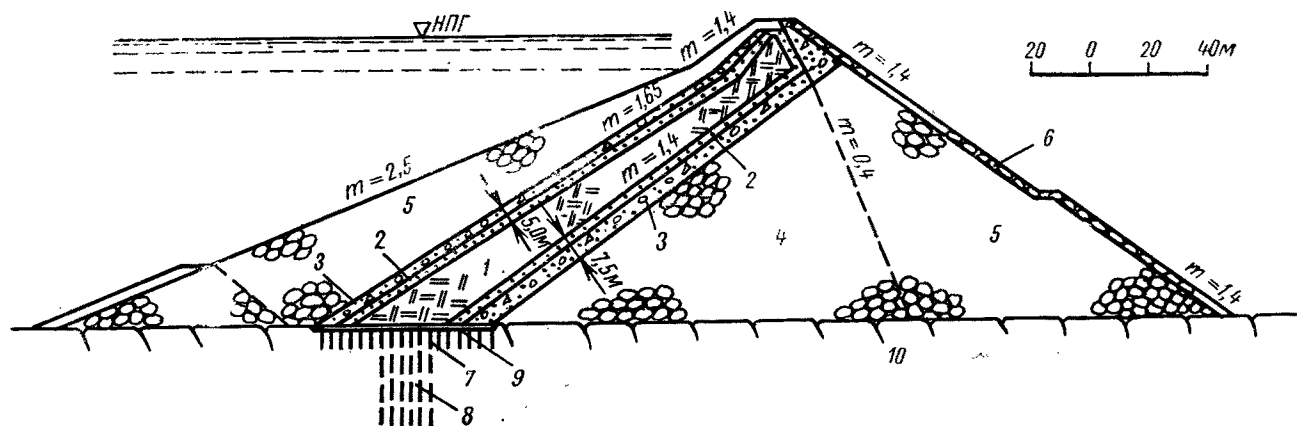
3. Упорная призма из морены с крупностью до 800 мм укладывалась слоями 1,5 м с уплотнением движущимся транспортом; $\gamma_{ск}=2,4$ т/м³; $n=20\%$; $\varphi=48^\circ$. Объем каменной наброски 5 млн. м³.

4. Установлена контрольно-измерительная аппаратура для определения ньеометрических напоров, норового давления, давления грунта, а также осадок и смещений тела плотины. Для замеров осадок и смещений используются приборы, основанные

на применении радиоизоида. Максимальная осадка потерны с 12.XI 1963 г. по 19.XI 1965 г. составила 165 см (1,9% от высоты плотины). В процессе строительства максимальная осадка слоев достигала 7% от высоты слоя.

69. ПЛОТИНА БИНГА

Филиппины, р. Агно, 1957—1959 гг. $H=103$ м; $b=10$ м; $L=210$ м



1—экрaн из глины; 2—первый слой фильтра из песчано-гравелистого грунта ($d < 75$ мм); 3—второй слой фильтра из камня $d < 30$ см; 4—уплотненная каменная наброска; 5—каменная наброска; 6—слой крупного камня толщиной 1,5 м; 7—площадная цементация; 8—противофильтрационная завеса; 9—слой бетона; 10—древние лавы

1. Экрaн укладывался слоями 0,2 м с уплотнением грузеым транспортом. Объем экрaна 0,2 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,45 м с уплотнением грузеым транспортом. Камни крупнее 30 см из зоны 3 удалялись. Объем фильтров 0,14 млн. м³.

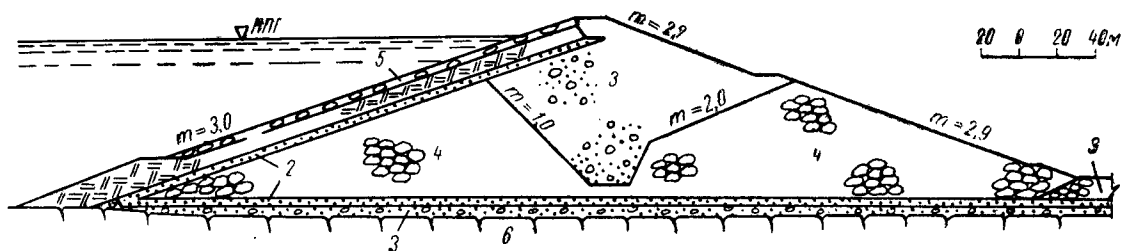
3. Зона 4 упорной призмы из карьерной мелочи укладывалась слоями 1,5 м с поливом водой (расход воды 3 м³ на 1 м³ каменной наброски) и механическим уплотнением. Зона 5 отсы-

палась слоями 15 м с уплотнением струей воды из гидромонитора. Объем каменной наброски 1,55 млн. м³.

5. При сопряжении экрaна со скалой основания материал экрaна укладывался прямо на скалу в случае, если скала здоровая. Если скала выветрелая, то вначале укладывалась бетонная плита толщиной 0,5 м. Среднесуточная производительность по укладке каменной наброски 9,6 тыс. м³; максимальная—12 тыс. м³.

70. ПЛОТИНА БРАЙОНЕС

США, 1960—1964 гг. $H=100$ м; $b=15,2$ м; $L=640$ м; $V=462$ м



1—экран из грунта, полученного в результате отсева крупных фракций из речных аллювиальных отложений; 2—четырёхслойный фильтр; 3—загрязнённый гравий с включением отдельностей песчаника; 4—каменная наброска (песчаник); 5—крепление камнем; 6—сланцы, песчаники и конгломераты

1. Экран укладывался слоями 0,15—0,20 м с уплотнением кулачковым катком. Объем экрана 1,07 млн. м³.

2. Фильтр (четырёхслойный) укладывался на откос плотины полосами шириной 3,65 м, длиной 26 м и толщиной от 30 до 90 см с помощью специального конвейера длиной 45 м.

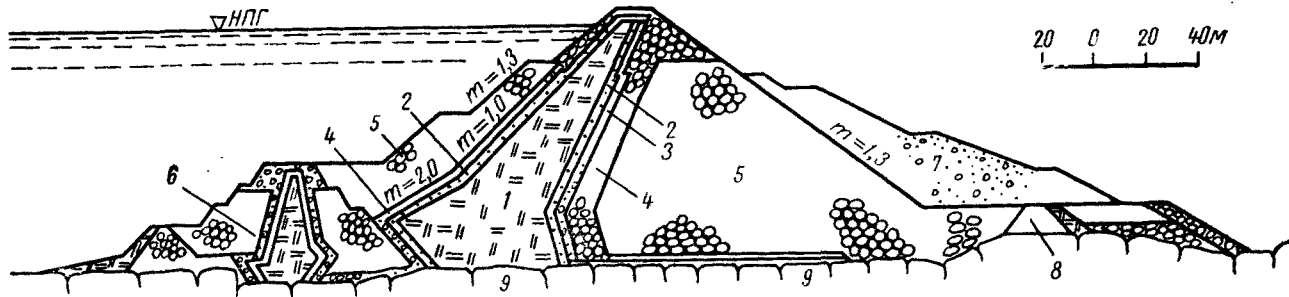
3. Упорная призма укладывалась слоями 0,25 м с уплотнением специальным кулачковым катком за четыре—восемь проходов. Каток при движении по карте дробил камень до размеров меньше 150 мм, что способствовало более плотной укладке. Кроме кулачкового катка применялись пневмотрамбовка и решетчатый каток. Объем упорной призмы 6,75 млн. м³.

4. В плотине установлена различная контрольно-измерительная аппаратура. Наряду с известными приборами применены приборы новых конструкций для измерения пьезометрических напоров и порового давления.

5. Для возведения плотины были использованы малопрочные скальные породы: сланцы, конгломераты, что привело к уположению откосов и соответственно к увеличению объема плотины. Общий объем тела плотины 7,8 млн. м³. Стоимость плотины 21,3 млн. долларов.

71. ПЛОТИНА ДЖАТИЛУХУР

Индонезия, р. Джитарум, 1961—1967 гг. $H=100$ м; $b=10$ м; $L=800$ м; $V=600$ м



1—экран из суглинки; 1—первый слой фильтра из песчано-гравийной смеси (0—20 мм); 3—второй слой фильтра из гравия и щебня (2—125 мм); 4—сортированный камень ($d_{\text{макс}}=60$ см; 25% менее 20 мм); 5—каменная наброска (15% менее 20 мм); 6—верховая перемычка; 7—пригрузка; 8—низовая перемычка; 9—аргиллиты, песчаники, известняки

1. Экран укладывался слоями 0,35 м с уплотнением 45-тонным катком на пневмошинах за восемь проходов; $\gamma_{\text{ск}}=1,6$ т/м³; $\varphi=19^\circ$; $c=0,2$ кг/см². Увеличение влажности по сравнению с оптимальной ($\psi_{\text{опт}}=22\%$) допускалось на 2%. Камни более 20 см удалялись. Объем экрана 1,14 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,5 м с поливом (расход воды 0,15 м³ на 1 м³ материала фильтров) и уплотнением 3,5-тонным вибркатком. Объем фильтров 0,555 млн. м³.

3. Зона 4 укладывалась слоями 1 м с поливом (расход воды 0,3 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением 28-тонным трактором или вибркатком. Зона 5 отсыпалась слоями 10 м со стороны ВВ и 5 м со стороны НВ с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м³ на 1 м³ каменной наброски).

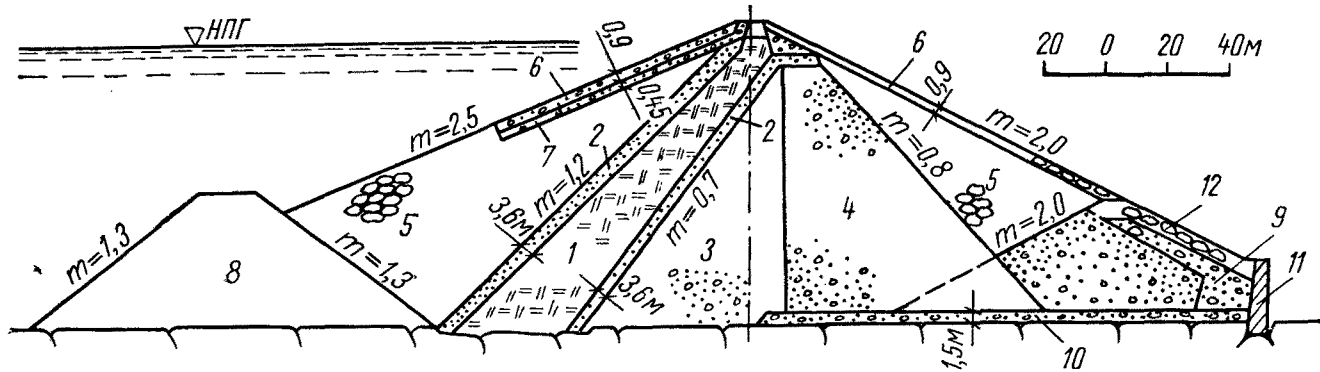
Зона 7 укладывалась слоями 0,6—1,0 м с уплотнением катком на пневмошинах. Расчетный угол внутреннего трения принят для зоны 5 $\varphi=42^\circ$, для зоны 7 $\varphi=35^\circ$.

4. Установлена контрольно-измерительная аппаратура для определения пьезометрических напоров, порового давления, давления грунта, а также осадок и горизонтальных смещений тела плотны.

5. Для определения угла внутреннего трения каменной наброски проводились опыты на приборе плоского сдвига с каретками размером 1,2×1,2 м. Максимальный размер камня в опытах 20 см; вертикальная нагрузка до 8 кг/см². Угол внутреннего трения φ в опытах получен равным 45°. Общий объем плотны 9,1 млн. м³.

72. ПЛОТИНА ИЭЙЛ

США, 1952 г. $H=98$ м; $b=9$ м



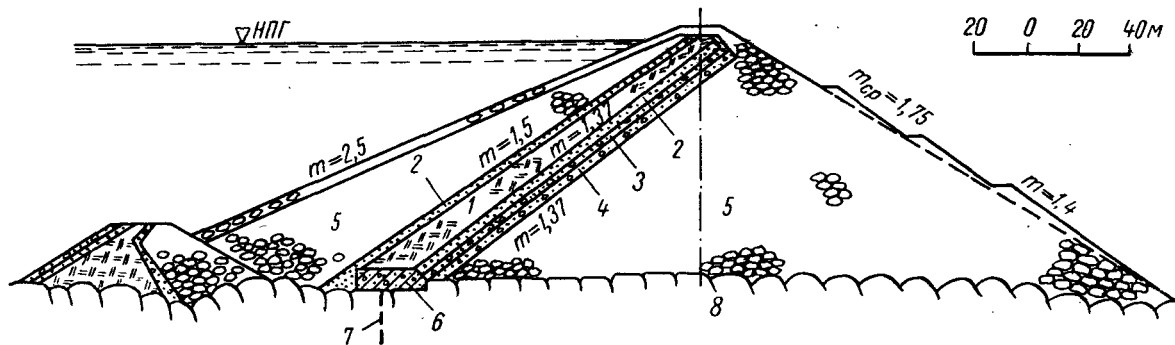
1—экрaн из глинистых грунтов ($d < 2,5$ см); 2—фильтр из песка; 3—песчано-гравийная зона с преобладанием мелкого песка; 4—гравийно-песчаная зона; 5—наброска карьерного камня; 6—крепление камнем ($50\% > 38$ мм); 7—крепление камнем (25—150 мм); 8—верховая перемычка высотой 40 м; 9—отборный камень из карьера или полезных выемок; 10—дренаж с защитным переходным слоем; 11—арочная перемычка; 12—

1. Экрaн укладывался слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах; $\gamma_{ск} = 2,0—2,08$ т/м³.
2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.

5. Так как район строительства характеризуется большим количеством атмосферных осадков, поверхность карьера глинистых грунтов была асфальтирована на площади 0,1 км² в целях защиты его от насыщения водой. Общий объем плотны 3,2 млн. м³. Стоимость гидроузла 30 млн. долларов.

73. ПЛОТИНА КЕННИ

Канада, р. Нечако, 1951—1952 гг. $H=96,6$ м; $b=12$ м; $L=475$ м; $B=421$ м



1—экрaн из валунистой глины; 2—песок ($d < 19$ мм); 3—гравий ($d = 19-76$ мм); 4—дробленый камень ($d = 76-254$ мм); 5—каменная наброска из базальтов; 6—бетонная подушка; 7—противофильтрационная завеса; 8—порфиры и базальты

1. Экрaн укладывался слоями 0,25 м с уплотнением кулачковым катком за 16 проходов; $\gamma_{ск} = 1,63$ т/м³, что составляло 95% от плотности по Проктору; $w_{ср} = 12\%$. В примыканиях к бортам влажность суглинки увеличивалась. Камень крупнее 50 мм убирался.

2. Фильтры укладывались слоями 0,25—0,30 м с поливом водой и уплотнением тракторами. В примыканиях к бортам толщина слоев уменьшается. Объем фильтров 0,74 млн. м³.

3. Упорная призма из рядового карьерного камня отсыпалась слоями 12 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски, давление 10 атм). Объем каменной наброски 1,57 млн. м³.

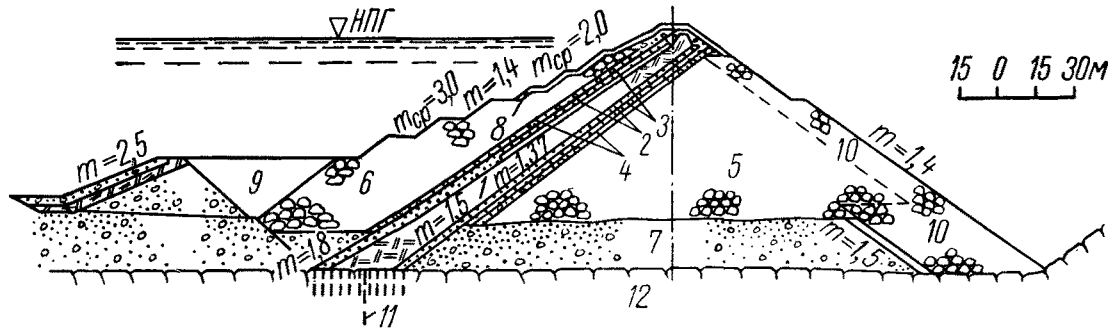
4. По данным натуральных наблюдений осадки и горизонтальные смещения гребня составили: через шесть месяцев осадка 17 см (0,23% от высоты плотины), смещение 12 см; через один

год осадка 32 см (0,44%), смещение 21 см; через полтора года осадка 36 см (0,49%), смещение 22 см; через три с половиной года осадка 44 см (0,60%), смещение 23 см; через пять с половиной лет осадка 50 см (0,68%), смещение 30 см; через девять с половиной лет осадка 58 см, смещение 44 см.

5. Основное строительное оборудование: экскаваторы с ковшами емкостью 2,7 м³ (4 шт.); 1,9 м³ (5 шт.); 0,6 м³ (2 шт.); тракторы (25 шт.); автосамосвалы с кузовами емкостью 8 и 13 м³ (31 шт.); скреперы емкостью 10 м³ (29 шт.). Разработка суглинки пониженной влажности производилась скреперами, доувлажнение проводилось в карьере и на карте. Камень в упорную призму укладывали с увеличенным крупности от верхнего бьефа к нижнему. Крупный камень отсортировывался в результате его сегрегации на высокому конусе отвала. Среднесуточная производительность по наброске составляла 13 тыс. м³.

74. ПЛОТИНА БРАУНЛИ

США, р. Снейк, 1955—1958 гг. $H=94,6$ м; $b=10,5$ м; $L=426$ м



1—экран из суглинка (Г); 2—песок ($d < 37,5$ мм) (Г); 3—гравий (37,5—75 мм) (Г); 4—мелкий камень (75—250 мм) (Г); 5—каменная наброска с увеличенной крупности к нижнему бьефу; 6—пригрузка экрана из каменной наброски; 7—аллювиальные отложения; 8—крепление из отборного крупного камня; 9—засыпка выветрелым камнем; 10—крупный камень; 11—противофильтрационная завеса; 12—базальты

1. Экран укладывался слоями $0,15$ м с уплотнением кулачковым катком за 12—16 проходов; $\gamma_{ск}=1,76$ т/м³; $\varphi=16,7^\circ$; $k_{ф} = 2,1 \cdot 10^{-5} \div 3,7 \cdot 10^{-7}$ см/сек. У береговых примыканий уплотнение осуществлялось ручными пневмотрамбовками при влажности несколько выше оптимальной ($w_{опт}=19,6\%$; $W_{т}=30,6\%$; $W_{пл} = 8,5\%$). Объем экрана $0,34$ млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями $0,25—0,30$ м с уплотнением груженым автосамосвалом грузоподъемностью 20 т за четыре прохода. Угол внутреннего трения $\varphi=28^\circ$. Объем фильтров $0,36$ млн. м³.

3. Часть зоны 5, расположенная ближе к экрану и состоящая из мелкого камня, укладывалась слоями $0,45$ м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах. Поверхность слоев после уплотнения обрабатывалась струей воды из гидромонитора. Бо-

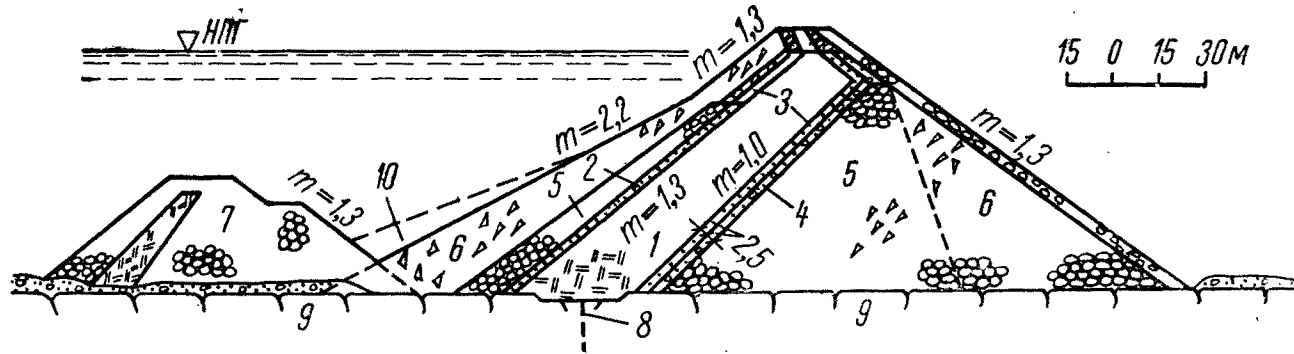
лее крупный камень в зоне 5, а также в зонах 6 и 10 отсыпался слоями не менее 12 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски).

4. По данным натурных наблюдений через год после возведения плотны осадка гребня в максимальном сечении составила $0,20\%$ от высоты плотны.

5. Основные стронтельные механизмы: экскаваторы (прямые лопаты и драглайны) с ковшами емкостью от $1,9$ до $4,2$ м³; автосамосвалы с кузовом 17 м³. Максимальная суточная производительность по укладке материала экрана $2,23$ тыс. м³, по укладке камня 23 тыс. м³. Основная масса камня поступала из полезных выемок. Землетрясение силой 7—8 баллов с эпицентром на расстоянии 480 км от плотны, не повлияло на состояние плотны.

75. ПЛОТИНА ЛЮИС СМИТ

США, р. Силсей, 1958—1961 гг. $H=90$ м; $b=15$ м; $L=680$ м; $B=320$ м



1—экрай из суглинка (Г); 2—карьерная мелочь ($d < 150$ мм) (Г); 3—карьерная мелочь ($d < 12,7$ мм) (Г); 4—карьерная мелочь ($d = 12,7 + 76$ мм) (Г); 5—карьерный камень ($d = 150 + 300$ мм) (Г); 6—наброска камня ($d > 300$ мм); 7—верховая перемычка; 8—противофильтрационная завеса глубиной до 45 м; 9—пласты сланцев и песчаники с прослоями угля; 10—пригрузка грунтом из расчисток

1. Экран укладывался слоями 0,20 м с уплотнением кулачковым катком за шесть—восемь проходов; $\gamma_{ск} = 1,84$ т/м³; $\varphi = 42^\circ$; $c = 0,159$ кг/см²; $k_{ф} = 10^{-3} \div 10^{-8}$ см/сек; $k_{ф,ср} = 1,4 \cdot 10^{-5}$ см/сек. У береговых примыканий суглинок уплотнялся ручными трамбовками и пневмотрамбовками при влажности больше оптимальной.

2. Фильтры укладывались слоями 0,30 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за два прохода.

3. Зона 5 укладывалась слоями 0,45 м с полным водой (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода; $\gamma_{ск} = 2,14$ т/м³; $\varphi = 45^\circ$. Зона 6 отсыпалась слоями 9 м с уплотнением струей

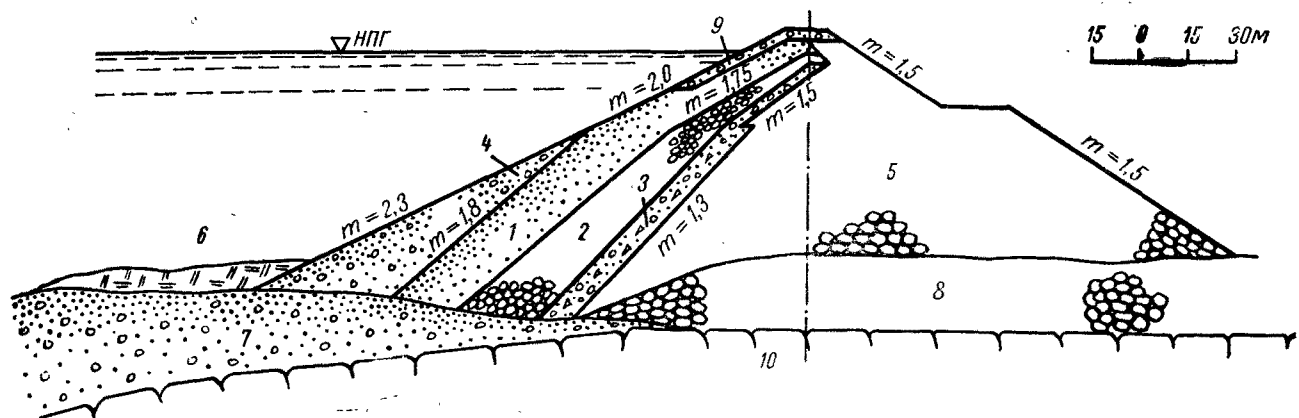
воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски, давление 2 атм); $\gamma_{ск} = 1,86$ т/м³; $\varphi = 38^\circ$.

4. По данным натурных наблюдений за четыре года осадка гребня в максимальном сечении составила 13 см (0,14% от высоты плотны). Горизонтальное смещение гребня в сторону НБ составило 9 см. При опорожении водохранилища наблюдалось смещение гребня по направлению к ВБ.

5. Максимальная месячная производительность по всем видам насыпи составляла 300 тыс. м³. Общий объем плотны 4 млн. м³. Стоимость укладки по зонам за 1 м³ в долларах: край (зона 1) — 0,828; камень (зона 5) — 0,82; камень (зона 6) — 0,855; фильтры — 1,41.

76. ПЛОТИНА ДАЛЛЕС

США, р. Колумбия, 1952—1957 гг. $H=90$ м; $b=9$ м; $L=610$ м; $B=365$ м



1—песчаный грунт; 2—гравий; 3—каменная мелочь; 4—песчано-гравийный грунт; 5—горная масса из карьера, отсыпанная частично под воду; 6—суглинок; 7—песок и гравий; 8—камень из полезных выемок, отсыпанный под воду; 9—крепление крупным камнем; 10—базальты

Возведение замыкающей части плотины проводилось в два этапа — под воду и выше уровня воды. Первоначально было выполнено перекрытие реки пионерной отсыпкой камня в воду (зоны 5, 8) с последующей отсыпкой в воду других элементов плотины (зоны 1, 2, 3, 4). Подводные откосы для гравия — 1:1,8; для материала прикрытия — 1:1,7; для каменной мелочи — 1:1,3. Выше горизонта воды укладка осуществлялась следующим образом:

1. Зона 1 укладывалась слоями 1,0 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за четыре прохода $k_{\phi}=(6-10) \cdot 10^{-3}$ см/сек.
2. Зоны 2, 3 и 4 укладывались слоями 0,5 м с уплотнением 50-тонным катком на пневмошинах за два прохода. Количество песка в зоне 4 составляло от 39 до 50%.
3. Зона 5 укладывалась слоями 1—1,5 м с уплотнением

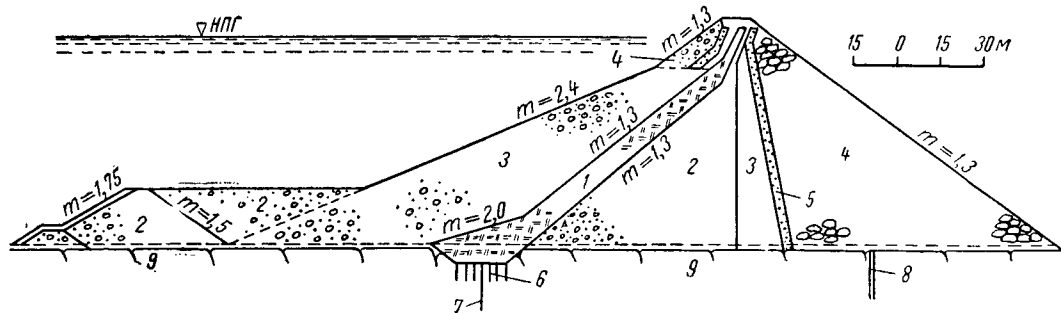
проходящим транспортом.

4. По данным натуральных наблюдений после трех недель эксплуатации осадка гребня в максимальном сечении составила 15,2 см. За последующие 14 месяцев осадка достигла 45 см. После трех лет осадка составила 51 см. Горизонтальное перемещение в сторону НБ за год оказалось равным 15 см, а за три года — 18 см.

5. Плотина возводилась без перемычек. Река была частично подперта, вследствие чего глубины достигали 38 м. Зоны плотины укладывались друг на друга по принципу обратного фильтра. За счет устройства под водой понура градиент фильтрации был уменьшен и потери на фильтрацию снизились до 3 м³/сек с последующим уменьшением их за счет кольматажа. За подводной укладкой материалов велось тщательное наблюдение с помощью водолазов, применялось телевидение.

77. ПЛОТИНА ХИРФАНЛИ

Турция, р. Кизил-Ирмак, 1954—1958 гг. $H=83$ м; $b=10$ м; $L=365$ м



1—экран из глины; 2—наброска из мелких фракций выветрелого габбро; 3—наброска из крупных фракций выветрелого габбро; 4—наброска из прочного габбро; 5—фильтр из дробленого камня; 6—площадная цементация; 7—противофильтрационная завеса глубиной 30 м; 8—дренажные скважины, шаг 10 м; 9—габбро

1. Экран из глины укладывался слоями 0,15 м с уплотнением кулачковым катком при оптимальной влажности. Объем экрана 0,2 млн. м³.

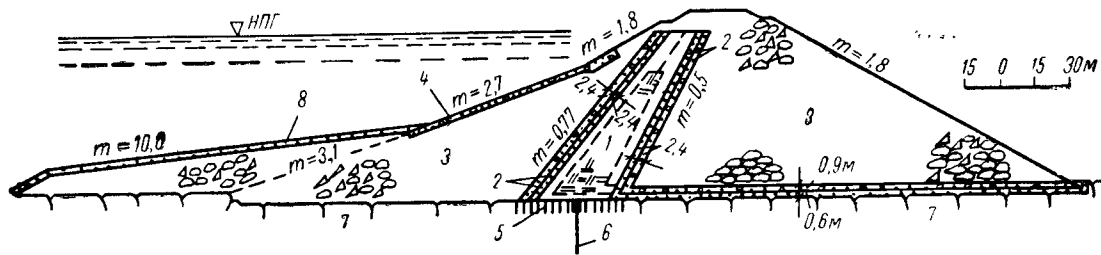
2. Переходные зоны (2, 3) из выветрелого камня укладывались тонкими слоями и уплотнялись 50-тонным катком на пневмошинах.

3. Каменная наброска (зона 4) отсыпалась высокими слоями с уплотнением струей воды из гидромонитора.

5. После подъема воды на гребне плотины появились продольные трещины, вызванные неодинаковыми осадками отдельных зон плотины. Каменный материал (габбро) поступал, в основном, из полезных выемок; $\gamma_{уд}=3,1$ т/м³. Общий объем тела плотины 2,3 млн. м³. Стоимость гидроузла 100 млн. турецких лир.

78. ПЛОТИНА СКЭММОНДЕН

Англия, р. Блэк Брук (строится). $H=79$ м; $b=54$ м; $L=625$ м; $V=435$ м



1—экрaн из глины; 2—двухслойный песчано-гравийный фильтр; 3—каменная наброска; 4—крепление крупным камнем; 5—площадная цементация; 6—противофильтрационная завеса глубиной до 67 м; 7—песчаники и сланцы; 8—крепление из сортированной скалы

1. Экрaн укладывается слоями 0,15—0,20 м с уплотнением катком на пневмошинах при оптимальной влажности. С верховой стороны экранa уложена более пластичная и более жирная глина. Объем экранa 0,32 млн. м³.

2. Фильтры укладываются слоями 0,6 м (первый слой) и 0,9 м (второй слой) с уплотнением 11,5-тонным виброкатком за четыре—пять проходов. Объем фильтров 0,342 млн. м³.

3. Каменная наброска укладывается слоями 1,5—2,0 м с уплотнением 11,5-тонным виброкатком за пять проходов или двумя 5-тонными виброкатками, сцепленными таидемом за шесть проходов. Объем упорной призмы и крепления 3,58 млн. м³.

4. Устанавливается контрольно-измерительная аппаратура: пьезометры (89 шт.); грунтовые динамометры (18 шт.); гидрав-

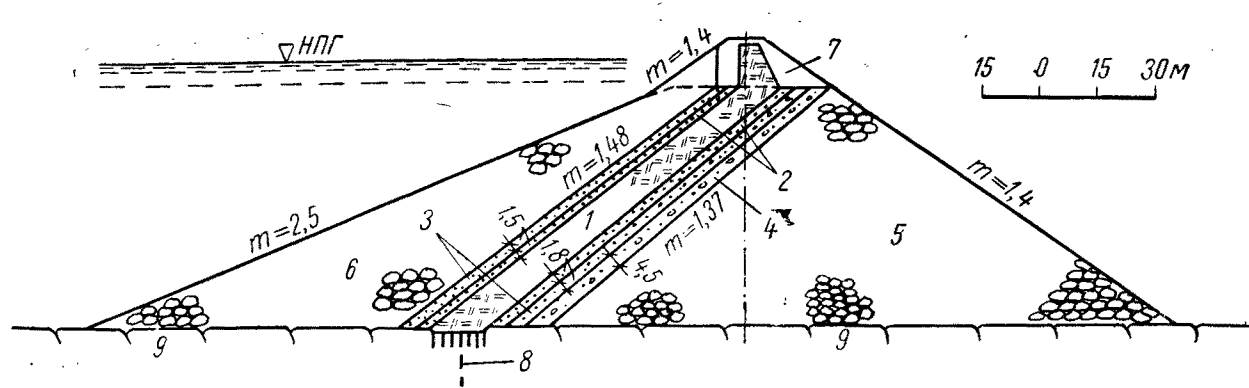
лические марки (11 шт.); приборы, оборудованные радиозондом, для измерения осадок (4 шт.), то же для измерения горизонтальных смещений (4 шт.); динамометры для каменной наброски (6 шт.).

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 2,65 до 4,55 м³ (9 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 45 т (50 шт.); тракторы (40 шт.); катки (30 шт.); скреперы (13 шт.). Максимальная недельная производительность по отсыпке камня 86,3 тыс. м³, по отсыпке глины 16,8 тыс. м³.

Стоимость плотины 3,89 млн. фунтов (аигл.).

79. ПЛОТИНА НАНТАХАЛА

США, р. Нантахала, 1940—1942 гг. $H=76,2$ м; $b=9$ м; $L=320$ м; $B=293$ м



1—экрaн из суглинка (Г); 2—песок ($d < 6$ мм) (Г); 3—щебень ($d=6+76$ мм) (Г); 4—карьерная мелочь ($d=76+300$ мм); 5—каменная наброска, отсыпанная с увеличением крупности камня к нижнему бьефу; 6—пригрузка из каменной наброски; 7—горная масса из туннелей; 8—противофильтрационная завеса; 9—песчанки

1. Экрaн укладывался слоями 0,15 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск.ср}=1,6$ т/м³; $\varphi=31,4^\circ$; $c=0,15$ кг/см²; $w_{ср}=22,6\%$; $k_{ф}=1,87 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Из-за высокой влажности грунта, превышающей на 5% оптимальную, минимальная плотность экрана была ограничена величиной $\gamma_{ск}=1,51$ т/м³. Объем экрана 0,17 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах. Объем фильтров 0,266 млн. м³.

3. Каменная наброска в упорную призму плотины отсыпалась слоями 15—40 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2—4 м³ на 1 м³ каменной наброски). При-

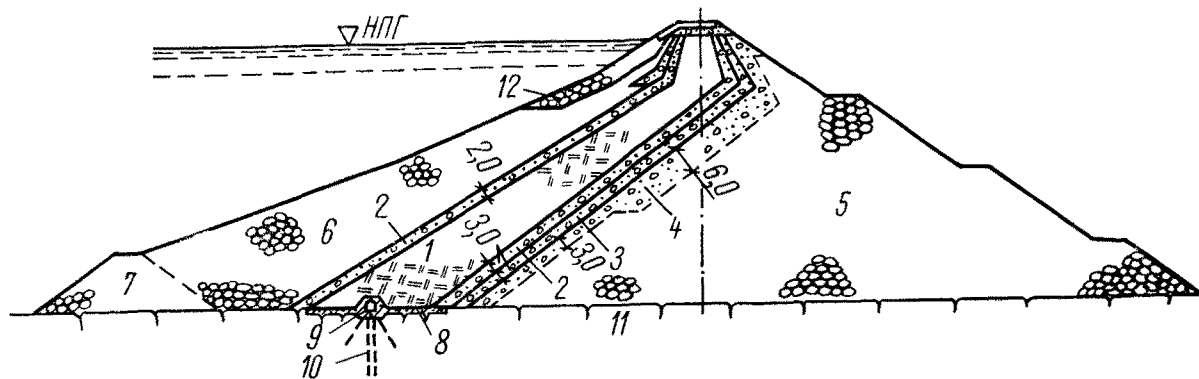
грузка (зона 6) отсыпалась слоями 3—5 м также с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 1,5 м³ на 1 м³ камня). Объем каменной наброски 1,285 млн. м³.

4. По данным натурных наблюдений в течение пяти лет эксплуатации осадка гребня в максимальном сечении составила 60,1 см, горизонтальное смещение 28,9 см. Через 15 лет осадка составила 87 см (1,12% от высоты плотины), горизонтальное смещение — 46,5 см (0,61%).

5. Основание под всей плотной было расчищено до скалы. Общий объем тела плотны 1,72 млн. м³.

80. ВИЛЮЙСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Вилюй, 1963—1968 гг. $H=74,5$ м



1—экрaн из щебенисто-древяного суглинка (глинистые частицы—18%, крупнозем—55%) (Γ); 2—фильтр из песчано-гравелистой смеси ($d=0+40$ мм); 3—фильтр из песчано-гравелистой смеси ($d=0+150$ мм); 4—выравнивающий слой из мелкого камня; 5—каменная наброска из рядового камня (диабазы) (Γ); 6—каменная пригрузка из рядового камня; 7—банкет; 8—бетонная плита; 9—потерна; 10—противофильтратционная завеса; 11—диабазы; 12—крепление крупным камнем ($d_{50}=80$ см)

1. Экрaн укладывался слоями 0,30 м (летом) и 0,50 м (зимой) с уплотнением груженым автосамосвалом за 8—10 проходов; $\gamma_{ск}=2,05-2,10$ т/м³; $\varphi > 27^\circ$; $w=9-11\%$; $k_{\phi}=10^{-4}$ см/сек. Объем экрaна 0,63 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 3 м с уплотнением груженым автосамосвалом; $\gamma_{ск}=1,95$ т/м³. Объем фильтров 0,42 млн. м³.

3. Каменная наброска отсыпалась слоями 5—10 м с уплотнением груженым автосамосвалом. В летний период проводилось дополнительно уплотнение струей воды из гидромонитора (расход воды 1,0—2,5 м³ на 1 м³ камня, давление 5—6 атм). Объем каменной наброски 4,0 млн. м³.

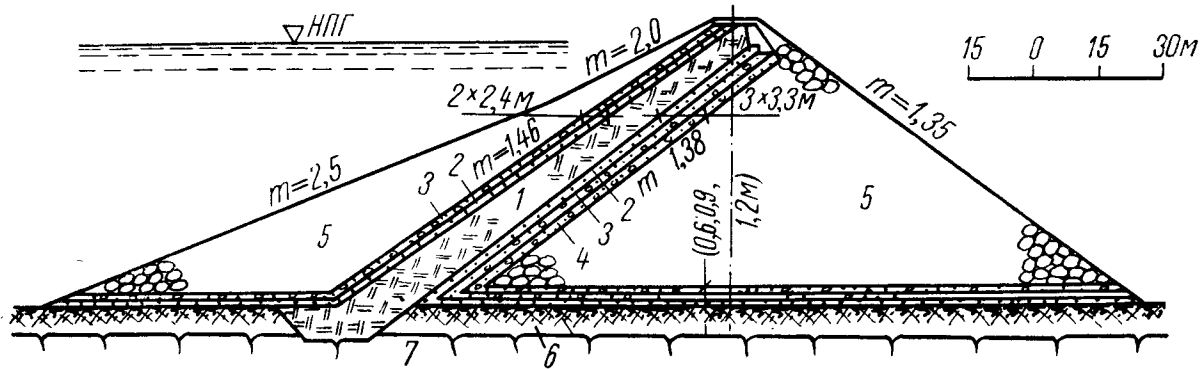
4. По данным натурных наблюдений за период с 20.V 1965 г. по 30.VIII 1968 г. осадка упорной призмы в точке, расположен-

ной на низовом откосе на высоте $1/3 H$ от подошвы плотины, составила 2,85 м (или 6,53% от высоты плотины).

5. Особенностью строительства явилось возведение экрaна плотины из суглинка при низких зимних температурах. Суглинок заготавливался в летнее время и укладывался в бурты, где зимой сохранял температуру 13—15°. Для минимального промерзания буртов применяли солевую обработку грунта. Перед разработкой бурта применялся электропрогрев. Для транспортировки суглинка использовались автосамосвалы с обогреваемым кузовом. Подготовка основания при укладке суглинка проводилась с помощью тепловых агрегатов, изготовленных из самолетных турбореактивных двигателей. При средней интенсивности укладки суглинка в экрaн 2000 м³/сут максимальная интенсивность составила 3400 м³/сут.

81. ПЛОТИНА БЕРСИМИС

Канада, р. Берсимис, 1954—1955 гг. $H=68,6$; $b=9$ м; $L=640$ м; $V=275$ м



1—экран из ледниковых глинистых отложений (Г); 2—песок ($d < 6$ мм) (Г); 3—гравий ($d=6+76$ мм) (Г); 4—карьерная мелочь ($d=76+300$ мм) (Г); 5—наброска карьерного камня; 6—слой водонепроницаемого грунта; 7—парагнейсы, гранито-гнейсы

1. Экран укладывался слоями 0,2 м с уплотнением груженными автосамосвалами; $\gamma_{ск}=2,10$ т/м³; $\varphi=36^\circ$; $c=0,24-0,63$ кг/см²; $k_{ф}=4 \cdot 10^{-5}-1 \cdot 10^{-6}$ см/сек; $\omega_{опт}=9,3\%$; $\omega_{ср}=9,6\%$. Камни крупнее 75 мм убирались. В зимнее время применяли хлористый кальций, что позволило вести укладку при температуре воздуха не ниже 12°С. Объем экрана 0,316 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с поливом водой, разравниванием и уплотнением бульдозером; $\varphi=42^\circ$. Поверхность предыдущего слоя перед укладкой нового рыхлилась и поливалась водой. Объем фильтров 0,560 млн. м³.

3. Каменная наброска отсыпалась слоями от 12 до 42 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³

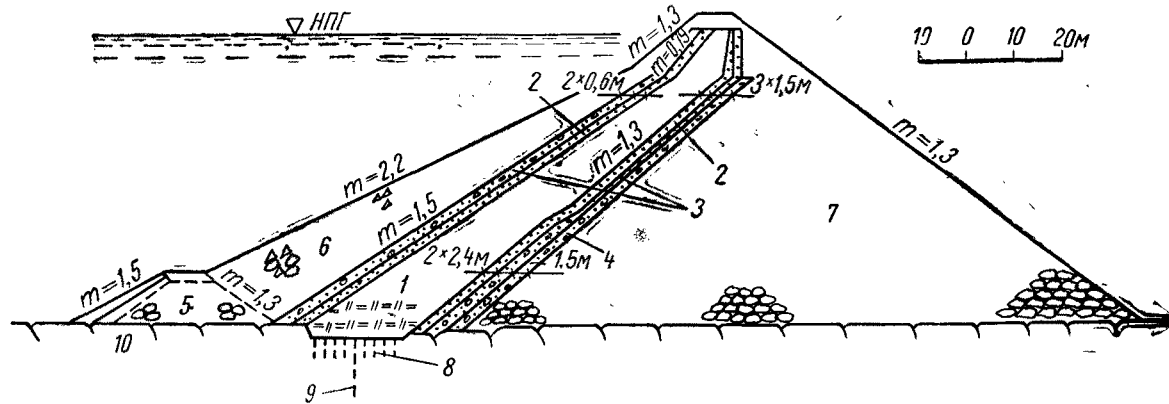
на 1 м³ каменной наброски); $\varphi=42^\circ$. Объем каменной наброски 1,97 млн. м³.

4. По данным натуральных наблюдений за два года осадка гребня в максимальном сечении составила 4,7 см; горизонтальное смещение незначительно, в пределах инструментальной ошибки.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью от 1,9 м³ до 3,8 м³ (7 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 35 т (14 шт.). Средняя производительность при возведении отдельных элементов плотины за неделю составляла: экран 13 тыс. м³, фильтры 22,8 тыс. м³, каменная наброска 61 тыс. м³.

82. ПЛОТИНА БЭР КРИК

США, р. Туназегги, 1953 г. $H=66$ м; $b=7,6$ м; $L=236$ м



1—экрaн из суглинка (Г); 2—песок ($d < 13$ мм) (Г); 3—щебень ($d=13+76$ мм) (Г); 4—щебень ($d=76+250$ мм); 5—верховая перемычка из горной массы; 6—пригрузка из горной массы; 7—наброска из горной массы, уложенная с увеличением крупности к НБ; 8—площадная цементация; 9—противофильтрационная завеса; 10—сланцы

1. Экрaн укладывался слоями 0,2 м с уплотнением кулачковым катком $\gamma_{ск} = 1,63$ т/м³; $\varphi = 31,8^\circ$; $c = 0,183$ кг/см²; $k_{ф} = = 2,6 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Объем экранa 0,125 млн. м³.

2. Первый и второй слон фильтров укладывались совместно с экраном слоями 0,3 м и уплотнением катком на пневмошинах. Третий слой фильтра выравнивал поверхность наброски и отсыпался с гребня упорной призмы. Объем фильтров 0,055 млн. м³.

3. Упорная призма отсыпалась слоем 55 м с уплотнением струей воды из гидромонитора. Камень в упорной призме увели-

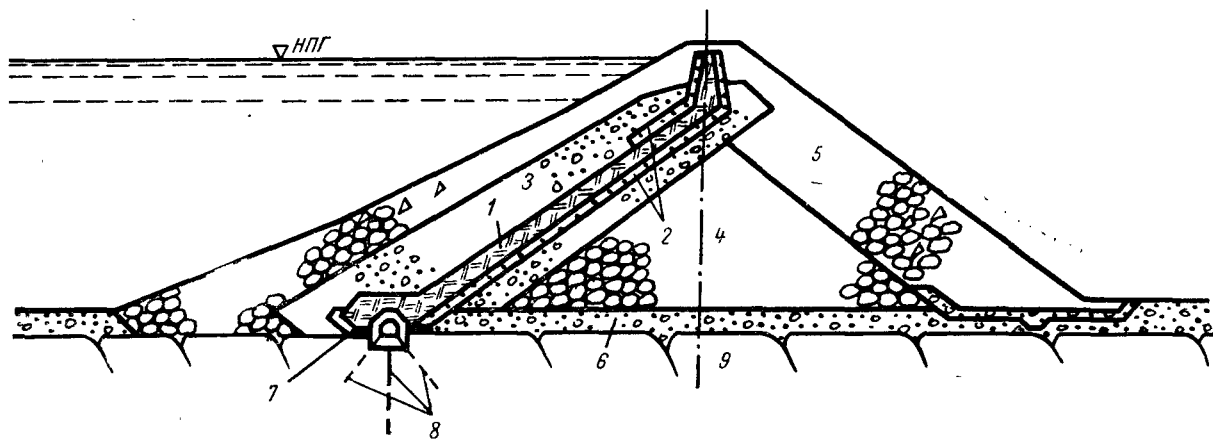
чивается по крупности от ВБ к НБ. Объем каменной наброски 0,646 млн. м³.

4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении составляла (в процентах от высоты плотины): через полгода—0,27%, через год—0,30%, через два года—0,35%, через 3,8 года—0,43% (29 см). Горизонтальное смещение гребня через 3,8 года 16,4 см (0,25%); максимальное смещение в плоскости, перпендикулярной откосу, 16 см.

5. Ось плотины в плане изогнута в сторону ВБ. Стрела прогиба 18,8 м.

83. ПЛОТИНА ШАНЦЕ

Чехословакия, р. Оставиче, 1968 г. $H=64$ м; $L=350$ м



1—экран из глины (Г); 2—смесь обычного песка, речного песка и гравия (83% <math><30\text{ м.м.}</math>, 17% <math><2,5\text{ м.м.}</math>) (Г); 3—гравийно-гальечниковая смесь; 4—каменная наброска, включающая значительное количество мелких фракций камня; 5—каменная наброска; 6—аллювий; 7—бетон; 8—противофильтрационная завеса глубиной до 95 м; 9—песчаники, известняки, Глинистые сланцы

1. Экран укладывался слоями 0,15—0,20 м с уплотнением 12-тонным самоходным катком на пневмошинах за шесть—восемь проходов. Требуемая плотность составляла 95% от плотности по Проктору.

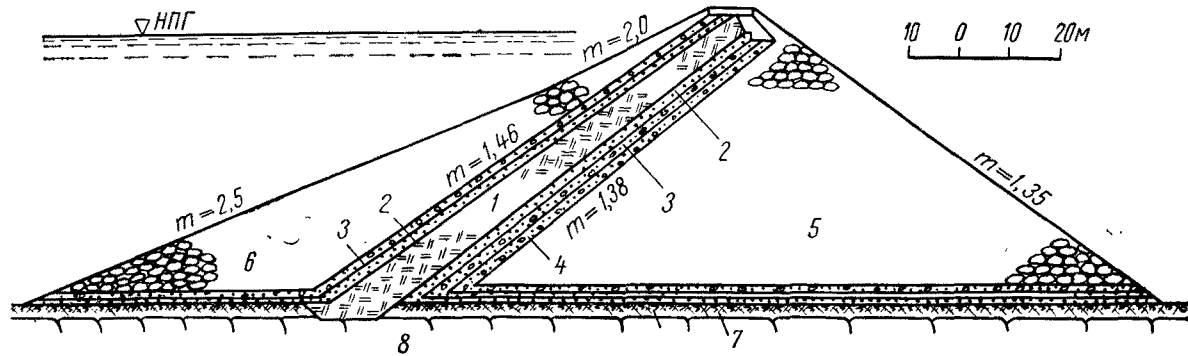
2. Первый слой фильтра (зона 2) укладывался слоями 0,15—0,20 м с уплотнением 12-тонным самоходным катком на пневмошинах за шесть—восемь проходов. Второй слой фильтра (зона 3) укладывался слоями 0,4 м с уплотнением 8,2-тонным виброкатком за шесть—восемь проходов.

3. Каменная наброска укладывалась слоями 1,5 м с полным водой (расход воды 0,5 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением 8,2-тонным виброкатком за шесть—восемь проходов.

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы дизельные и электрические с ковшами емкостью от 0,6 м³ до 2,5 м³, автосамосвалы «Татра» — 180 грузоподъемностью 20 т. Общий объем тела плотины 1,2 млн. м³. Стоимость 1 м³ каменной наброски 40 крон (Чехосл.).

84. ПЛОТИНА ДЕРОШ

Канада, р. Дерош, 1955 г. $H=61$ м; $b=9$ м; $L=330$ м



1—экрaн из ледниковых глинистых отложений; 2—песок ($d < 6$ мм); 3—гравий ($d = 6-78$ мм); 4—карьерная мелочь ($d = 76-300$ мм); 5—наброска карьерного камня; 6—пригрузка из карьерного камня; 7—водонепроницаемый грунт; 8—парагнейсы, гранито-гнейсы

1. Экрaн укладывался слоями 0,20 м с уплотнением груженными автосамосвалами; $k_{\phi} = 4 \cdot 10^{-6}$ см/сек. Объем экранa 0,17 млн. м³.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с поливом водой и уплотнением бульдозером. Объем фильтров 0,095 млн. м³.

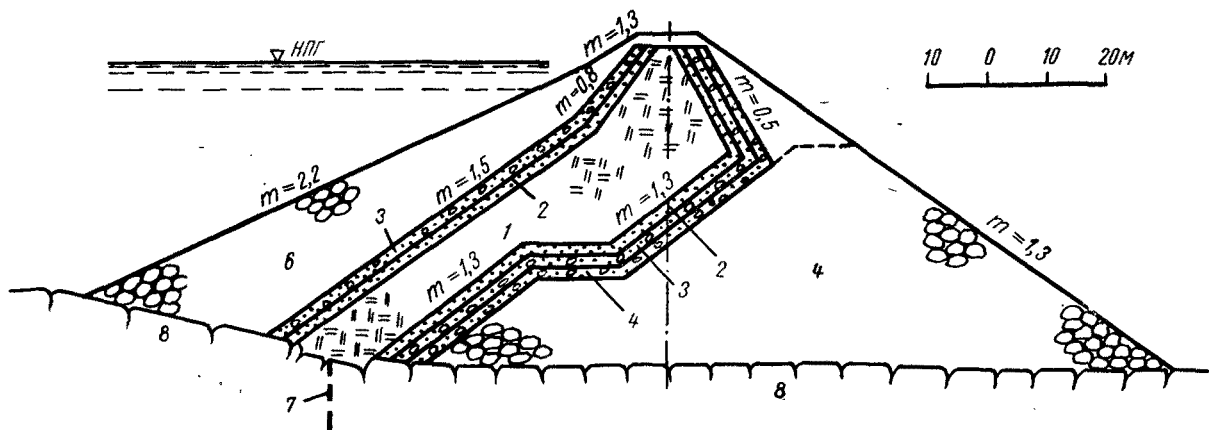
3. Упорная призма отсыпалась слоем 42 м с уплотнением

струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м³ на 1 м³ каменной наброски). Объем каменной наброски 0,824 млн. м³.

4. По натуральным наблюдениям осадка гребня плотины за три года эксплуатации составила 0,07% от высоты плотины. Горизонтальное смещение гребня незначительно, в пределах инструментальной ошибки.

85. ПЛОТИНА ВОЛЬФ КРИК

США, р. Вольф Крик, 1952—1955 гг. $H=56$ м; $b=9$ м; $L=246$ м



1—экрaн из суглинкa; 2—песок ($d < 6$ мм); 3—щебень ($d = 6-76$ мм); 4—карьерная мелочь ($d = 76-300$ мм); 5—каменная наброска из карьерного камня; 6—пригрузка из горной массы; 7—противофильтрационная завеса; 8—трещиноватые сланцы

1. Экрaн уложен слоями 0,2 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск.ср} = 1,57$ т/м³; $\gamma_{ск.макс} = 1,74$ т/м³; $\varphi = 30,6^\circ$; $c = 0,22$ кг/см²; $w = 23\%$; $k_f = 1,87 \cdot 10^{-6}$ см/сек.

2. Фильтры укладывались слоями 0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.

3. Каменная наброска отсыпалась слоями 15—40 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2—3 м³

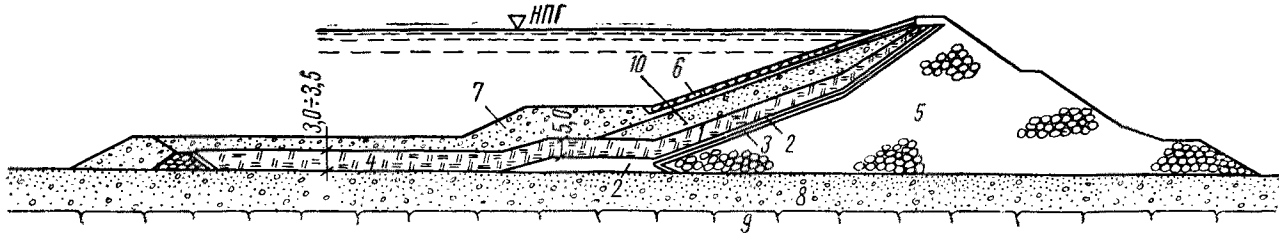
на 1 м³ каменной наброски).

4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении составила: через один год — 0,24%, через два года — 0,30%, через три года — 0,32%. Горизонтальное смещение в сторону НБ после наполнения водохранилища составило 8,55 см (0,15% от высоты плотины).

5. Общий объем тела плотины 0,555 млн. м³.

86. ПЛОТИНА ИРИКЛИНСКАЯ

СССР, р. Урал, $H=43$ м



1—экран из лессовидного суглинка; 2—естественный песчано-гравийный грунт (толщина слоя под экраном 0,60 м); 3—карьерная мелочь (толщина слоя 0,40 м); 4—понур из лессовидного суглинка; 5—горная масса из полезных выемок; 6—крепление крупным камнем; 7—карьерная мелочь; 8—аллювиальные отложения ($k_{\phi}=0,116$ см/сек); 9—туфы; 10—гравийно-песчаный грунт

1. Экран отсыпался в воду слоями 0,6—1,0 м с уплотнением движущимся транспортом; $\gamma_{ск}=1,60$ т/м³; $k_{\phi}=10^{-7}$ см/сек; $w=20\%$. Понур отсыпался в воду на всю глубину в русле реки, слоем 3,0—3,5 м. Объем суглинка 0,4 млн. м³.

2. Фильтр (40% карьерной мелочи и 60% естественного песчано-гравийного грунта) уплотнялся автотранспортом. Объем фильтров 0,053 млн. м³.

3. Отсыпка горной массы производилась пионерным способом слоями 2—4 м без специального уплотнения. По ТУ частиц меньше 1 см допускалось до 15%. Фактически их было 8%. Уплотне-

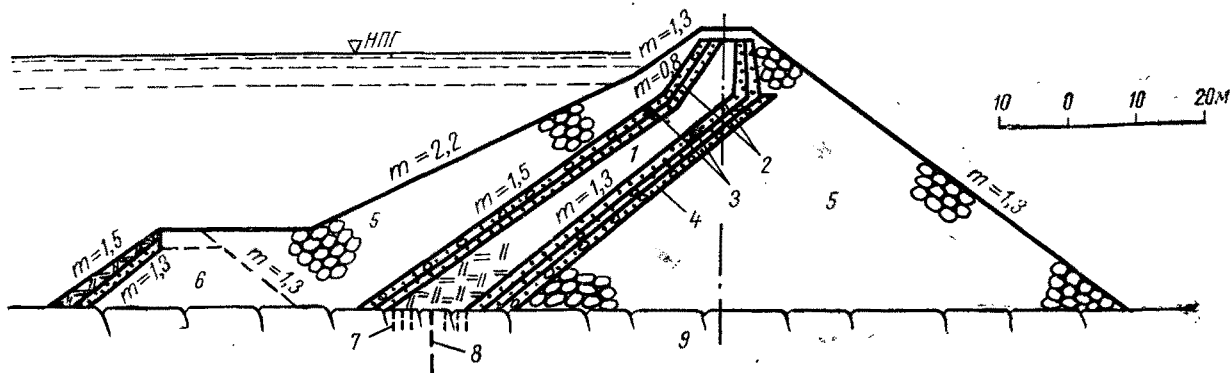
ние достигалось за счет движения груженого транспорта, доставляющего камень; $\gamma_{ск}=2,0$ т/м³. Объем каменной наброски 1,5 млн. м³.

4. Осадка гребня плотины в максимальном сечении составила за пятнадцать лет около 36 см (0,84%).

5. Плотина возведена без строительных перемычек и без водоотлива. Максимальный паводковый расход в период строительства достигал 5 тыс. м³. Все противофильтрационные устройства плотины возведены только отсыпкой суглинка в воду. Часть каменной наброски и фильтров возведены также отсыпкой в воду. Общий объем плотины 2,1 млн. м³.

87. ПЛОТИНА ИСТ-ФОРК

США, р. Туказеги, 1955 г. $H=41$ м; $b=7,5$ м; $L=117$ м



1—экран из суглинка; 2—песок ($d < 6$ мм); 3—щебень ($d=6+76$ мм); 4—карьерная мелочь ($d=76+300$ мм); 5—наброска из горной массы; 6—верховая перемычка; 7—площадная цементация; 8—противофильтрационная завеса; 9—слаботрещиноватые сланцы

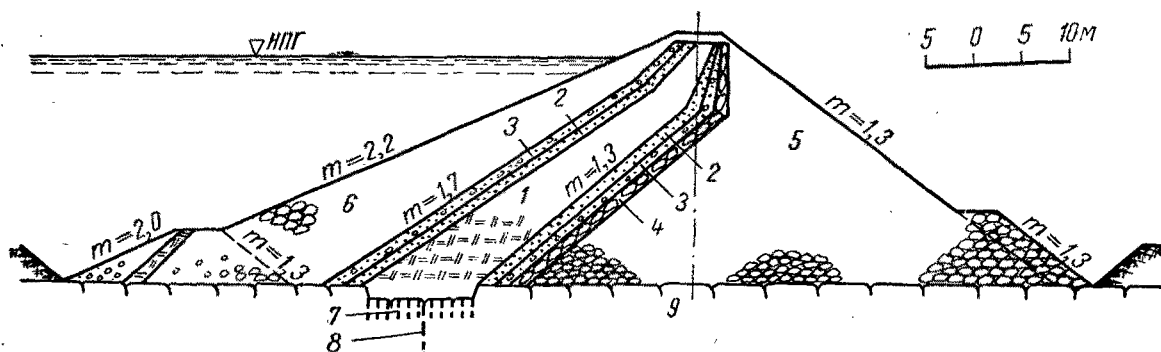
1. Экран укладывался слоями 0,2 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск}=1,65$ т/м³; $\varphi_{ср}=30,9^\circ$; $c=0,2$ кг/см²; $k_{ф}=1 \times 10^{-6}$ см/сек; $w_{ср}=24,9\%$.
2. Фильтры укладывались слоями 0,2—0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.
3. Каменная наброска отсыпалась слоями от 5 до 10 м

с уплотнением струей воды из гидромонитора.

4. По данным натуральных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении (в процентах от высоты плотины) составляла: через один год — 0,24%, через два года — 0,30%, через три года — 0,32%. Горизонтальное смещение гребня в сторону НБ через два года восемь месяцев составляло 5 см.

88. ПЛОТИНА ЧИЛХОВИ

США, р. Литл Теннесси, 1957 г. $H=28$ м; $b=6,25$ м; $L=200$ м



1—экрaн из суглинки; 2—песок ($d < 6$ мм); 3—щебень ($d = 6-76$ мм); 4—карьерная мелочь ($d = 76-300$ мм); 5—каменная наброска, отсыпанная с увеличением крупности к НБ; 6—пригрузка карьерным камнем; 7—площадная цементация; 8—противофильтрационная завеса; 9—прочная скала

1. Экрaн укладывался слоями 0,2 м с уплотнением кулачковым катком; $\gamma_{ск.ср} = 1,51$ т/м³; $\gamma_{ск.макс} = 1,68$ т/м³; $\varphi_{ср} = 30,5^\circ$; $c_{ср} = 0,415$ кг/см²; $w_{ср} = 26,7\%$; $k_{ф} = 0,49 \cdot 10^{-6}$ см/сек.

2. Фильтры укладывались слоями 0,2—0,3 м с уплотнением катком на пневмошинах.

3. Каменная наброска отсыпалась слоями от 5 до 10 м с уплотнением струей воды из гидромонитора.

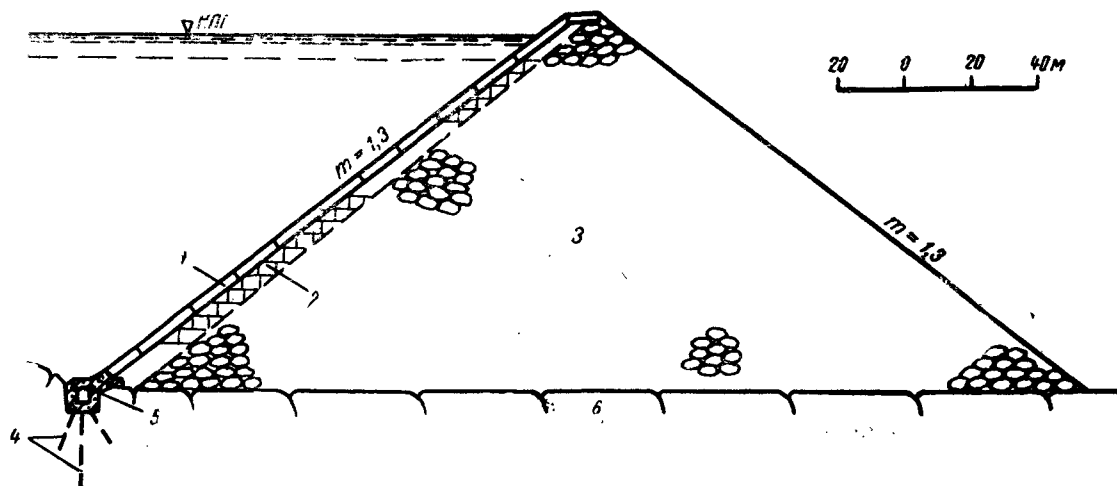
4. По данным натуральных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении за три года эксплуатации составила 4,87 см (или 0,174% от высоты плотины), горизонтальное смещение в сторону НБ 3,65 см (0,13%).

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ
КАМЕННОНАБРОСНЫЕ ПЛОТИНЫ С НЕГРУНТОВЫМИ
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

ПЛОТИНЫ С ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ЭКРАНАМИ

89. ПЛОТИНА ПАРАДЕЛА

Португалия, р. Коваду, 1956 г. $H=110$ м; $b=7,8$ м; $L=580$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка толщиной от 3,0 до 8,6 м; 3—каменная наброска (граниты); 4—противофильтрационная завеса; 5—бетонный зуб с галереями; 6—граниты выветрелые, трещиноватые

1. Экран из железобетонных плит размером $15,0 \times 15,0$ м толщиной от 0,3 м (у гребня) до 1,1 м (у основания) с двойной арматурой. Гибкость экрана обеспечивается за счет продольных и поперечных швов, оборудованных медными шпонками. Экран укладывался на месте в металлической опалубке.

2. Подэкранный слой из кладки насухо крупных постелистых камней весом до 10 т с заполнением пустот мелким камнем (до 25 кг) и щебнем, размером 5 см. У самого основания плотины поры сухой кладки заполнялись бетоном.

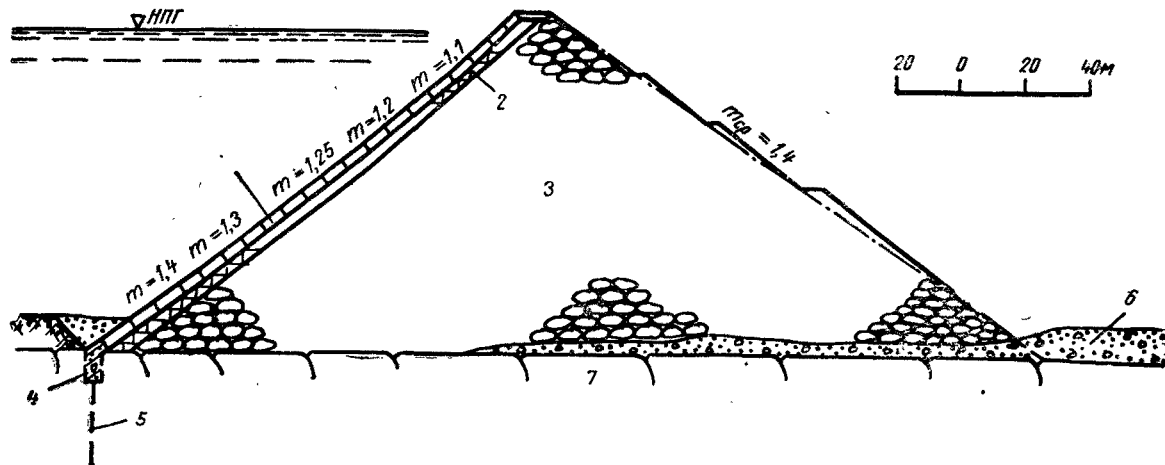
3. Упорная призма отсыпалась слоями от 12 до 68 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 4 м^3 на 1 м^3 каменной наброски).

4. По данным натуральных наблюдений осадка гребня плотины после двух лет эксплуатации составила 1,40 м (1,26%), горизонтальное смещение 0,57 м (0,52%).

5. Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшами емкостью $3,7 \text{ м}^3$ (3 шт.); $1,5 \text{ м}^3$ (4 шт.); автосамосвалы грузоподъемностью 20 т (20 шт.); 17 т (5 шт.). На возведении подэкрановой кладки были заняты восемь гусеничных стреловых кранов, на укладке бетона в экран плотины два радиальных 6-тонных кабель-крана. Вследствие деформаций упорной призмы наблюдались подвижки плит экрана, открытие и закрытие швов. Максимальная величина закрытия швов имела место в центральной части экрана и составила 5,6 см. Максимальное открытие было замечено у правого берега и равнялось 9,8 см. Из-за расстройств швов в плотине наблюдалась усиленная фильтрация. Водохранилище два раза опорожнялось для ремонта экрана.

90. ПЛОТИНА СОЛТ СПРИНГС

США, р. Монелумна, 1929—1931 гг. $H=101,3$ м; $b=4,57$ м; $L=397$ м; $V=275$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—подэкрановая сухая кладка толщиной 5 м; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—противофильтрационная завеса; 6—аллювиальные отложения; 7—прочные граниты

1. Экран из железобетонных плит размером $18,3 \times 18,3$ м толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,9 м (у основания) с двойной арматурой. Гибкость и водопроницаемость экрана обеспечивается за счет швов, оборудованных медной и асфальтовой шпонками. Площадь экрана 3630 м^2 , объем бетона 34 тыс. м^3 .

2. Подэкрановая кладка из крупных камней. Поверхность кладки была выравнена бетоном. Укладка камней производилась с помощью крана.

3. Упорная призма отсыпалась пионерно слоими до 50 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м^3 на 1 м^3 каменной наброски). Камень применялся разной крупности от мелочи до глыб весом 25 т (при среднем размере камней около 3 т). Каменная наброска содержала 29% пор.

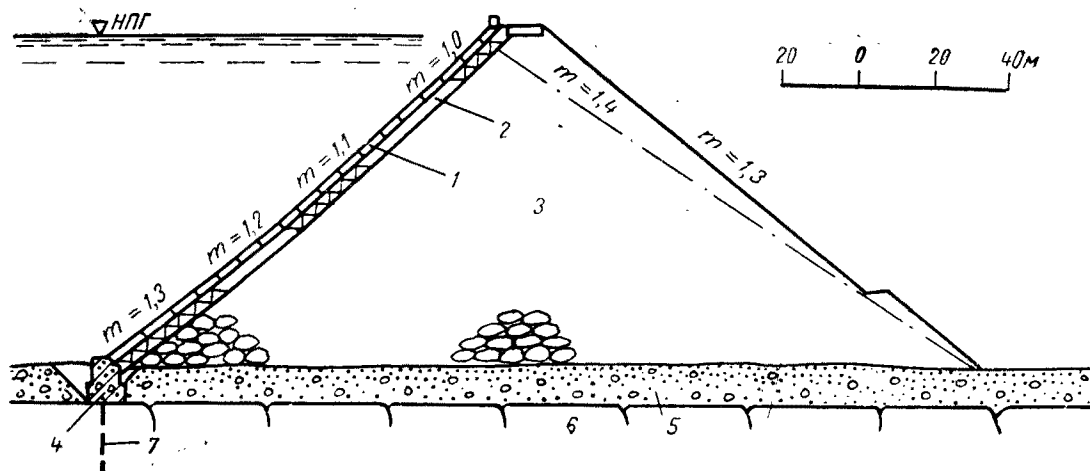
4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины за два года эксплуатации составила 0,4% (от высоты плотины);

за десять лет — 0,65%. Горизонтальное смещение в сторону НБ за восемь лет составило 0,308 м (0,304%). За четырнадцать с половиной лет наблюдений осадка составила 0,74%, горизонтальное смещение — 0,36%.

5. На погрузке камня в карьерах работали экскаваторы с ковшами емкостью 3 м^3 (2 шт.), 1,75 м^3 (1 шт.), 1,5 м (1 шт.). Среднемесячная производительность составляла 93 тыс. м^3 , максимальная — 104 тыс. м^3 . Перевозка камня осуществлялась по железной дороге широкой колеи, а также тракторными прицепами. Экран плотины покрыт многочисленными трещинами, послужившими причиной интенсивной фильтрации через него. Трещины возникли от того, что экран состоит из плит большого размера и оказался недостаточно гибок. Объем камня в плотине 2,3 млн. м^3 .

91. ПЛОТИНА КОРТРАЙТ

США, р. Кингс, 1958 г. $H=96,9$ м; $b=4,8$ м; $L=300$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—подэкрановая сухая кладка толщиной 2,4+3,5 м; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—гравийно-галечниковый грунт; 6—граниты; 7—противофильтрационная завеса (только в правобережном примыкании)

1. Экран из железобетонных плит размером $16,0 \times 18,0$ м и $16,0 \times 9,0$ м, толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,9 м (у основания) с армированием по середине плит. Водонепроницаемость обеспечивается за счет медной и асфальтовой шпонок. Площадь экрана 2030 м², объем бетона 41 тыс. м³.

2. Подэкрановая сухая кладка из камней весом от 6 до 15 т. Укладка камней производилась с помощью крана.

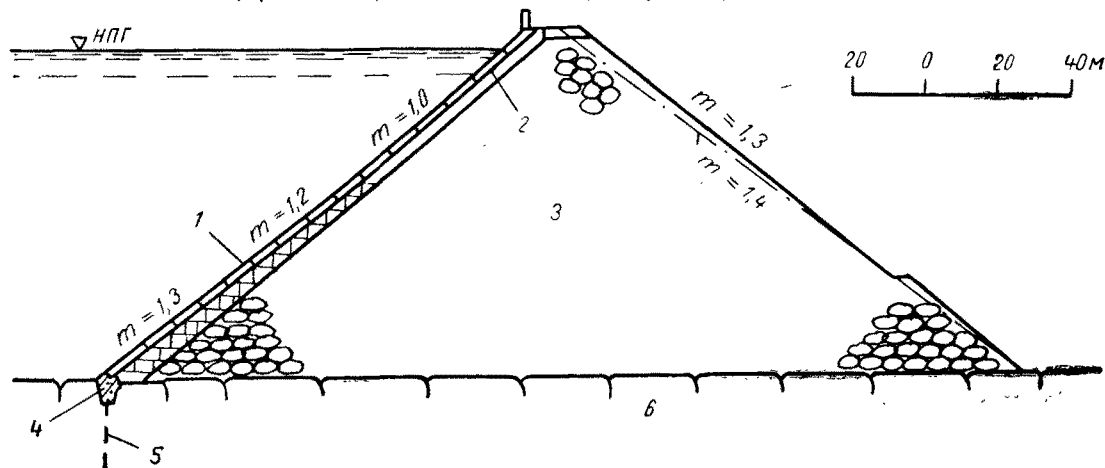
3. Упорная призма отсыпалась пионерно слоями 25—50 м

с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски). Пористость упорной призмы 32%. Общий объем камня в плотине 1,23 млн. м³.

4. По данным натуральных наблюдений после одного года эксплуатации осадка упорной призмы (в точке, расположенной на высоте 67,1 м над основанием) составила 91,5 см. Максимальное смещение по нормали к поверхности экрана за это время достигло 79 см (0,82% от высоты плотины).

92. ПЛОТИНА УИШОН

США, р. Кингс, 1958 г. $H=90,4$ м; $b=6,0$ м; $L=1021$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка толщиной 2,4+3,5 м; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—противофильтрационная завеса; 6—граниты

1. Экран из железобетонных плит размером $18,0 \times 23,0$ м и $18,0 \times 9,0$ м, толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,8 м (у основания) с армированием по середине плит. Водонепроницаемость обеспечивается за счет медной и асфальтовой шпонок. Площадь экрана 6050 м², объем бетона 64 тыс. м³.

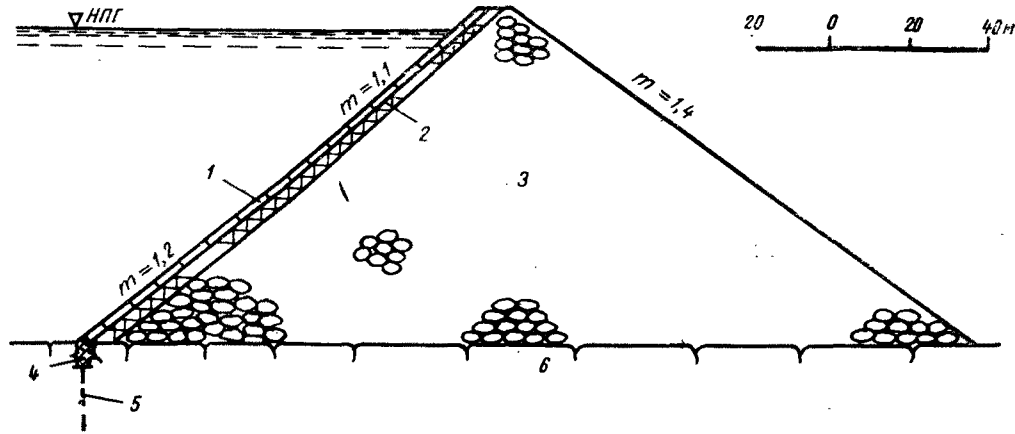
2. Подэкрановая сухая кладка возводилась с помощью крана из камней весом от 6 до 15 т.

3. Упорная призма отсыпалась пионерно слоями 25—50 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м³ на 1 м³ каменной наброски). Пористость упорной призмы 32%. Общий объем камня в плотине 2,84 млн. м³.

5. В основании плотины слой аллювия толщиной от 6 до 9 м был убран до скалы. Открытие и закрытие горизонтальных и вертикальных швов экрана составляло 3—6 мм.

93. ПЛОТИНА ДИКС РИВЕР

США, р. Дикс, 1923—1925 гг. $H=84,2\text{ м}$; $b=6,1\text{ м}$; $L=315\text{ м}$; $B=209\text{ м}$



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка толщиной 1,2—4,2 м; 3—каменная наброска из прочного известняка; 4—бетонный зуб; 5—противофильтрационная завеса; 6—известняки, сланцы

1. Экран состоит из железобетонных плит размером $14,6 \times 21,3\text{ м}$, толщиной от $0,2\text{ м}$ (у гребня) до $0,46\text{ м}$ (у основания), армированных по середине ($0,5\%$). Водонепроницаемость экрана обеспечивается за счет медной шпонки и $2,5$ -сантиметровой доски из пробкового дерева. Экран сопрягается со скальным основанием с помощью бетонного зуба (глубиной от $7,6$ до $9,1\text{ м}$) и противофильтрационной завесы (глубиной до 76 м).

2. Подэкранный слой из сухой кладки выполнялся вручную с заполнением пор каменной мелочью.

3. Упорная призма отсыпалась высокими слоями. Первый слой высотой 38 м был отсыпан пионерно. Последующие два слоя

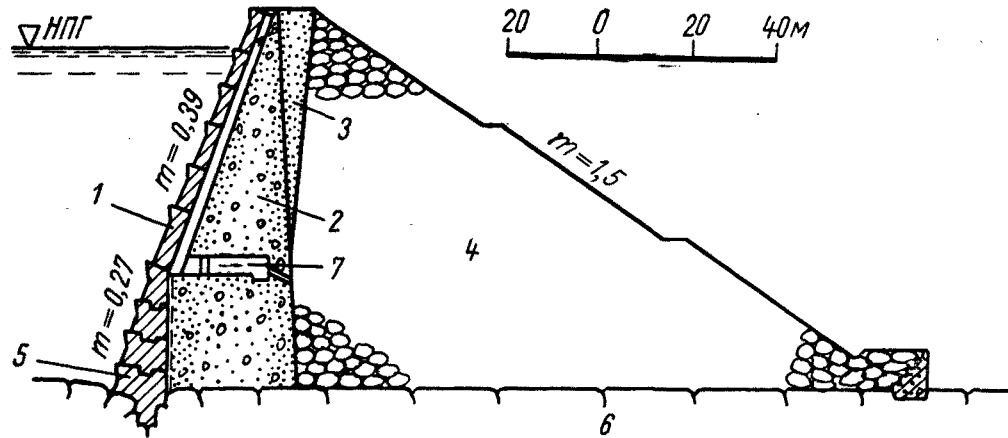
высотой по $21,3\text{ м}$ отсыпались с деревянных эстакад. Последний слой был высотой $3,4\text{ м}$. Все слои уплотнялись струей воды из гидромонитора.

4. По данным натуральных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении через четыре года эксплуатации достигла $0,52\text{ м}$, что составило $0,62\%$ от высоты плотины.

5. Почти весь камень для упорной призмы получен из полезных выемок и только небольшое количество из карьера. Прочность камня известняка составляла $880\text{—}1050\text{ кг/см}^2$. Перевозка камня к месту отсыпки осуществлялась по железной дороге широкой колеи. Объем камня в плотине $1,34\text{ млн. м}^3$.

94. ПЛОТИНА ШИНГ МУН

Китай, р. Шинг Мун, 1935 г. $H=83$ м; $b=9,0$ м



1—экран из железобетонных блоков; 2—бетонная стенка; 3—песчаный клин; 4—каменная наброска; 5—бетонный зуб; 6—битумный гранит; 7—дренажная галерея

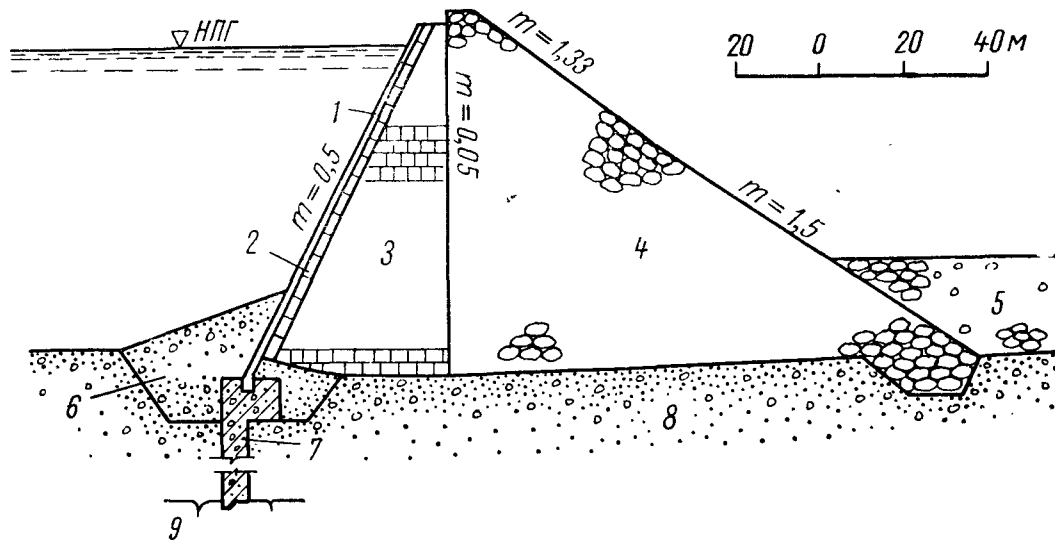
1. Экран из железобетонных блоков размером $7,6 \times 6,1$ м, толщиной от 0,9 до 1,8 м забетонированных на месте. Блоки опираются на контрфорсы, выступающие из бетонной стенки, и отделяются от нее прослойкой из битума толщиной 5,1 мм. Друг от друга блоки также отделяются прослойками битума. Водонепроницаемость обеспечивается за счет медной шпонки. Ширина медного листа меняется в зависимости от напора от 0,3 до 0,6 м.

2. Стенка из бетона с вкраплением крупных камней ($\sigma_{сж} = 207 \text{ кг/см}^2$). Между бетонной стенкой и каменной наброской устраивается песчаный клин. Назначение клина обеспечить постоянство давления наброски и уменьшить ее трение по стенке.

3. Каменная наброска выполнена вручную наклонными слоями с падением в сторону бетонной стенки ($m=12$), высота слоя 0,61 м, $\gamma_{ск.ср} = 1,97 \text{ т/м}^3$.

95. ПЛОТИНА МАЛЬПАСО

Перы, $H=77,8$ м; $b=6,7$ м; $L=153$ м



1—железобетонный экран; 2—кладка на растворе; 3—сухая кладка; 4—каменная наброска, поры которой заматы; 5, 6—обратная засыпка; 7—бетонный зуб (глубина 43,7 м); 8—аллювиальные отложения; 9—скала

1. Экран железобетонный толщиной от 0,25 м (у гребня) до 0,90 м (у основания).

2. Подэкрановая кладка из наиболее крупного и отборного камня на цементном растворе.

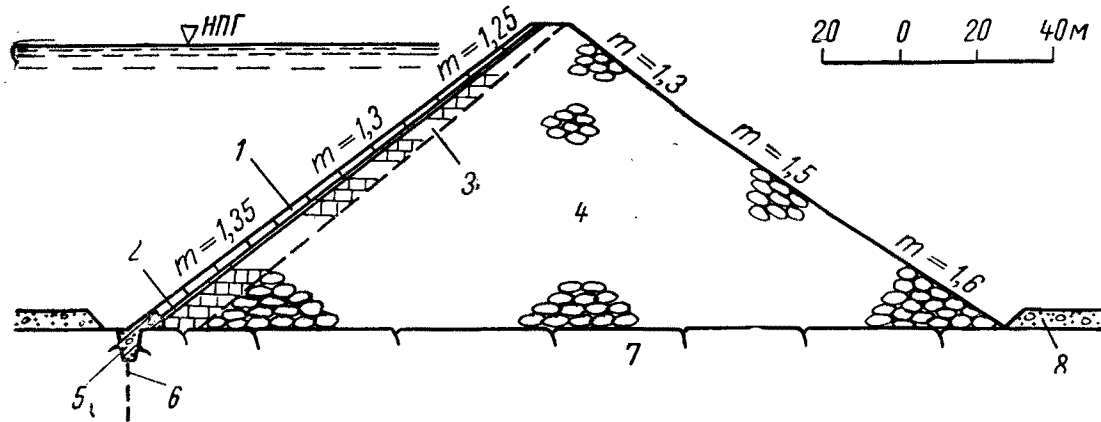
3. Верховая часть упорной призмы плотины выполнена в виде стенки из сухой кладки. Работа велась с помощью деррика с тщательной пригонкой отдельных камней. Для уменьшения осадки промежутки между крупными камнями заполнялись вручную карьерной мелочью и затем замывались песком и гравием

с помощью гидромонитора. Низовая часть упорной призмы отсыпалась слоями до 15 м, пустоты также замывались песком и гравием.

4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении через два с половиной года составила 0,35% от высоты плотины; через десять с половиной лет — 0,49%. Горизонтальное смещение через то же время было соответственно равно 0,71% и 0,99%.

96. ПЛОТИНА САН ГАБРИЭЛЬ № 2

США, р. Сан Габриэль, 1932—1937 гг. $H=77,7$ м; $b=5,48$ м; $L=177$ м; $B=234$ м



1—железобетонный слоистый экран; 2—облицовка из тощего бетона; 3—сухая кладка толщиной 3,0—7,6 м; 4—каменная наброска; 5—бетонный зуб; 6—противофильтрационная завеса; 7—гранито-гнейсы; 8—аллювиальные отложения

1. Экран слоистый состоит из нескольких рядов железобетонных плит, уложенных друг на друга по слою асфальта толщиной 4 мм. Экран разделен швами на отдельные квадратные плиты.

2. Подэкранный слой из сухой кладки. Верховая грань сухой кладки сглажена тощим бетоном. Укладка камней проводилась с помощью крана.

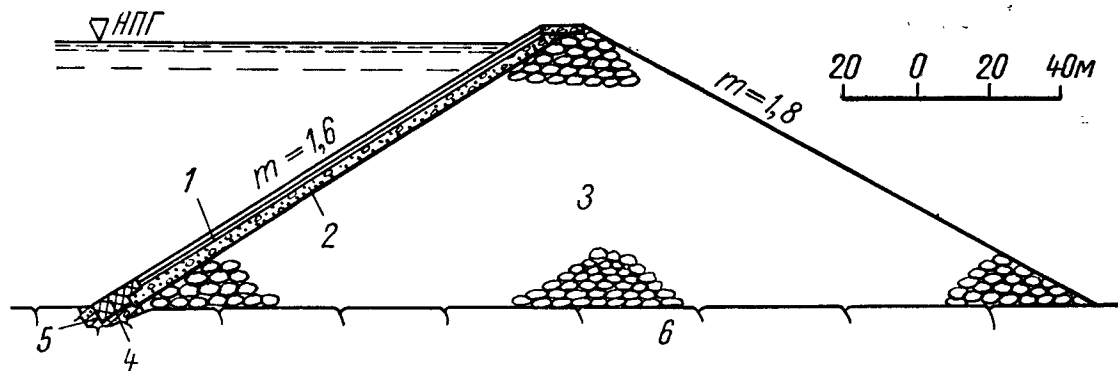
3. Камень отсыпался пнонерно с высоты 7,5 м без обработки водой. Средняя прочность камня на сжатие составляла

460 кг/см².

4. По данным натуральных наблюдений максимальная осадка в момент окончания строительства составляла 3,4 м. После катастрофического ливня (интенсивностью 380 мм), прошедшего в то время, когда водохранилище еще не было заполнено, осадка достигла 5,1 м, что составило 6% от высоты плотины. Столь большая осадка явилась результатом невысокой прочности камня и весьма рыхлой отсыпки каменной наброски.

97. ПЛОТИНА КОГОТИ

Чили, 1931 г. $H=75$ м; $b=10$ м; $V=265$ м



1—слоистый железобетонный экран; 2—подэкранный слой из гравия толщиной от 2,4 м до 5,7 м; 3—каменная наброска; 4—гибкое сопряжение экрана с зубом; 5—бетонный зуб; 6—скала

1. Экран слоистый, из двух рядов железобетонных плит, размером $3,05 \times 3,05$ м, уложенных друг на друга по тонкому слою асфальта. Толщина экрана от 0,2 м (у гребня) до 0,6 м (у основания). Водопроницаемость экрана обеспечивается асбесто-асфальтовой шпонкой.

2. Подэкранный слой выполнен в виде подушки из гравия. Сопряжение экрана с гравийной подготовкой достигается с помощью закрепительных балок.

3. Каменная наброска отсыпалась пионерно, без специальных

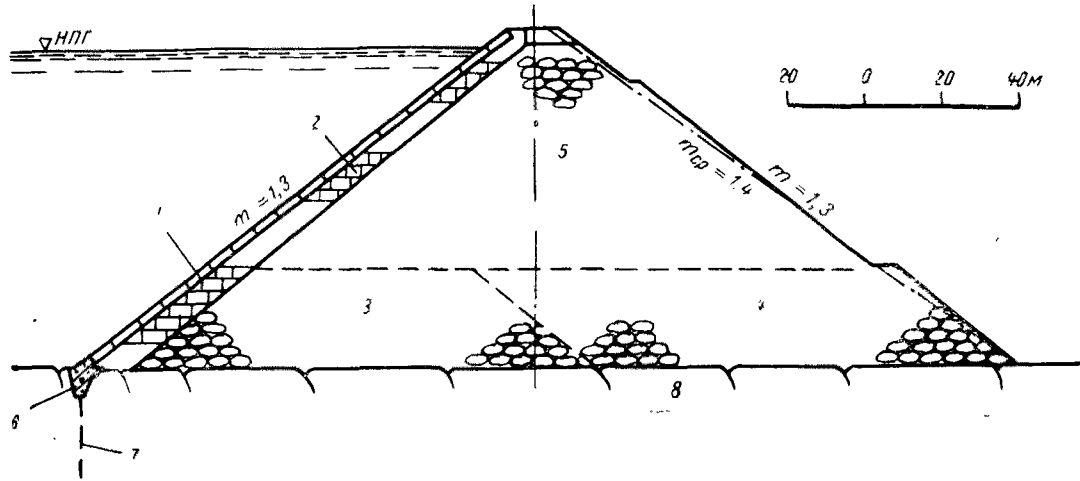
методов уплотнения.

4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении за восемь лет составила 0,98% от высоты плотины.

5. В 1943 г. плотина подвергалась землетрясению в девять баллов. Повреждения плотины были незначительными. Экран не пострадал, фильтрация через него не увеличилась. Осадка, вызванная землетрясением, составила 0,4 м (0,53%).

98. ПЛОТИНА ЛОУЭР БЭР РИВЕР

США, р. Бэр, 1952 г. $H=76,4$ м; $b=6,0$ м; $L=293$ м



1—экран железобетонный, толщиной 0,3 м; 2—сухая кладка; 3—первый слой отсыпки камня (высота 25,8 м); 4—второй слой отсыпки камня (высота 25,8 м); 5—третий слой отсыпки камня (высота 39,7—65,6 м); 6—бетонный зуб; 7—противофильтрационная завеса; 8—граниты

1. Экран из железобетонных плит размером $18,3 \times 18,3$ м, толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,9 м (у основания), с армированием по середине плиты (0,5%). Для достижения большей гибкости экрана у примыканий, плиты имеют размер $5,0 \times 5,0$ м. Водонепроницаемость экрана обеспечивается медной шпонкой. Площадь экрана 1770 м². Объем бетона 17 тыс. м³.

2. Подэкранный слой из кладки насухо толщиной от 3 м (у гребня) до 6,4 м (у основания). Укладка камня велась с помощью гусеничного крана. Объем сухой кладки 66 тыс. м³.

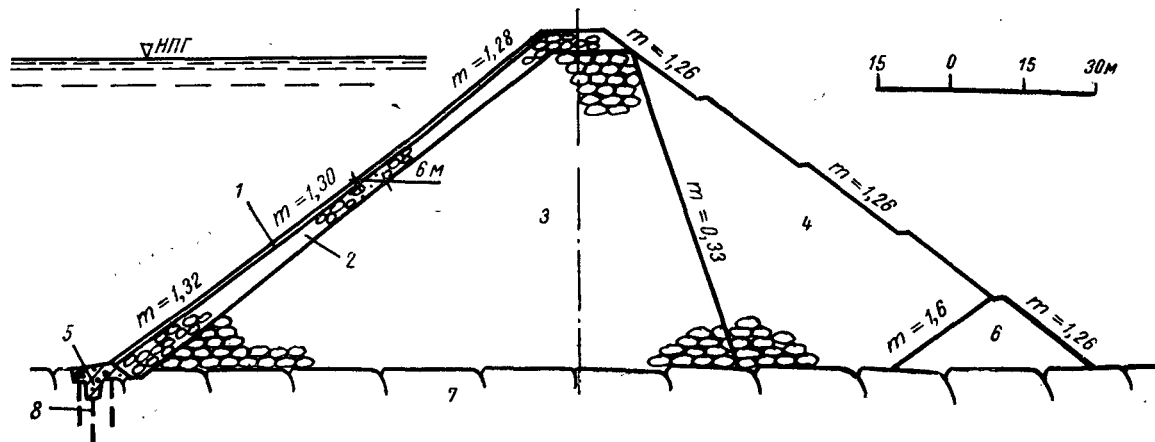
3. Каменная наброска отсыпалась слоями от 25,8 м до 65,6 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м³

на 1 м³ каменной наброски). Поверхность слоев рыхлилась риппером и тщательно обрабатывалась водой из гидромониторов. Объем каменной наброски 0,663 млн. м³.

4. По данным натурных наблюдений осадки и горизонтальные смещения гребня плотины во времени распределились следующим образом: через один год осадка — 34 см (0,50% от высоты плотины), смещение — 23 см; через три года осадка — 36 см (0,54%), смещение — 27 см; через пять лет осадка — 38 см (0,57%), смещение — 27 см; через семь лет осадка — 40 см (0,60%), смещение — 28 см.

99. ПЛОТИНА ФАД

Франция, р. Сиуль, 1968 г. $H=68$ м; $b=8$ м; $L=235$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—подэкранный слой из уплотненной горной массы; 3, 4—каменная наброска; 5—бетонный зуб; 6—низовая перемычка; 7—граниты; 8—противофильтрационная завеса

1. Экрaн из железобетонных плит размером $13,5 \times 13,4$ м толщиной от 0,35 м (у гребня) до 0,60 м (у основания), армированных сеткой. Швы между плитами имеют резиновые ленточные шпопки. Соединение резиновых шпонок проводилось вулканизацией. Площадь экрана 16,5 тыс. м².

2. Подэкрaновая зона отсыпалась слоями 0,5 м с разравниванием бульдозером и уплотнением 8,5-тонным виброкатком как на горизонтальной поверхности, так и на откосе.

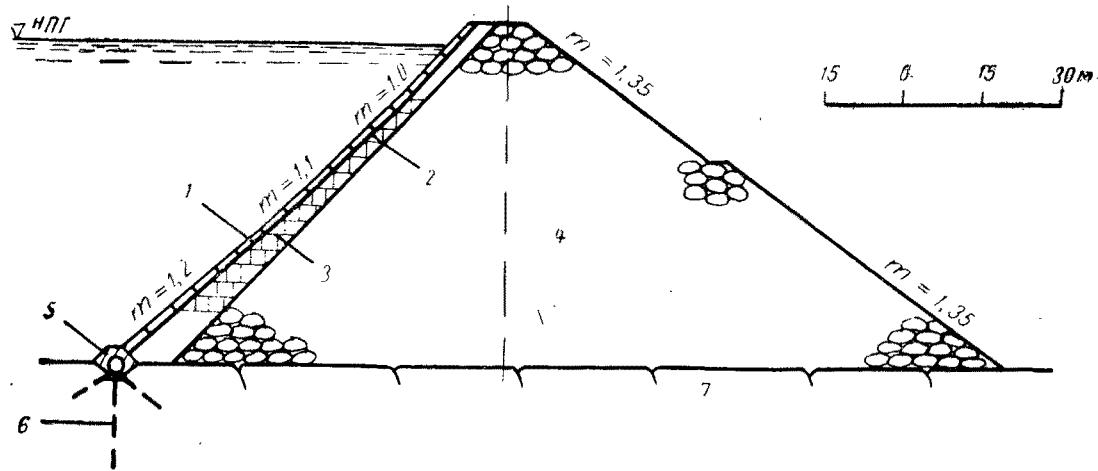
3. Упорная призма (зоны 3 и 4) укладывалась слоями 1,0 и

2,0 м соответственно с поливом водой (расход воды 0,35 м³ на 1 м³ наброски) и уплотнением 8,5-тонным виброкатком за десять проходов; $\gamma_{ск}=2,07-2,09$ т/м³; $n < 22\%$. Камень в зоне четыре крупнее, чем в зоне три. Фракций меньше 5 мм допускалось не более 15%. Общий объем камня в плотине 0,73 млн. м³.

4. На верховой и низовой гранях плотины установлены поверхностные реперы для наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями тела плотины. Кроме того установлены приборы для определения раскрытия и закрытия швов экрана.

100. ПЛОТИНА КАРАУН

Ливан, р. Нахр-Эль-Литани, 1959—1965 г. $H=66$ м; $L=1100$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—пергамин на слое бетона; 3—сухая каменная кладка; 4—каменная наброска; 5—инспекционная галерея; 6—противофильтрационная завеса; 7—мергельные известняки

1. Экран из железобетонных плит размером $11,0 \times 14,0$ м, толщиной от 0,40 м (у гребня) до 0,50 м (у основания). Водонепроницаемость обеспечивается противофильтрационными шпонками.

2. Подэкранный слой выполнен из кладки отборного камня (крупнее 0,20 м). Толщина слоя изменяется от 3,0 м (у гребня) до 5,0 м (у основания). По поверхности сухой кладки уложен выравнивающий бетонный слой (толщина 5 см), поверх которого для облегчения перемещения экрана, уложен пергамин толщиной 1 мм.

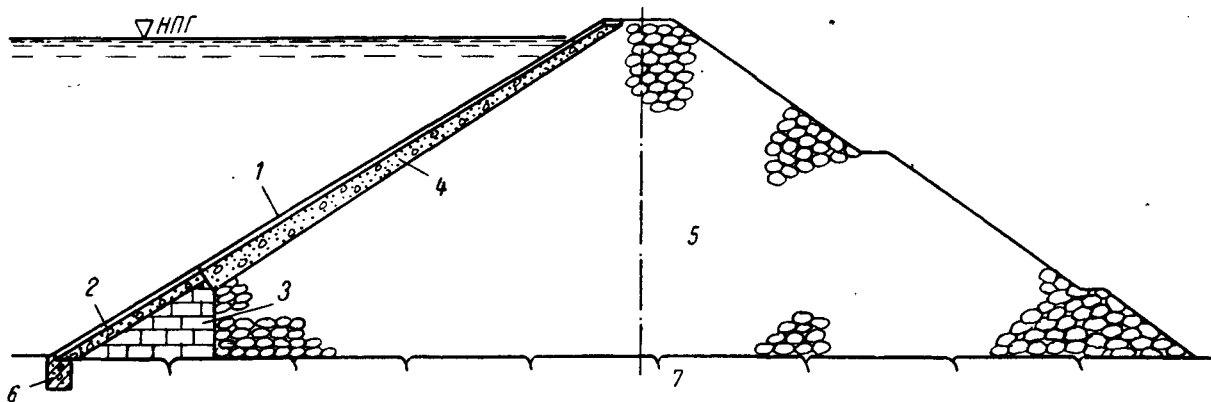
3. Упорная призма (из камня крупнее 5 см) отсыпалась сло-

ями толщиной от 7 до 14 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м^3 на 1 м^3 каменной наброски); $n=30\%$. Объем каменной наброски 2 млн. м^3 .

4. По данным натурных наблюдений максимальные деформации от собственного веса наброски произошли примерно на середине высоты плотины. Осадка составила 21,6 см, горизонтальное смещение в сторону НБ 18,4 см. Максимальные деформации от давления воды произошли в верхней трети плотины и составили: осадка 12—14 см, горизонтальное смещение около 10 см.

101. УРТО-ТОКОЙСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Кассан-Сай, 1953 г. $H=59$ м



1—гибкий железобетонный экран толщиной 0,40 м; 2—жесткий железобетонный экран толщиной 0,50 м; 3—кладка насухо из крупного камня; 4—гравийная подготовка; 5—каменная наброска; 6—бетонный зуб; 7—порфиры

1. Экран двухслойный из железобетонных плит размером $7,5 \times 7,5$ м. Между слоями уложена прокладка из мешков, пропитанных битумом.

2. Подэкранный слой состоит из бетонной подготовки (толщиной 10 см), уложенной по слою гравийного материала средней толщиной 3,0 м. Объем подэкранового слоя 37,5 тыс. m^3 .

3. Первоначально, в результате направленного взрыва, в упорную призму плотины было уложено 69,4 тыс. m^3 горной массы. В дальнейшем каменная наброска укладывалась слоями 6—8 м с уплотнением струей воды из гидромонитора. Каменная мелочь, скапливающаяся на поверхности слоя, смывалась перед укладкой нового слоя гидромонитором.

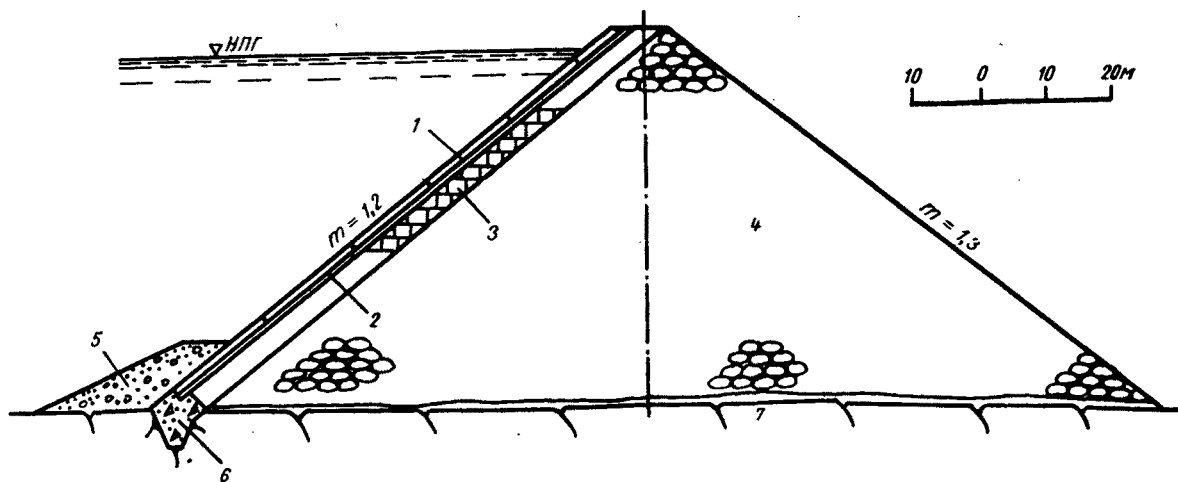
4. Осадка гребня плотины в максимальном сечении за период наблюдений с 1955 по 1957 гг. составила 49 см (0,83% от высоты плотины).

5. В основании плотины залегают слабодопроницаемые полевшпатовые и кварцевые порфиры. Прочность камня на сжатие для каменной наброски составляла $1522—2750$ кг/см². Средний гранулометрический состав камня в наброске: 30% 200—40 см, 20% 40—15 см, 15% 15—8 см, 10% 8—3 см, 15% менее 3 см.

Основные строительные механизмы: экскаваторы с ковшом емкостью 1,0—2,5 m^3 ; автосамосвалы грузоподъемностью 5 т. Суточная производительность по отсыпке камня составляла 0,24—0,8 тыс. m^3 .

102. ПЛОТИНА ПИНСАНЕС

Мексика, р. Пинсанес, 1956 г. $H=54,7$ м; $b=5$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—выравнивающий слой из бетона; 3—сухая кладка; 4—каменная наброска; 5—грунтовая пригрузка; 6—бетонный зуб; 7—граниты

1. Экран из железобетонных плит (толщиной сверху 0,30 м, внизу 0,55 м), забетонированных на месте. Часть плит, расположенная в верхней части экрана, имела двойную арматуру. Плиты, расположенные в нижней части, имели одиночную арматуру. Водонепроницаемость экрана обеспечивалась за счет уплотнения из медных листов и асфальтовой шпонки.

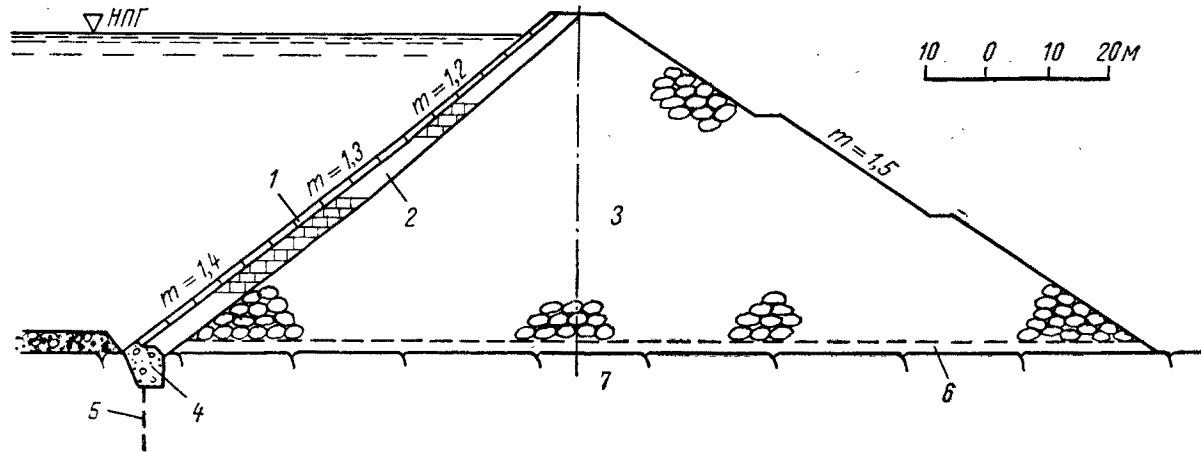
2. Подэкраиновый слой толщиной 2 м из сухой кладки отобранных камней с заполнением пустот мелочью. Поверх кладки уложен выравнивающий слой из бетона.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 15 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 7 м^3 на 1 м^3 каменной наброски). Максимальный вес отдельных камней 2 т.

5. Строительное превышение гребня плотины над проектной отметкой (учитывая осадку) составляло 1,5% от высоты плотины. Створ плотины находится в сейсмической зоне. После землетрясения в 1958 г. силой 5 баллов (ускорение 25—50 мм/сек²) плотина не получила никаких повреждений.

103. ПЛОТИНА ИШИБУЧИ

Япония, р. Китаками, 1953 г. $H=53$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка толщиной от 3,0 до 5,0 м; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—противофильтрационная завеса глубиной 15÷25 м; 6—дренаж; 7—порфириты

1. Экран из железобетонных плит размером $10,0 \times 10,0$ м (у основания размер плит $3 \div 5$ м \times 10 м) толщиной от 0,4 м (вверху) до 0,6 м (внизу), бетонируемых на месте. Процент армирования плит 0,5. Объем бетона 8,8 тыс. м³.

2. Подэкранный слой выполнен в виде сухой кладки из тщательно подобранных камней. Поверхность кладки выравнена слоем бетона. Объем подэкранный слой 49,9 тыс. м³.

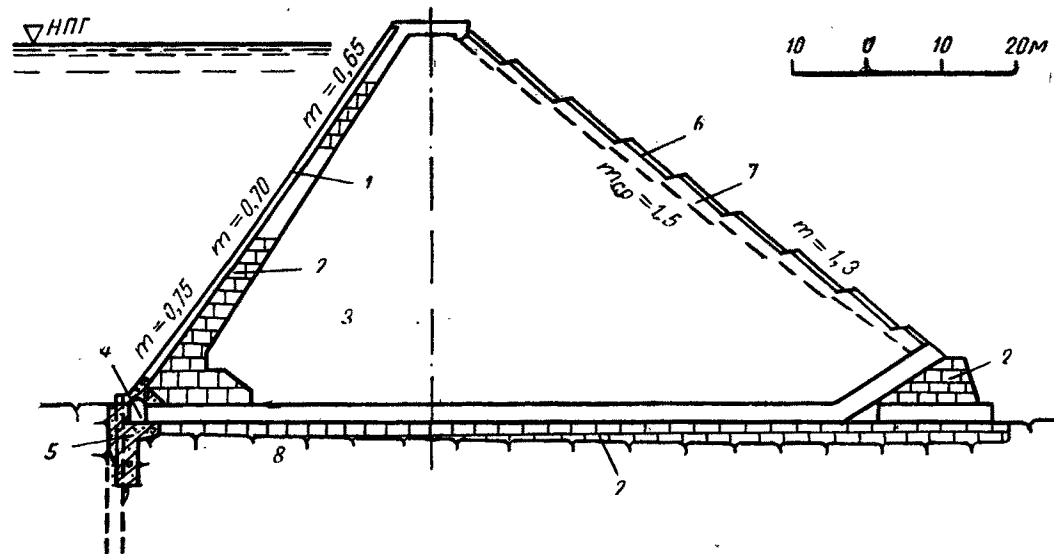
3. Упорная призма отсыпалась слоями высотой 29 м с моста, построенного поперек реки, с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ каменной наброски). Объем каменной наброски 361,4 тыс. м³.

4. По данным натуральных наблюдений после одиннадцати месяцев эксплуатации осадка в точке, расположенной на низовом откосе плотины на высоте $2/3 H$, составила 40 см. После двух лет эксплуатации осадка гребня плотины достигла 0,30% от высоты плотины. Через четыре года горизонтальное смещение гребня в сторону НБ составило 0,62%.

5. В результате деформации экрана максимальная величина закрытия вертикальных швов составила 6 мм. Вблизи береговых примыканий были обнаружены трещины шириной от 3 до 5 мм.

104. ПЛОТИНА КУГА

Италия, р. Куга, 1958—1959 гг. $H=52,5$ м; $b=9,65$ м; $L=220$ м; $B=103$ м



1—железобетонный экран; 2—кладка на растворе; 3—каменная наброска (Г); 4—инспекционная галерея; 5—бетонный зуб; 6—отмостка; 7—сухая кладка; 8—скала

1. Экран из железобетонных плит размером $12,0 \times 18,0$ м, толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,5 м (у основания) с двойной арматурой. Водопроницаемость обеспечивается за счет шпонки. За швами расположены дренажные коллекторы для отвода просочившейся воды.

2. Подэкранный слой состоит из каменной кладки на растворе, толщиной от 1,8 м (у гребня) до 2,8 м (у основания). Объем кладки на растворе 0,077 млн. м³.

3. Упорная призма укладывалась слоями 0,8 м с уплотненным виброплитой, подвешенной к стреле экскаватора; $\gamma_{ск} = 1,61$ т/м³; $\gamma_{уд} = 2,4—2,7$ т/м³; $n = 26—30,5\%$; $n_{ср} = 28\%$; $\varphi = 48^\circ$; $c = 1,32$ кг/см². Объем каменной наброски 0,19 млн. м³.

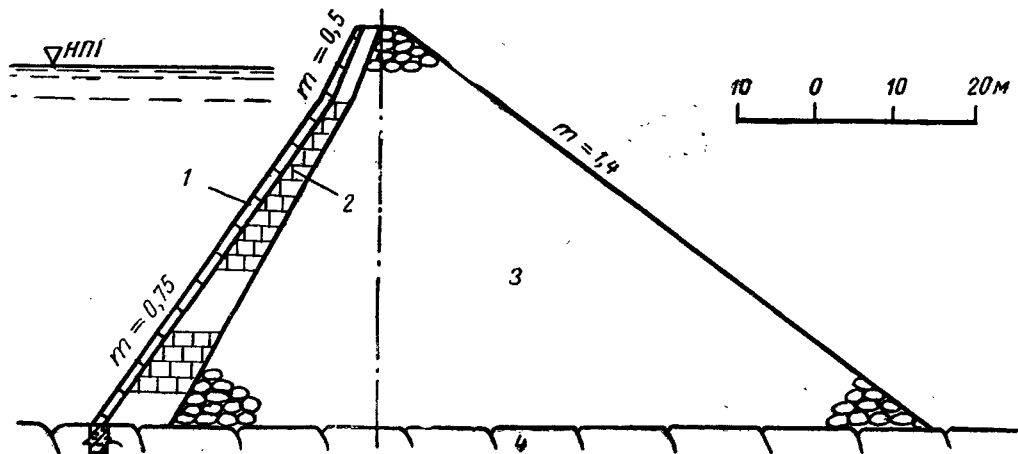
4. По данным натурных наблюдений основание под плотинной ко времени окончания строительства осело на 15 см. Экран к августу 1960 г. на середине высоты плотины сместился перпендику-

лярно к откосу на 12 см. На берме низового откоса (10 м ниже гребня) осадка к 24 января 1962 г. составила 21 см.

5. На строительстве проводились опытные работы по определению угла внутреннего трения уплотненной каменной наброски, уточнялась высота слоя укладки камня, методы его уплотнения.

105. ПЛОТИНА НОРТС БОУМЕН

США, р. Невада, 1925—1927 гг. $H=50$ м; $b=4,6$ м; $L=224$ м; $B=113$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка толщиной внизу 7,62 м, вверху 1,82 м; 3—каменная наброска из гранита; 4—граниты

1. Экран из железобетонных плит шириной 15 м, толщиной от 0,2 м (у гребня) до 0,3 м (у основания). Водонепроницаемость обеспечивается медной шпонкой. Сопряжение плотины с основанием выполнено в виде зуба шириной 1,2 м и глубиной 1,8 м.

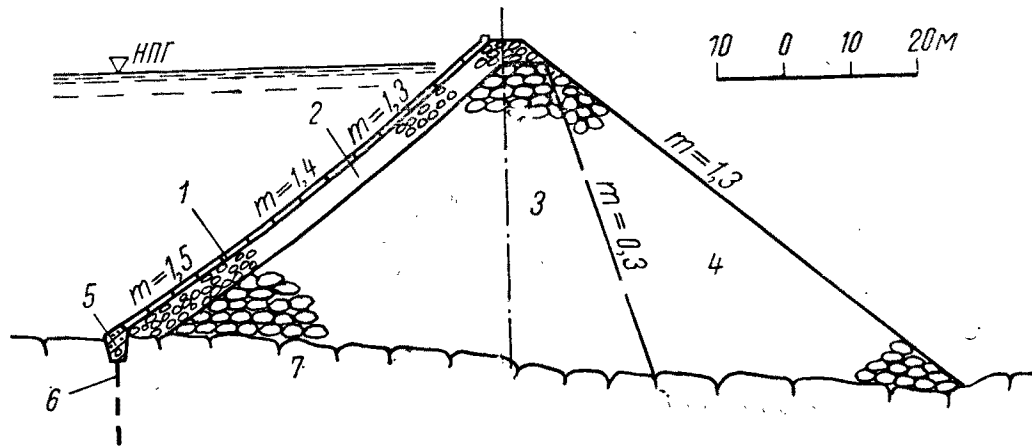
2. Подэкранный слой из сухой кладки. Укладка камня велась с помощью деррика. Объем подэкранного слоя 21 тыс. м³.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 5—6 м с уплотнением транспортом. Общий объем камня 0,23 млн. м³.

5. Плотина построена в ущелье, берега которого сложены из прочного гранита. В пределах основания плотины были удалены все наносы, прикрывающие скальные породы основания. Стоимость плотины 0,666 млн. долларов.

106. ПЛОТИНА КАНД

Франция, р. Ло, 1966 г. $H=46$ м; $b=6$ м; $L=160$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—подэкранный слой из каменной мелочи; 3, 4—каменная наброска, с увеличением крупности камня в сторону нижнего бьефа; 5—бетонный зуб; 6—противофильтрационная завеса; 7—граниты, слюдистые сланцы

1. Экран из железобетонных плит толщиной от 0,4 м (у гребня) до 0,5 м (у основания). Общая поверхность экрана 6500 м².

2. Подготовка под экран из щебня (толщина слоя 15 см) уложена на уплотненный виброкатком верховой откос упорной призмы.

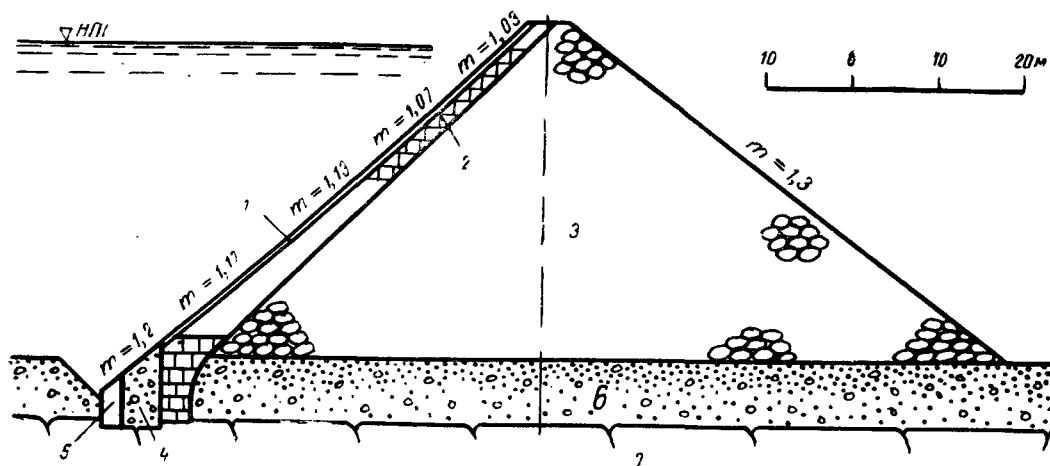
3. Упорная призма из горной массы гранита и слюдистых сланцев. Гранит имел прочность на сжатие 340—862 кг/см², слю-

дистый сланец 200—653 кг/см². Зона 2 укладывалась слоями 0,5 м с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за восемь проходов. Зоны 3 и 4 укладывались слоями 1 и 2 м, соответственно, уплотнялись виброкатком за шесть проходов. Объем каменной наброски 0,21 млн. м³.

5. На строительстве проводились опытные работы по выбору методов уплотнения каменной наброски.

107. ПЛОТИНА СТРОБЕРРИ

США, р. Станиславус, 1913--1916 гг. $H=45,8$ м; $b=4,57$ м; $L=187$ м; $B=115$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—контрфорс; 6—аллювий; 7—граниты

1. Экран из железобетонных плит толщиной от 0,23 м (вверху) до 0,38 м (внизу); в нижней трети неразрезной, выше разрезан вертикальными температурными швами через 18,3 м. Экран армирован сеткой из стержней диаметром 18 мм с шагом 22 см. Сопряжение экрана со скальным основанием осуществлено бетонным зубом с максимальной высотой 9,45 м, шириной 4,88 м.

2. Подэкрановый слой из кладки насухо, толщиной от 1,22 м (у гребня) до 5,5 м (у основания). Кладка камней велась с помощью деррика с пригонкой вручную. Вес камней от 3 до 5 т. Неровности кладки сглажены слоем бетона толщиной 8 см. Бетон покрыт слоем асфальта.

3. Упорная призма возводилась методом сбрасывания камня с высоты, которая менялась от 6 до 20 м. При таком способе ве-

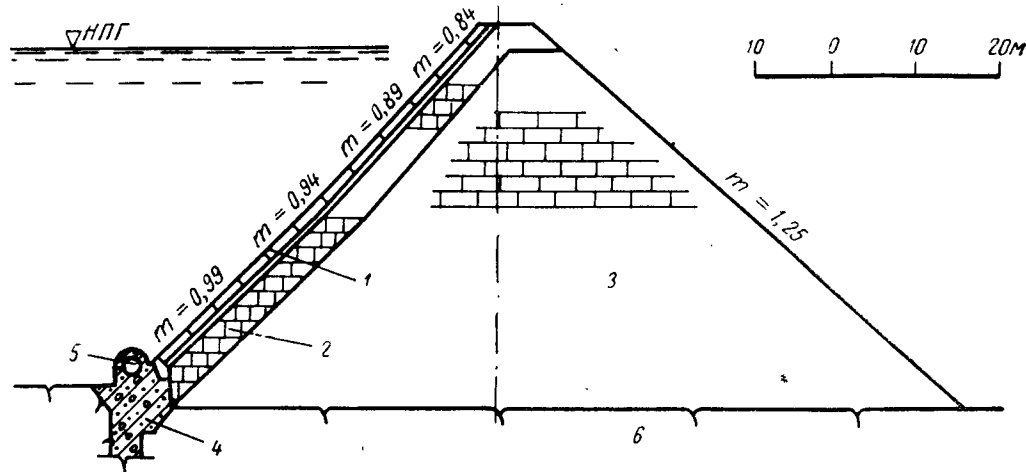
дения работ усадка тела плотины достигала 1,5% по объему.

4. По данным натуральных наблюдений осадка и горизонтальное смещение гребня плотины в максимальном сечении составили (в см и процентах от высоты плотины): через три месяца — осадка 22 см (0,51%), смещение — 13 см; через один год три месяца — осадка 29 см (0,67%), смещение 29 см; через семь лет два месяца — осадка 52 см (1,21%), смещение 37 см; через тринадцать лет четыре месяца — осадка 56 см (1,3%), смещение 44 см; через девятнадцать лет — осадка 64 см (1,49%), смещение 49 см; через двадцать девять лет — осадка 1,51%, смещение 1,15%.

5. Камень для отсыпки в плотину добывался в каменоломнях. Среднемесячная добыча камня составляла 21—25 тыс. м³. Общий объем камня в плотине 0,294 млн, м³.

108. ПЛОТИНА БАКХАДА

Алжир, р. Мина, 1930—1937 гг. $H=45,25$ м; $b=5$ м; $L=220$ м; $B=108$ м



1—двухслойный железобетонный экран; 2—подэкрановая кладка из отборного камня толщиной 6 м; 3—сухая кладка из крупного камня; 4—бетонный зуб; 5—смотровая галерея; 6—скала

1. Экран двухслойный из железобетонных плит, толщиной 0,3 и 0,4 м, укладывался, когда каменная наброска уже получила осадку. Шов между двумя слоями экрана дренировался. Выпуск воды осуществлялся в нижней части экрана в инспекционную галерею.

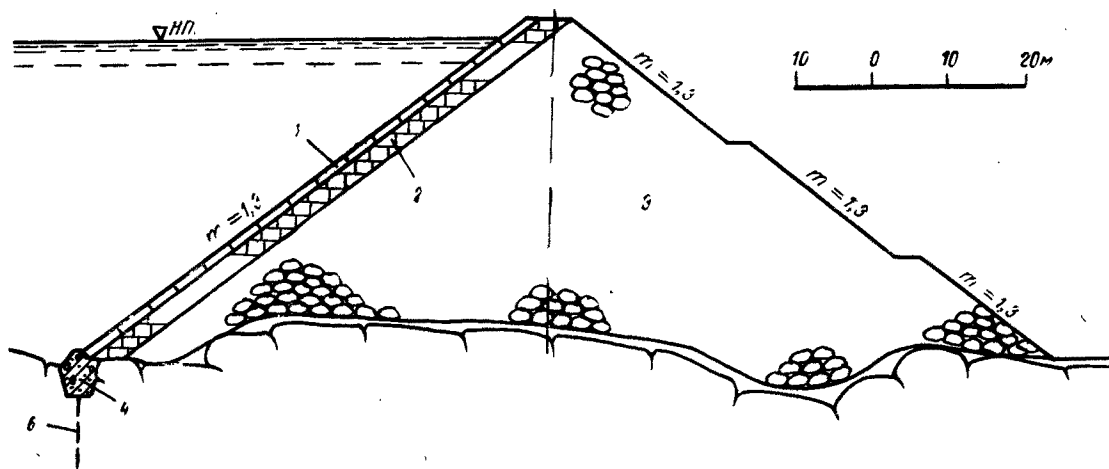
2. Подэкранный слой выполнен в виде сухой кладки с перевязкой швов. Поверхность сухой кладки покрыта торкретом и слоем каменноугольной смолы.

3. Упорная призма из сухой кладки возводилась слоями 4—5 м с помощью кранов и захватных клещей. Заполнение пустот между глыбами мелким битым камнем выполнялось вручную.

4. По данным натуральных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении после двух с половиной лет эксплуатации составила 36,5 см (0,81%), горизонтальное смещение 27,5 см (0,61%).

109. ПЛОТИНА НОЗОРИ

Япония, р. Нозори, 1956 г. $H=44$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка толщиной от 3,0 м (вверху) до 3,5 м (внизу); 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—андезиты; пропилиты; 6—противофильтрационная завеса

1. Экран из железобетонных плит размером $12,0 \times 12,0$ м, $12,0 \times 8$ м, $12,0 \times 7,0$ м, толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,6 м (у основания). Нижняя половина плит армирована двойной арматурой, верхняя половина — одиночной. Водонепроницаемость швов обеспечивается медной шпонкой. Вертикальные швы заполнены асфальтом.

2. Подэкранный слой выполнен в виде кладки насухо, уложенной с помощью кранов. Кладка осуществлялась не раньше чем через два месяца после окончания работ по наброске.

3. Упорная призма отсыпалась в три этапа слоями от 13 до

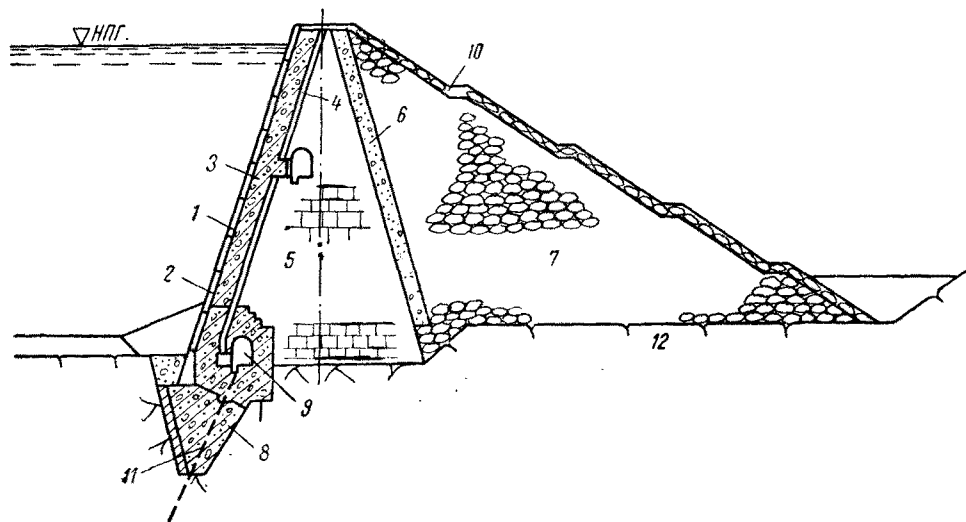
17 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 3 м^3 на 1 м^3 каменной наброски, давление 9 атм).

4. По данным натурных наблюдений после первого года эксплуатации максимальная осадка экрана не имела место на высоте 0,4Н и равнялась 10 см (0,23% от высоты плотины). Максимальное горизонтальное смещение экрана произошло на высоте 0,5Н и равнялось также 10 см.

5. После наполнения водохранилища фильтрация через экран составляла 23 л/сек. Через два года фильтрация уменьшалась до 10 л/сек.

110. ПЛОТИНА им. Г. ДИМИТРОВА

Болгария, р. Тунджа, 1947—1955 гг. $H=44$ м; $b=4,5$ м; $L=228$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—битумная изоляция; 3—бетон; 4—дренаж; 5—бутовая кладка на растворе; 6—слой песка и гравия; 7—наброска из горной массы; 8—бетонный зуб; 9—смотровая галерея; 10—облицовка штучным камнем; 11—противофильтрационная завеса; 12—гранты и грантогнейсы

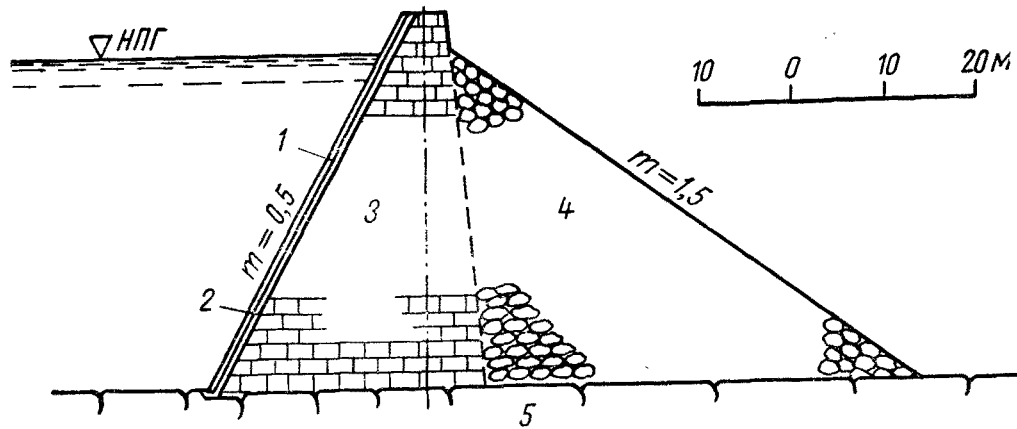
1. Экран из железобетонных плит размером $12,0 \times 8,0$ м. Плиты заанкерены в бетонную подготовку.
2. Подэкранный слой представляет собой бетонную подготовку, покрытую битумной изоляцией.
3. Верховой клин упорной призмы из бутовой кладки на

растворе. Укладка камня велась с помощью крана. Низовой клин из каменной наброски уложен послойно и уплотнен движущимся транспортом.

5. В наброску использовался мелкий камень (грант), частично разрушенный до дресвы.

111. ПЛОТИНА РЕЛИФ

США, р. Станиславус, 1909—1912 гг. $H=40,5$ м; $b=4$ м; $L=155$ м; $B=85$ м



1—экрaн железобетонный; 2—кладка на растворе; 3—сухая кладка, шириной по основанию 315 м; 4—каменная наброска из прочного гранита; 5—граниты

1. Экрaн железобетонный толщиной от 0,25 м (у гребня) до 0,90 м (у основания).

2. Подэкрaновый слой в виде кладки на растворе толщиной 0,6 м.

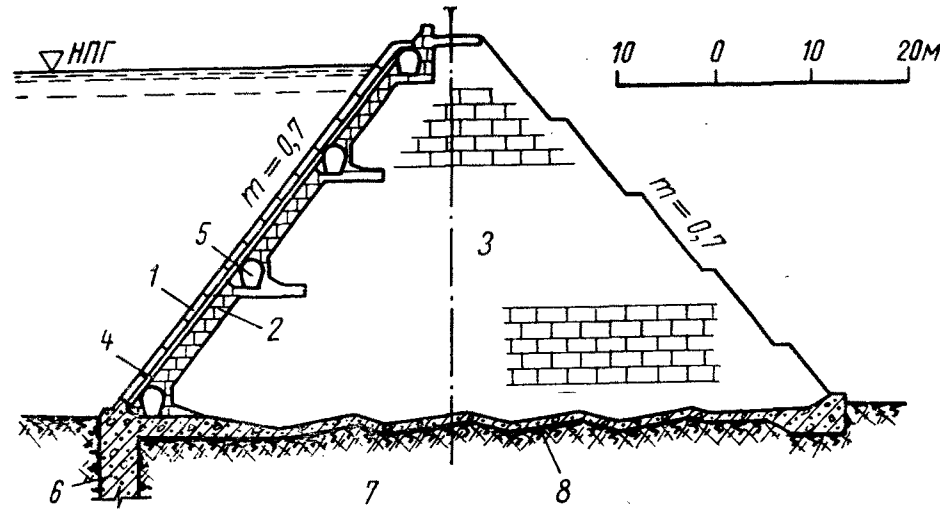
3. Сухая кладка выполнена из крупных камней. Кладка велась слоями 1,5 м с помощью деррика. Низовой клин упорной

призмы отсыпался высокими слоями с уплотнением струей воды из гидромонитора.

5. Камень добывали в карьерах и подвергали его тщательной сортировке с отбором наиболее крупных постелистых, для сухой кладки. Остальная масса скалы, включая и карьерную мелочь весом больше 3 кг, была использована в наброске низовой части плотны. Общий объем камня в плотне 0,105 млн. м³.

112. ПЛОТИНА ПИАНО ГРЕЧИ

Италия, р. Хонэ, 1922—1923 гг. $H=39$ м; $b=4,45$ м; $L=260$ м; $B=63$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—кладка на растворе толщиной от 0,75 м (вверху) до 2,5 м (внизу); 3—сухая кладка; 4—трубчатые дрены; 5—смотровая галерея; 6—бетонный зуб; 7—плотная глина; 8—слой бетона толщиной 25+40 см, покрытый торкретом

1. Экран из железобетонных плит сопрягается с бетонным зубом, заглубленным в подстилающие породы до 12 м. Плиты экрана покрыты торкретом с внутренней арматурой из листового железа и разрезаны температурными швами через 12,2 м. Водонепроницаемость экрана обеспечена металлической шпонкой с битумным наполнением.

2. Подэкрановый слой в виде кладки на растворе. По высоте кладка образует утолщения в виде контрфорсов, заглубленных в тело плотины на 7—8 м.

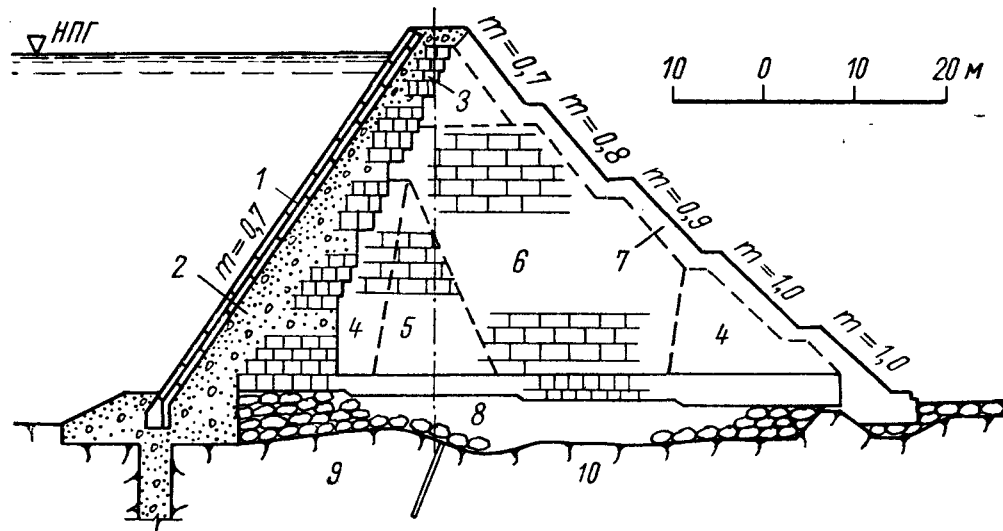
3. Упорная призма из каменной кладки имеет каркас в виде

ряда продольных и поперечных стенок, выполненных из циклопической кладки грубоотесанного камня. Клетки имеют квадратную форму в плане с расстояниями между осями стенок 12,2 м и заполнены сухой кладкой с перевязкой швов. Стенки и заполнение между ними укладывались одновременно.

5. Плотина основана на плотных глинах эоцена. Для защиты основания плотины от размыва был устроен глубокий бетонный зуб. Камень из карьера подвозился к плотине по железной дороге узкой колеи. Ежедневная добыча камня в карьере достигала 500 м³.

113. ПЛОТИНА ТЕПУКСТЕПЕК

Мексика, р. Лерма, 1927—1929 гг. $H=37,5$ м; $b=4$ м



1—железобетонный слоистый экран; 2—бетонные блоки $3,0 \times 1,3$ м; 3—плотная кладка с пустотностью 20% из крупных камней; 4—то же, но уложенная менее тщательно; 5—то же, что и п. 3, но с пустотностью 25%; 6—кладка с пустотностью 30%; 7—кладка штучного камня; 8—кладка на растворе; 9—вулканические шлаки; 10—слоистый базальт

1. Экран двухслойный из железобетонных плит толщиной от 0,5 м (вверху) до 0,7 м (внизу). Между рядами плит уложен слой битума для придания экрану большей водонепроницаемости. Экран сопрягается с основанием с помощью бетонного зуба глубиной до 38 м и шириной от 1,5 до 2,5 м.

2. Подэкрановый слой из бетонных блоков, поверх которых сделано покрытие асфальтовым лаком толщиной 2 мм. По лаку уложен асфальтовый битум толщиной 25 мм.

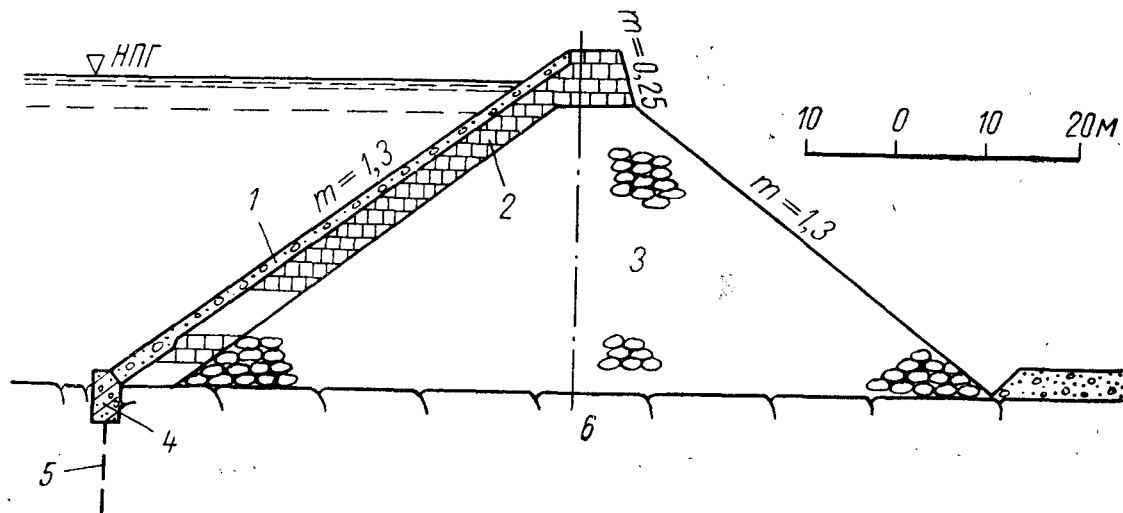
3. Упорная призма из сухой кладки камня (базальт). По низовому откосу плотины уложен слой кладки на растворе.

4. По данным натурных наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении за первый год эксплуатации составила 5 мм.

5. Для перевозки камня из карьера в плотину использовалась железная дорога узкой колес. Объем сухой кладки 73 тыс. м³.

114. ПЛОТИНА ЛЕМОЛО

США, р. Нортс Умпквэ, 1954 г. $H=36,3$ м



1—бетонный экран; 2—сухая кладка толщиной 3 м; 3—каменная наброска из базальтов, 4—бетонный зуб; 5—цементационная завеса; 6—скала, содержащая слои базальта, туфы, конгломераты

1. Экран из железобетонных плит, бетонруемых на месте. Толщина экрана $0,3 м + 0,005 H$. Размер плит в нижней половине экрана $10,0 \times 10,0$ м, в верхней половине $20,0 \times 15,0$ м. Водонепроницаемость экрана обеспечивается за счет резиновых шпонков.

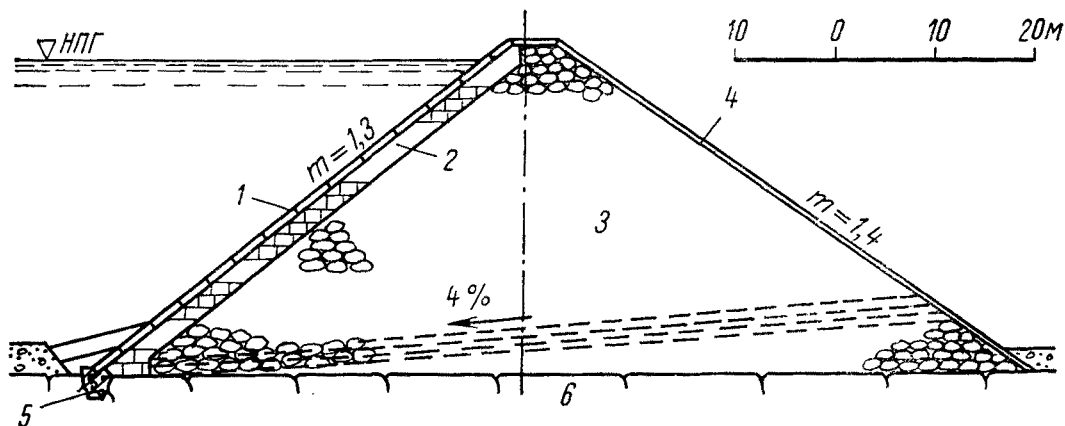
2. Подэкранный слой из сухой кладки. Промежутки между камнями заполнены гравием. С верховой стороны кладка выполнена на растворе.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 12,0 м из камня весом от 1 до 10 т с уплотнением гидромонитором (расход воды $3 м^3$ на $1 м^3$ каменной наброски).

4. По данным натурных наблюдений после одного года эксплуатации максимальная осадка экрана имела место на высоте $\frac{1}{3} H$ от основания и равнялась 10 см. Смещение в сторону НБ составляло 7,3 см.

115. ПЛОТИНА КУОЙЧ

Англия, р. Гир Гэрри, 1956 г. $H=33,6$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—сухая кладка; 3—каменная наброска; 4—покрытие откоса тесаным камнем толщиной 0,25 м; 5—бетонный зуб; 6—скала

1. Экран выполнен из железобетонных плит размером $6,0 \times 6,0$ м, толщиной от 0,30 м (у гребня) до 0,38 м (у основания), бетонированных на месте. Поверхность экрана выполнена двойной кривизны.

2. Подэкрановый слой представлен кладкой из булыжника вручную. Толщина кладки от 1,0 м (у гребня) до 2,0 м (у основания).

3. Упорная призма укладывалась слоями 0,6 м с поливом водой (под давлением 2,8 атм) и уплотнением сначала 10-тонным паровым катком, а затем 3,5-тонным виброкатком. Уплотнение слоя при укатке составляло 6,2% от высоты слоя. Объемный вес

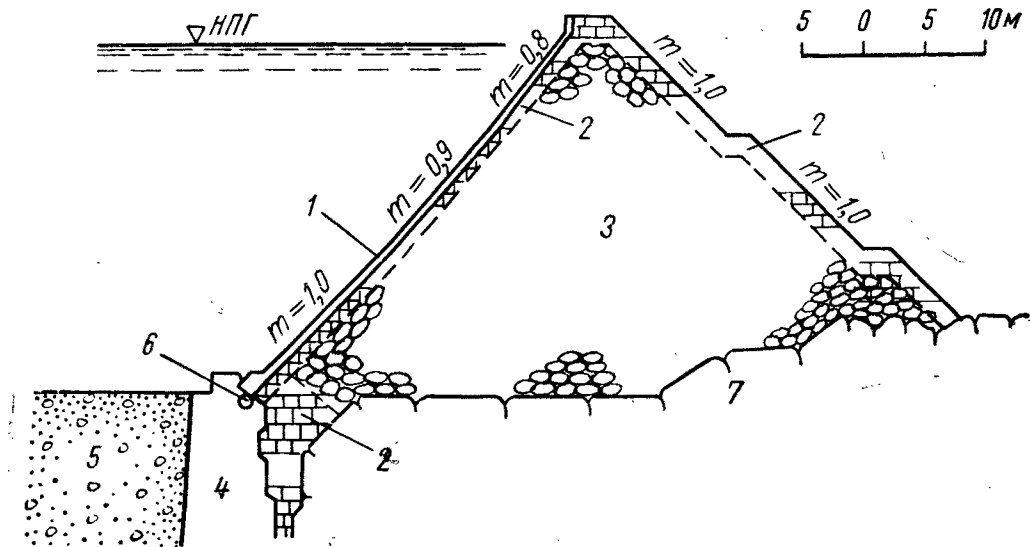
наброски $\gamma_{ск}=1,91$ т/м³, ($n=27,1\%$).

4. По данным натурных наблюдений за четыре года эксплуатации осадка гребня плотины в максимальном сечении составила 2 см (0,05% от высоты плотины). Горизонтальное смещение практически отсутствовало.

5. Весь камень, использованный в наброску, проходил сортировочно-промывочную установку, где отмывалась грязь и отделялись фракции мельче 9,2 мм. Максимальный размер камня, использованного в наброску, не превышал 40 см. Среднемесячная производительность по укладке камня составила 12,5 тыс. м³, максимальная производительность достигала 22 тыс. м³.

116. ПЛОТИНА ГРЕЗИОЛЬ

Франция, р. Адур де Гаре, 1951 г. $H=30$ м; $b=2,5$ м; $L=126$ м



1—железобетонный экран; 2—сухая каменная кладка толщиной 0,5 м; 3—каменная наброска, 4—бетонный зуб; 5—насыпь из материала отвалов; 6—дренаж; 7—граниты

1. Экран железобетонный, толщиной 0,2 м, уложен наклонными полосами шириной от 5 до 14 м. Арматура экрана представляет собой сетку из стержней диаметром 10 мм. Водонепроницаемость экрана обеспечивается шпонками из медных листов с заполнением битумом. Сопряжение экрана с основанием осуществлено бетонным зубом, имеющим в плане форму арки. Шов между зубом и экраном имеет шпонку из медного листа и битумной мастики, которая сверху закрыта дубовой доской.

2. Подэкранный слой из кладки камня с подбором уложен слоями 1,5 м. Верховая поверхность кладки выравнена тощим бетоном толщиной 10 см. Бетон покрыт битумным составом, облегчающим подвижки экрана по подэкранный кладке.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 2—3 м из горной массы (граниты). Камень сбрасывался с вагонеток.

4. По данным натуральных наблюдений за один год эксплуатации осадка гребня плотины в максимальном сечении составила 22 см;

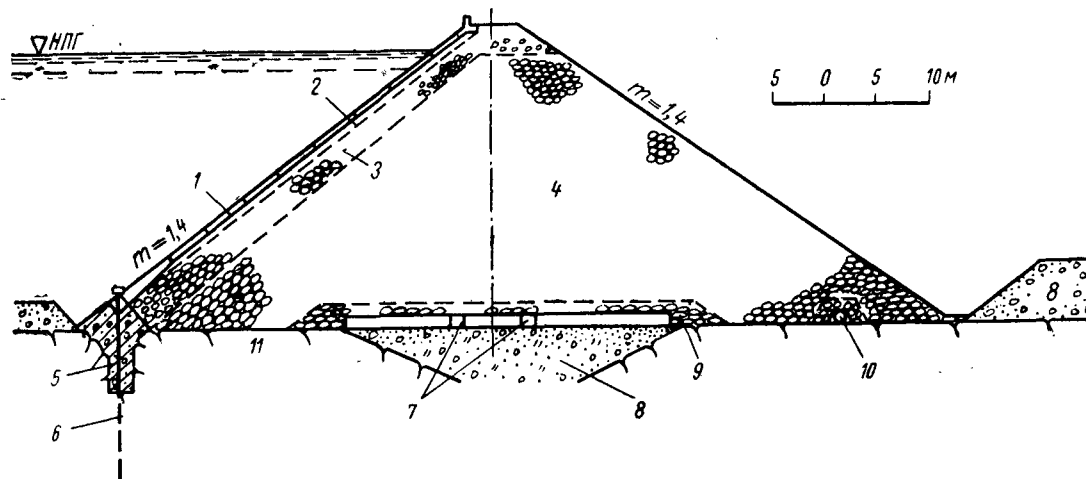
смещение в сторону НБ 11 см. К 1959 г. горизонтальное смещение достигло 20 см.

5. В результате первого наполнения водохранилища в экране возникли повреждения. После опорожнения водохранилища вы-

яснили, что покрытие шпонки было сорвано, и экран между шестой и седьмой плитами у зуба имеет трещину. Причиной считали неудачную конструкцию паза и наличие за зубом и под экраном каменной кладки, создававшей жесткое сопряжение.

117. ПЛОТИНА САСЬЕР

Франция, р. Сассьер, 1959 г. $H=30$ м; $b=5$ м; $L=315$ м



1—экран из железобетонных плит; 2—слой бетона; 3—подэкранный слой из горной массы, уплотненный вибрированием; 4—каменная наброска; 5—бетонный зуб; 6—противофильтрационная завеса; 7—дренажные отверстия; 8—морена; 9—каменная кладка; 10—дрена; 11—кварциты

1. Экран из железобетонных плит толщиной от 0,3 м (у гребня) до 0,7 м (у основания), армированных двойной арматурой. Размер плит в верхней половине экрана $12,0 \times 3,35$ м, в нижней — $12,0 \times 8,0$ м. Водонепроницаемость экрана обеспечивается резиновыми шпонками. Швы шириной 25 мм заполнены битумизированными пластинами из пластичного материала.

2. Подэкранный слой выполнен в виде наброски толщиной

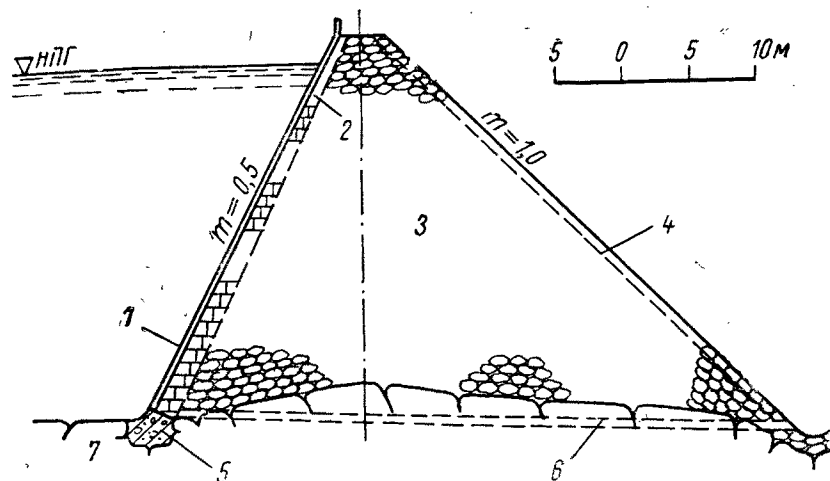
2 м, уплотненной вибраторами. Наброска выравнена слоем толстого бетона (0,05—0,10 м), по которому уложен слой толя.

3. Упорная призма из горной массы (кварциты) отсыпалась слоями 6 м с уплотнением струей воды из гидромониторов (расход воды 4 м^3 на 1 м^3 каменной наброски).

4. По данным натуральных наблюдений после одного года эксплуатации экран получил осадку до 28 мм и горизонтальное смещение в сторону НБ 11 мм.

118. ПЛОТИНА ПАРТЬОН

Франция, р. Партьон, 1950 г. $H=31$ м; $b=2,3$ м; $L=205$ м



1—торкрет по сетке; 2—каменная кладка на растворе; 3—камень, уложенный вручную; 4—крепление откоса камнем; 5—бетонный зуб; 6—дренаж; 7—скала (граниты)

1. Экран выполнен в виде каменной кладки на цементном растворе, толщиной от 0,6 м у гребня до 1,2 м у основания. Экран разрезан вертикальными швами через 12 м. Водонепроницаемость обеспечена битумными заполнителями и стальной лентой.

3. Упорная призма из камня, уложенного вручную слоями 1,0 м.

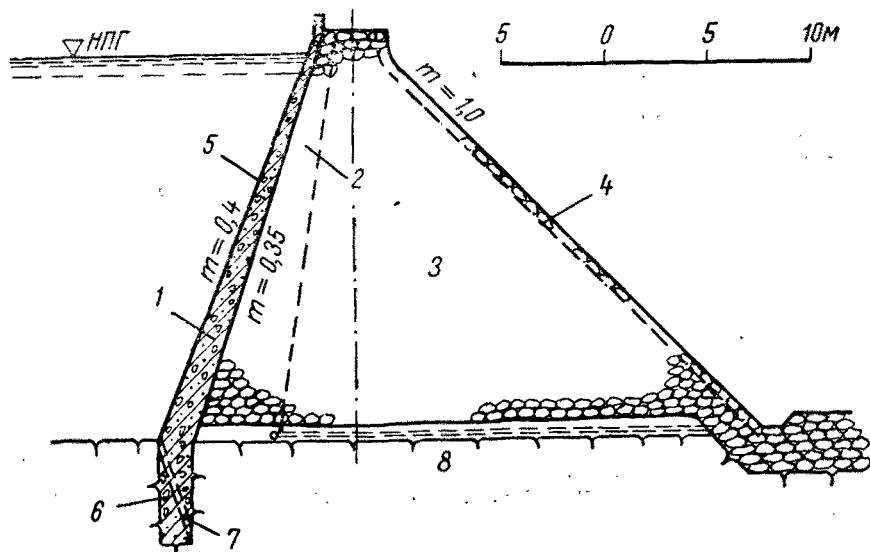
4. После четырех лет эксплуатации в месте примыкания бетонного зуба к каменной кладке экрана появилась непрерывная трещина от одного берега до другого. Трещина была заделана

цементным раствором и битумными материалами. Однако ремонт не дал положительных результатов. Утечка воды достигла 340 л/сек. После этого на верховой откос нанесли торкрет по сетке слоем 6—8 см. Утечка воды снизилась до 4—40 л/сек.

5. Плотина расположена на скальном основании (левый берег) и на моренных отложениях (подстилаемых скалой на глубине 7—8 м) (правый берег). Сопряжение экрана с основанием осуществлено с помощью зуба. Глубина зуба в скале 1,5 м, в морене 10 м.

119. ПЛОТИНА ГРАНД-ПАТЮР

Франция, р. Оу, 1948 г. $H=20$ м; $b=3,0$ м; $L=240$ м; $B=32$ м



1—бетонный экран; 2—сухая кладка; 3—каменная наброска; 4—крепление откоса камнем на растворе; 5—торкрет по металлической сетке; 6—бетонный зуб; 7—труба для нагнетания раствора; 8—скала (гранты)

1. Экран бетонный, толщиной от 0,5 м у гребня до 1,5 м у основания, разрезан вертикальными швами через 15 м. Водонепроницаемость экрана обеспечивается металлической шпонкой с битумным заполнением. Сопряжение экрана со скальным основанием осуществлено бетонным зубом.

2. Подэкранный слой из сухой кладки, выполненный вручную, толщиной от 1,0 м у гребня до 5,0 м у основания. На толщину 0,4 м от поверхности кладка выполнена на растворе.

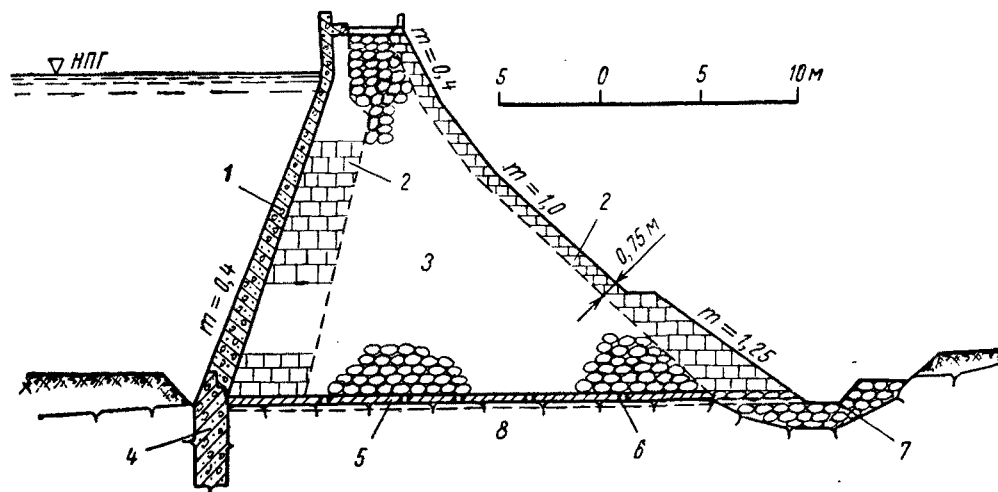
3. Упорная призма из каменной наброски, уложенной вручную.

4. После заполнения водохранилища осадка гребня в максимальном сечении составила 4 см (0,2% от высоты плотины). Горизонтальное смещение в сторону НБ равнялось 7 см.

5. Правобережная и центральная части плотины расположены на скале, левобережная — на морене. Противофильтрационная завеса в основании плотины была устроена в скале с помощью цементации, а в морене — инъекцией глинистого раствора. После опорожнения водохранилища было обнаружено несколько трещин в экране, преимущественно горизонтальных. В 1957 г. поверхность экрана покрыли цементной штукатуркой по металлической сетке.

120. ПЛОТИНА ШАММЕ

Франция, 1951 г. $H=20$ м; $b=4,9$ м; $L=123$ м



1—железобетонный экран; 2—сухая каменная кладка; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—фундаментная плита толщиной 0,45 м; 6—дренажные отверстия; 7—дренажный лоток; 8—граниты

1. Экран из железобетона толщиной от 0,5 м у гребня до 1,3 м у основания разрезан вертикальными швами через 12 м. Водонепроницаемость обеспечивается медными шпонками. На пересечении вертикальных и горизонтальных швов имеются углубления, заполненные битумом. Сопряжение экрана со скальным основанием осуществляется с помощью бетонного зуба.

2. Подэкрайовый слой толщиной от 1,5 м у гребня до 3,5 м

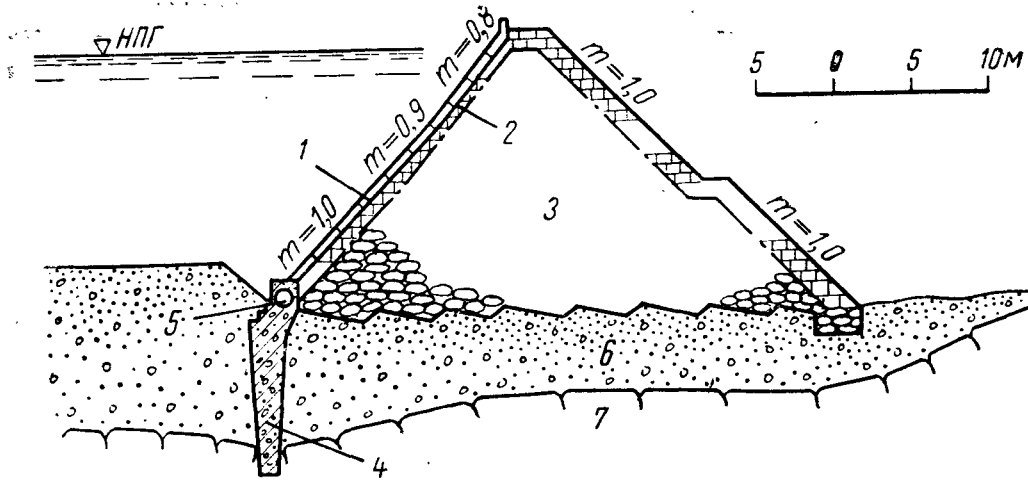
у основания из сухой кладки крупных постелистых камней с заполнением пор мелочью. Поверхность кладки выровнена бетоном.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 2—3 м с уплотнением груженым транспортом.

4. По данным натурных наблюдений за поверхностными реперами максимальная осадка экрана в средней его части достигала 15 мм.

121. ПЛОТИНА ЭСКУБУ

Франция, 1953 г. $H=20$ м; $b=2$ м; $L=123$ м



1—железобетонный экран; 2—сухая каменная кладка; 3—каменная наброска; 4—бетонный зуб; 5—дренажный коллектор; 6—аллювиальные отложения; 7—скала

1. Экран железобетонный, толщиной 0,2 м, армирован по центру плиты сеткой из стержней диаметром 8 мм с шагом 10 см. Водонепроницаемость вертикальных швов обеспечивается медной шпонкой; за экраном осуществлен дренаж. Сопряжение экрана со скальным основанием осуществляется бетонным зубом.

2. Подэкранный слой из сухой кладки тщательно подобранных камней. Поверхность кладки выровнена бетоном и покрыта двумя слоями каменноугольной смолы.

3. Упорная призма укладывалась слоями 0,6 м с уплотнением

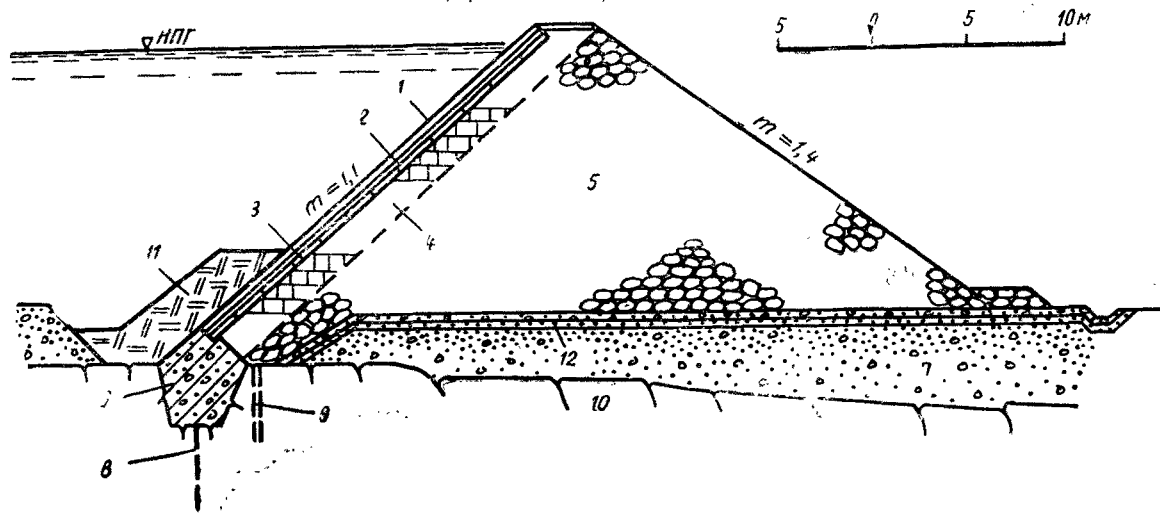
движущимся транспортом.

4. По данным натуральных наблюдений во время заполнения водохранилища максимальная осадка гребня составила 2 см, горизонтальное смещение 2,5 см. После шести лет эксплуатации горизонтальное смещение гребня увеличивалось до 4,7 см.

5. Плотина располагается на аллювиальных отложениях, подстилаемых скалой. Под центральной частью плотины слой аллювия достигает 15 м, у береговых примыканий скала залегает на небольшой глубине.

122. ПЛОТИНА НИССАСТРЁМ

Швеция, р. Ниссан, 1950 г. $H=17$ м



1—битумное покрытие (трехмиллиметровые битумматы между двумя слоями пятисантиметровых досок); 2—деревянные брусья 15×20 см через 2 м; 3—железобетонный экран; 4—кладка на растворе; 5—каменная наброска; 6—бетонный зуб; 7—алювий; 8—противофильтрационная завеса; 9—дренажные скважины глубиной 6 м; 10—скала; 11—водонепроницаемая уплотняющая грунтовая засыпка; 12—фильтр из крупного гравия слоем 0,3 м, мелкого гравия слоем 0,3 м и крупнозернистого песка

1. Экран из железобетонных плит размером $4,6 \times 3,9$ м, армированных двойной арматурой. Экран разрезан вертикальными и горизонтальными швами. Для усиления экрана применено деревянное покрытие из двух рядов досок по 5 см и слой битумных матов 3 мм.

2. Подэкраиновый слой кладки на растворе.

3. Упорная призма укладывалась слоями 0,45—0,60 м с поливом водой (расход воды 5 м^3 на 1 м^3 каменной наброски) и уплотнением 10-тонным паровым катком и вибромашинной 1,6 т.

В результате слой камня получил уплотнение, равное 17% от высоты слоя. Пористость наброски колебалась в пределах 29—31%.

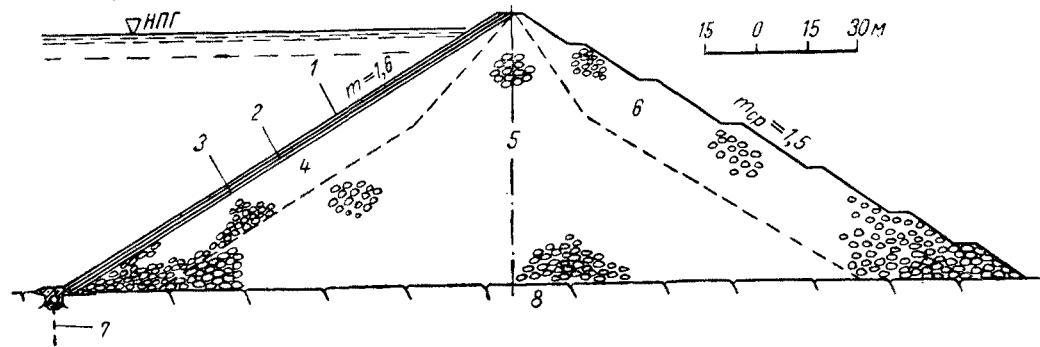
4. По данным натуральных наблюдений после четырех лет эксплуатации осадка гребня не превышала 2—3 см.

5. В упорную призму укладывался мелкий камень следующего гранулометрического состава: 2,5 см—10%, 2,5—5,0 см—22%, 5,0—15,0 см—28%, 15,0—30,0 см—30%, свыше 30 см—10%. Стоимость укладки 1 м^3 каменной наброски составляла 1,33 доллара.

ПЛОТИНЫ С АСФАЛЬТОБЕТОННЫМИ ЭКРАНАМИ

123. ПЛОТИНА ИРИЛЬ ЭМДА

Алжир, р. Уэд Агриун, 1952—1954 гг. $H=80$ м; $b=8,5$ м; $L=710$ м



1—железобетонное покрытие; 2—два слоя асфальтобетона толщиной по 6 см; 3—пористый бетон толщиной 12 см; 4—щебень с большим содержанием мелочи; 5—несортированный щебень; 6—щебень без мелочи; 7—противофильтрационная завеса; 8—мергелистые сланцы с пропластками глинистых известняков

1. Экран из асфальтобетона. Конструкция: железобетонная плита толщиной 8—15 см; асфальтовый раствор 1 см; асфальтобетон 12 см; пористый бетон; бетонная подготовка. Слои асфальтобетона был уплотнен 15-тонным катком за пятнадцать проходов. Состав асфальтобетона: битум III класса — 9%; порошок — 12%; песок — 52%; гравий — 36%. Площадь экрана 47,5 тыс. м².

2. Подэкранный слой (зона 4) укладывался слоями 0,25 м с уплотнением виброкатком. Верховой откос выравнен слоем пористого бетона.

3. Упорная призма возводилась из мелкого щебня известняка (10% > 100 мм, 4—5% < 1,25 мм). Зона 5 укладывалась слоями 0,5 м, зона 6 — слоями 1,0 м. Уплотнение проводилось дорожным

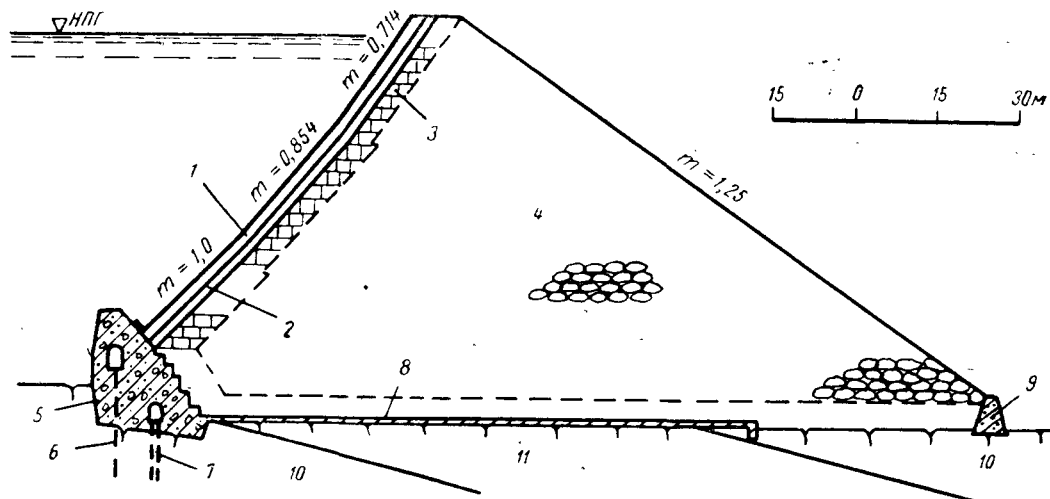
катком или виброкатком за одну проходку; $\gamma_{ск} = 1,95—2,10$ т/м³. Прочность известняка на раздавливание составляла 1000 кг/см².

4. Для наблюдения за осадкой основания в теле плотны, у поверхности основания и в глубине основания была размещена обширная сеть контрольных реперов. При наполнении водохранилища отмечен поворот основания в сторону ВБ. Деформация экрана за три года эксплуатации составила 100 мм.

5. Плотина возведена в сложных инженерно-геологических условиях, которые характеризуются необеспеченной устойчивостью земляных масс в бортах долины и высокой сейсмичностью района сооружения. В расчетах устойчивости плотины была принята однородная характеристика пород основания со средним модулем 20—30 тыс. кг/см².

124. ПЛОТИНА ДЕ ГРИБ

Алжир, р. Уэд Шелифф, 1927—1943 гг. $H=72$ м; $b=6,0$ м; $L=400$ м; $B=150$ м



1—асфальтобетонный экран прикрытый защитным слоем из железобетона; 2—дренажный слой пористого бетона; 3—кладка на растворе; 4—сухая кладка крупного камня; 5—бетонный зуб; 6—противофильтрационная завеса; 7—дренаж; 8—железобетонная плита 40 см с дренажем; 9—упорная бетонная стенка; 10—песчанник; 11—мергель

1. Экран состоит из слоя асфальтового раствора толщиной 1 см; двух слоев асфальтобетона по 6 см; обмазки битумом (1 кг/м^2). Для защиты от температурного воздействия экран прикрыт бетонными армированными плитами размером 2×3 м толщиной 10 см. Состав асфальтобетона: битум IV—8%, песок—36%, щебень—56%. Площадь экрана 15,2 тыс. м^2 .

2. Подэкранный слой из кладки на растворе. Верховой откос выравнен слоем пористого бетона толщиной 10 см, используемого как дренаж.

3. Упорная призма из сухой кладки (известняк) выполнялась с помощью гусеничных стреловых кранов. Поры между крупными камнями были заполнены каменной мелочью. Пустотность каменной кладки $n=26 \div 27\%$. В основном в сухой кладке использовался крупный камень; вес отдельных камней достигал 15 т.

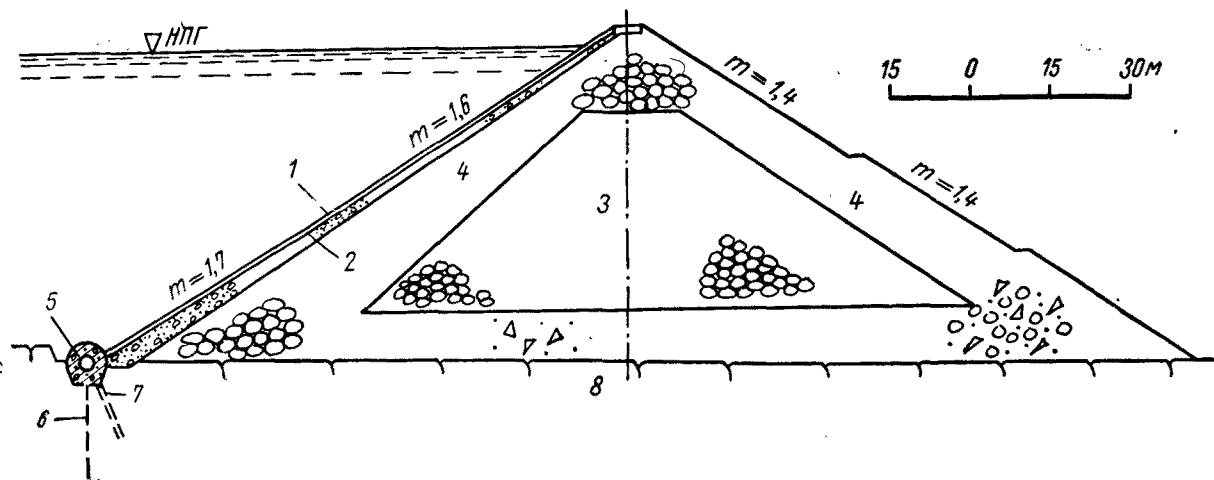
4. За двадцать лет наблюдений осадка гребня плотины в максимальном сечении составила 30 см. Смещение гребня в сторону НБ составило также около 30 см.

5. Камень из карьера, расположенного на расстоянии 10 км, перевозился по железной дороге. После окончания строительства произошло оползание защитного бетонного покрытия (около

3 тыс. м³, на площади 12 тыс. м²). Обследование показало, что это произошло вследствие коррозии арматуры защитного покрытия. Общий объем тела плотины 0,7 млн. м³.

125. ПЛОТИНА АЛЕЗАНИ

Франция, р. Алезани, 1967—1969 гг. $H=65$ м; $b=5$ м; $L=155$ м; $V=234$ м



1—трехслойный асфальтобетонный экран; 2—подэкранный слой из камня размером 25—125 мм; 3—каменная наброска (8% < 10 мм, 25%—камни 500 кг и более) (Г); 4—каменная наброска из крупного камня (Г); 5—бетонный зуб; 6—противофильтрационная завеса глубиной 45 м; 7—дренаж; 8—кварциты

1. Экран асфальтобетонный, состоит из трех слоев. Первый слой имеет толщину 10 см, два других слоя по 6 см. Верхний слой покрыт смазкой битума с наполнителем из алюминиевого порошка.

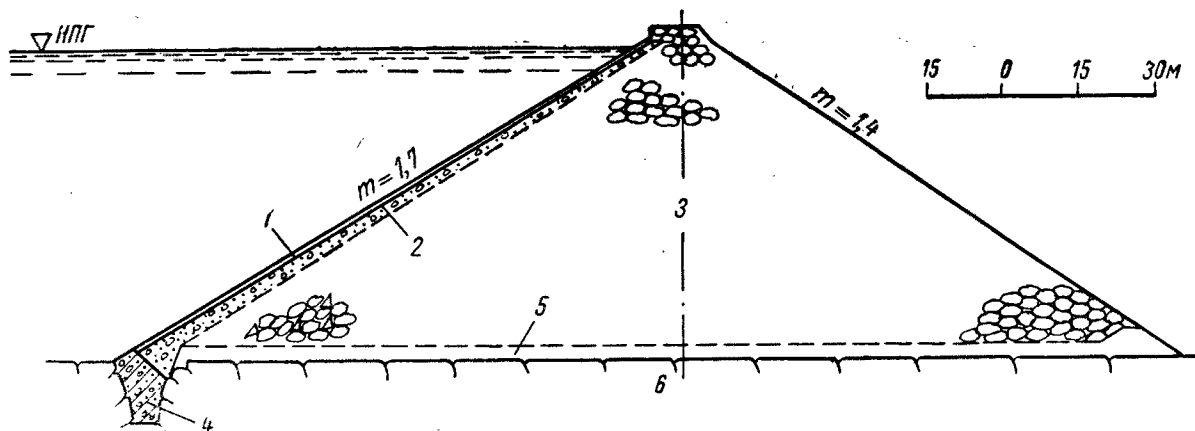
2. Подэкранный слой толщиной 2,8 м у гребня и 5,0 м у основания укладывали слоями 0,5—1,5 м с уплотнением

8,5-тонным виброкатком за восемь проходов.

3. Упорная призма (зоны 3 и 4) укладывалась слоями 1,0 м и 1,5 м, соответственно, с уплотнением 8,5-тонным виброкатком за шесть проходов и поливом водой (расход воды 0,5 м³ на 1 м³ каменной наброски); $n=25-35\%$; $\varphi=40-45^\circ$; $\gamma_{ск}=2,13-2,21$ т/м³.

126. ПЛОТИНА ВЕНЕМО

Норвегия, р. Бора, 1965 г. $H=64$ м; $L=234$ м



1—трехслойный асфальтобетонный экран; 2—подэкранный слой из уплотненной горной массы; 3—каменная наброска из горной массы; 4—бетонный зуб; 5—дренажный слой; 6—скала

1. Экран из асфальтобетона, трехслойный. Первые два слоя укладывали с отставанием друг от друга по откосу на 30 м, затем был уложен третий слой. Каждый слой асфальта уплотняли виброкатком до заданной плотности и покрывали битумной эмульсией. Сопряжение экрана со скальным основанием осуществлено с помощью бетонного зуба.

2. Подэкранный слой выполнен в виде каменной наброски, уложенной слоями 1 м с поливом водой и уплотнением 8,5-тонным виброкатком. Каменная наброска с верховой стороны выравнена слоем щебня, затем покрыта горячим битумом и укреплена

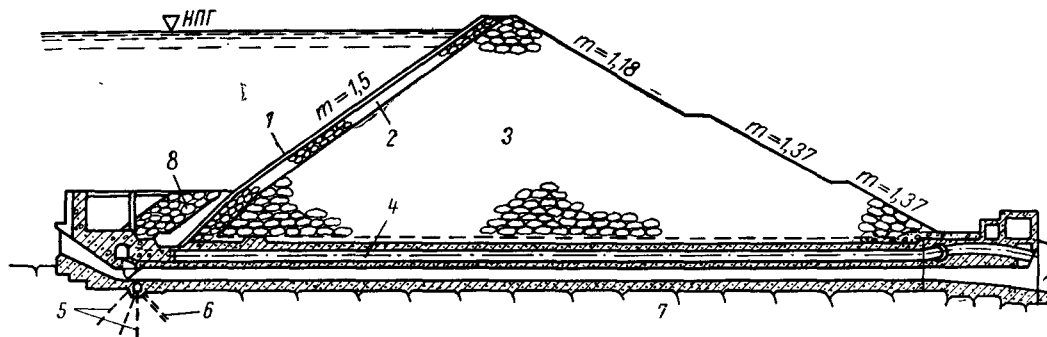
асфальтом.

3. Упорная призма укладывалась слоями 1,5 м с поливом водой и уплотнением 8,5-тонным виброкатком. Часть низового клина отсыпалась высокими слоями с уплотнением струей воды из гидромонитора.

5. Скала вокруг бетонного зуба цементировалась. В каньоне реки была устроена бетонная пробка высотой 12 м и шириной 4 м. Скала вокруг пробки также цементировалась. Для разработки конструкции экрана была возведена небольшая опытная плотина, на которой были проверены детали конструкции.

127. ПЛОТИНА САЛАГУ

Франция, р. Салагу, 1964—1969 гг. $H=62,3$ м; $b=7,4$ м; $L=357$ м



1—асфальтобетонный экран (сверху вниз: солнцезащитный слой—10 см; асфальтобетон, два слоя по 6 см; подстилающий слой 10 см; выравнивающий слой щебня 20—60 мм, укрепленный битумной эмульсией); 2—подэкранный слой из камня крупностью 80—250 мм; 3—каменная наброска, 4—водобросной тракт; 5—противофильтрационная завеса глубиной до 55 м; 6—дренаж; 7—филлиты и базальты; 8—асфальтобетон

1. Экран из крупнозернистого асфальтобетона; для чего, в асфальто-песчаный раствор при температуре более 150°C втрамбовывались вибрированием камни ($d=10-15$ см), предварительно обработанные битумом. Содержание камня в асфальтобетоне до 30%. Объемный вес асфальтобетона $\gamma=2,3$ т/м³. Экран сопрягается со скальным основанием с помощью бетонного зуба и противофильтрационной завесы.

2. Подэкранный слой из мелкого камня укладывался слоем 0,3 м с уплотнением 10-тонным вибротатком.

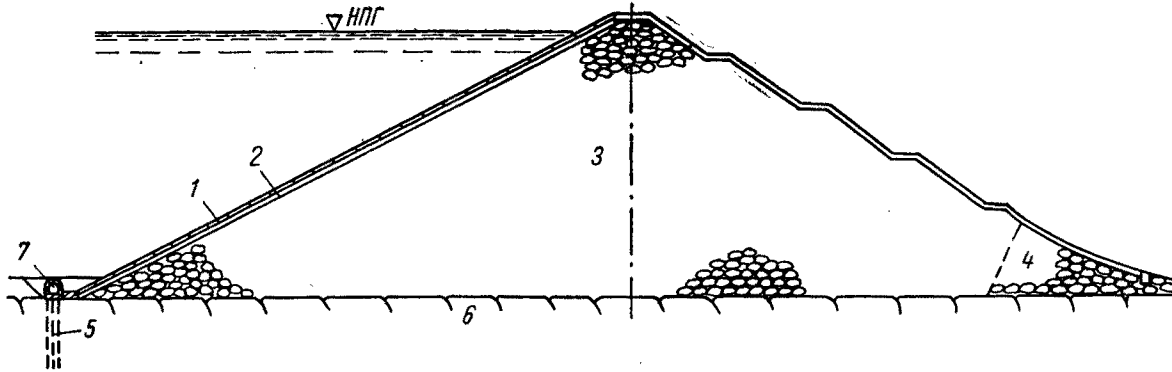
3. Упорная призма отсыпалась слоями 1,0 м с поливом водой

и уплотнением 10-тонным вибротатком за двадцать проходов; $\gamma_{\text{ск}}=2,0-2,3$ т/м³, $n=20-30\%$, $\varphi=41-42^{\circ}$. Гранулометрический состав наброски характеризуется следующими величинами: 20% более 500 кг; 40% более 200 кг; 80% более 75 кг; 95% более 10 кг; каменной мелочи, гравия и песка 3%. Объем каменной наброски 0,8 млн. м³.

4. В плотине установлена контрольно-измерительная аппаратура для определения осадок и горизонтальных смещений. Максимальная осадка гребня плотины после окончания строительства составила 8 см.

128. ПЛОТИНА ОРА

ГДР, 1960—1963 гг. $H=58$ м; $b=7$ м; $V=224$ м



1—экран; 2—выравнивающий слой щебня толщиной 10 см ($d_{\text{макс}} < 20$ мм); 3—каменная наброска из кварцевых порфиров (Γ); 4—упорный клин из крупного камня; 5—трехрядная противофильтрационная завеса; 6—порфиры; 7—инспекционная галерея

1. Экран сборный из железобетонных плит площадью 1—3 м², дренированных. Водонепроницаемость обеспечивается 1,5-сантиметровым слоем асфальтового покрытия. Плиты экрана укладывались по подготовке из тощего бетона. Швы между плитами в пределах асфальтового покрытия заделывались битумными шнурами. Дренаж экрана выведен в смотровую галерею зуба плотны, что обеспечивает наблюдение за работой экрана.

2. Подэкранный слой выполнен из щебня, закрепленного цементным раствором, ниже — слой каменной наброски, уплотненной виброкатком за четыре прохода по откосу. Пористость

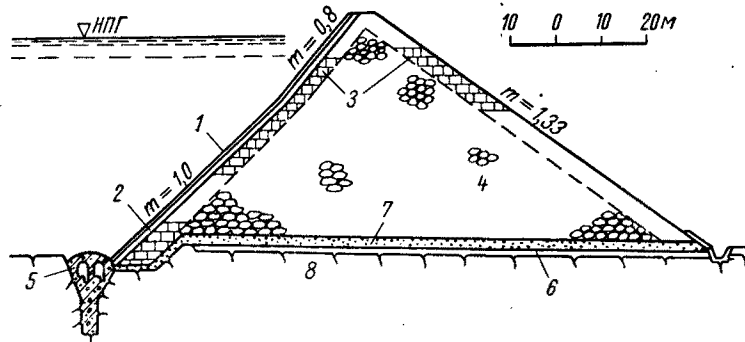
наброски на откосе $n=25\%$ (при $\gamma_{\text{уд}}=2,65$ т/м³ и $\gamma_{\text{ск}}=1,98$ т/м³).

3. Упорная призма укладывалась слоями 0,7 м с уплотнением виброкатком за шесть проходов; $\gamma_{\text{ск}}=1,91—2,04$ т/м³. Пробы на плотность каменной наброски брались в количестве одна на каждую тысячу м³ наброски. Объем каменной наброски 0,95 млн. м³.

5. Уплотнение откоса виброкатком велось только при движении катка вверх от откосу. Среднемесячная производительность по укладке каменной наброски 60 тыс. м³. Стоимость уплотнения 1 м³ наброски виброкатком 0,4 марки (ГДР).

129. ПЛОТИНА БУ-ХАНИФИЯ

Алжир, р. Эль-Хамам, 1938 г. $H=56$ м; $b=5$ м; $L=460$ м; $V=125$ м



1—асфальтобетонный экран; 2—кладка на растворе; 3—сухая кладка из отборного крупного камня; 4—сухая кладка из карьерного камня; 5—бетонный зуб с инспекционной и дренажной галереями; 6—дренажная труба; 7—пятислойный фильтр; 8—мерзели

1. Экран из асфальтобетона толщиной 6 см; состав асфальтобетона: битум IV—8%; песок—36%; щебень—56%. Для защиты от температурного воздействия экран прикрыт железобетонными плитами толщиной 8—15 см. Поверхность экрана 25,6 тыс. м².

2. Подэкрановая кладка толщиной не менее 0,4 м выполнена из бетона и уложена в виде облицовки ступенчатого откоса плотины. Пористый бетон кладки подобран из расчета обеспечения достаточной водопроницаемости, чтобы исключить возможность образования противодавления под экраном. Все уложенные нормально к откосу камни подэкрановой кладки утоплены в бетон,

откос представляет гладкую поверхность.

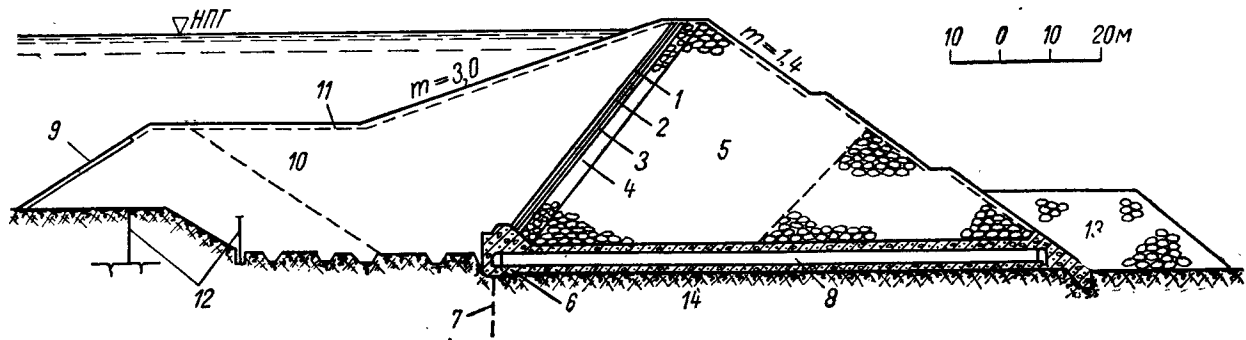
3. Упорная призма из сухой кладки (циклопической). Вес камней 2—10 т, иногда встречались камни до 15 т. Кладка велась слоями 5 м. В пределах верхового и низового откосов кладка производилась особо тщательно из специально подобранного крупного камня. Средняя пустотность кладки составила 26,75%. Объем каменной кладки 0,7 млн. м³.

4. По данным натурных наблюдений после одного года эксплуатации осадка гребня составила 10 см.

5. Камень из карьера подавался по железной дороге узкой колеи.

130. ПЛОТИНА ВАЛЛЕ ДИ ГАЙЮ

Португалия, р. Саду, 1949 г. $H=51$ м; $b=6$ м; $L=368$ м; $V=229$ м



1—асфальтобетонный экран; 2—пористый бетон; 3—кладка на растворе; 4—каменная кладка насухо; 5—каменная наброска; 6—бетонный зуб; 7—противофильтрационная завеса (глубина 15—18 м); 8—дренажная галерея; 9—асфальтовая одежда; 10—земляная насыпь; 11—отмостка камнем; 12—металлические шпунтовые стенки; 13—каменная пригрузка; 14—хлоритовые сланцы с прожилками кварца

1. Экран из асфальтобетона уложен на слой пористого бетона толщиной 0,1 м. Толщина экрана изменяется от 0,2 м у основания до 0,1 м у гребня. Состав асфальтобетона: битум III — 10%, порошок — 27%, песок — 27%, щебень — 36%. Площадь экрана 115 тыс. м².

2. Подэкранный слой из кладки на растворе и кладки насухо. Для отвода воды, просочившейся через экран, на поверхности каменной кладки устроены дрены.

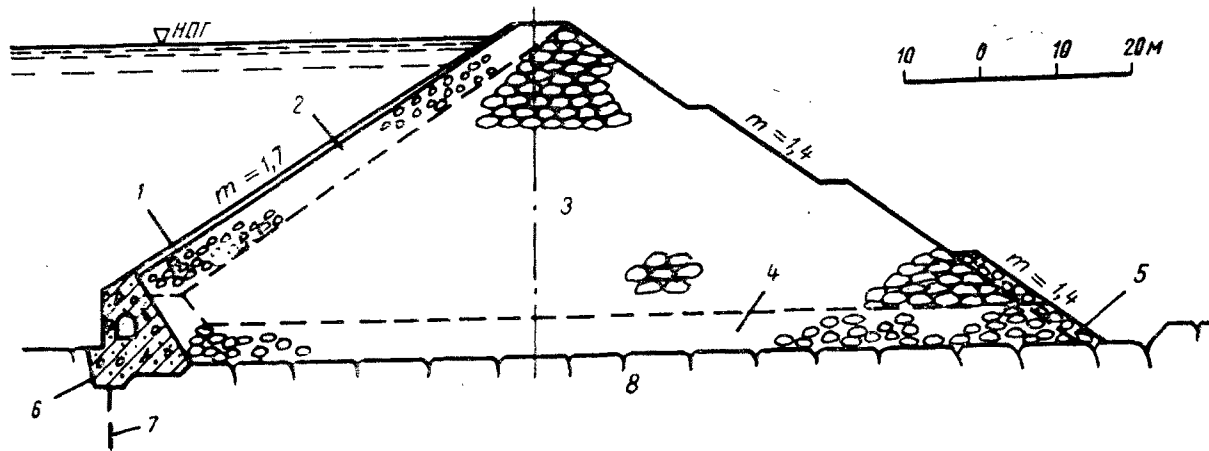
3. Упорная призма (зоны 4, 5) укладывались слоями 1,5—

2,0 м с уплотнением катком на пневмошинах. Объем каменной наброски 0,305 млн. м³. С верхней стороны экрана расположена укатанная земляная пригрузка объемом 0,33 млн. м³.

5. Верхние слои основания плотины, сложенные из хлоритовых сланцев, были сильно выветрены. Слабая несущая способность основания и сильная его водопроницаемость потребовали кроме выемки (глубина до 20 м) устройства противофильтрационной завесы.

131. ПЛОТИНА СЕНТ СЕСИЛЬ АНДОРЖ

Франция, р. Гардон д'Алес, $H=45$ м; $b=6$ м



1—трехслойный асфальтобетонный экран (первый слой 10 см с содержанием битума 7,8% от веса сухого заполнителя крупностью 0–20 мм; второй и третий слои толщиной по 6 см с содержанием битума 8% от веса заполнителя крупностью 0–12 мм); 2—подэкранный слой толщиной 5–6 м из мелкого камня ($d=5+200$ мм) (Г); 3, 4—наброска из гнейса и известняка (Г); 5—каменная пригрузка (Г); 6—бетонный зуб; 7—противофильтрационная завеса глубиной 15 м; 8—гнейсы и слюдястые сланцы

1. Экран трехслойный из асфальтобетона укладывался асфальтоукладчиком. Укатка проводилась катком весом 1,2 т, прикрепленным к асфальтоукладчику. Дополнительное сглаживание поверхности осуществлялось двумя двухтонными катками. Остывшие швы подогревались электролампами и заливались чистым битумом.

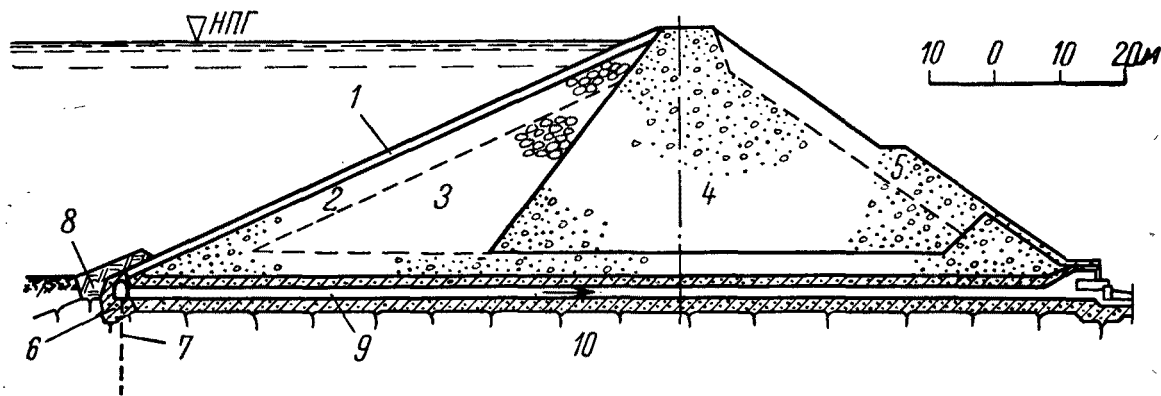
2. Подэкранный слой укладывался слоями 0,6 м с уплотнением 10,5-тонным вибркатком за два прохода.

3. Упорная призма укладывалась слоями 1,2 м с полным водом (расход воды 3 м³ на 1 м³ каменной наброски) и уплотнением 10,5-тонным вибркатком за четыре прохода.

5. Для защиты экрана от механических и температурных воздействий поверхность экрана была покрыта вручную 3 мм слоем битумной смеси и окрашена в белый цвет. Общий объем камня 0,25 млн. м³.

132. ПЛОТИНА ГЕНКЕЛЬ

ФРГ, р. Гуммербах, 1950—1952 гг. $H=43$ м; $b=8,5$ м; $L=180$ м



1—двухслойный асфальтобетонный экран (сверху вниз: асфальтобетон толщиной 9 см; дренарующий слой толщиной 16 см из щебенки базальта размером 4—7 см; асфальтобетон, толщиной 6 см; выравнивающий слой из щебня на растворе, толщиной 8 см); 2—крупный камень, тщательно подобранный; 3—крупный камень без подбора; 4—рядовой камень; 5—камень с большим содержанием мелких фракций; 6—бетонный зуб с дренажной галереей; 7—противофильтрационная завеса; 8—уплотнение из глины; 9—дренажная галерея; 10—скала

1. Экран двухслойный из асфальтобетона. Толщина слоев 9 и 16 см с дренающим слоем (16 см) между ними. Верхняя поверхность наружного слоя асфальтобетона покрыта двумя слоями мастики. В асфальтобетоне 92% составляет сухой заполнитель, где: 40% дробленого базальта (3—8 мм); 12% мелкого гравия (до 3-х мм); 15% песок от среднего до крупного (0,2—2 мм); 15% песок мелкий (0,06—0,2 мм); 18% песок очень мелкий (0,1 мм); остальные 8% (по весу) состоят из 85% битума III и 15% асфальта. Площадь экрана 23 тыс. м².

2. Подэкрайовая зона толщиной 3 м укладывалась слоями 0,3 м с уплотнением груженым транспортом.

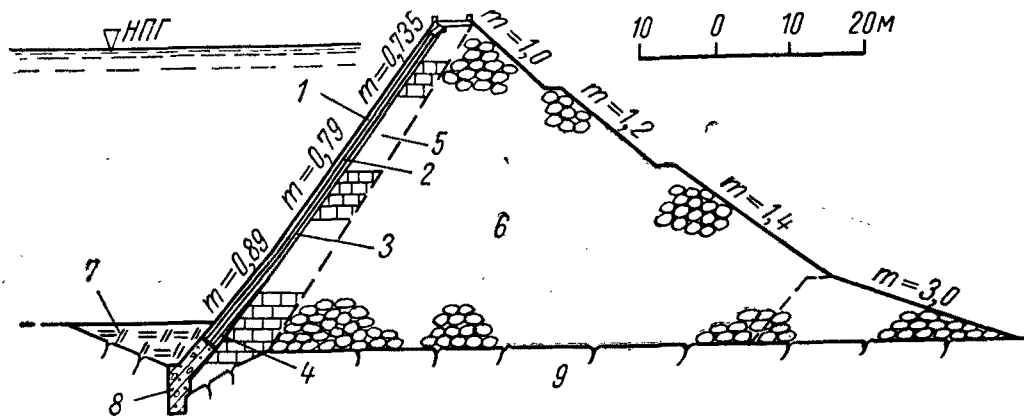
3. Упорная призма укладывалась слоями 0,5 м с уплотнением движущимся транспортом и 2,5-тонной вибротрамбовкой на крае.

4. Осадка гребня за время эксплуатации составила 1,2 см.

5. Для защиты экрана от воздействия льда в воду пропустили теплый воздух. Общий объем камня 0,38 млн. м³.

133. ПЛОТИНА РАДОЙНА

Югославия, р. Увац, 1959 г. $H=42$ м; $b=6$ м; $L=360$ м; $B=97$ м



1—железобетонное покрытие; 2—два слоя асфальтобетона; 3—пористый бетон; 4—выравнивающий слой; 5—подэкрановая кладка, уложенная вручную; 6—каменная наброска; 7—глиняная забивка; 8—бегонный зуб; 9—трещиноватые известняки

1. Экран из асфальтобетона (два слоя по 4,5 см) уложен по пористому бетону, покрытому битумной эмульсией. Сверху экран покрыт тонкой железобетонной плитой без швов площадью 6 тыс. м². Состав асфальтобетона: известковый щебень 15—20 мм — 14%; 7—15 мм — 25%; 3—7 мм — 15%; < 3 мм — 35%; порошок — 5%; гидравлическая известь — 6%; нефтяной битум — проникновение иглы 50—55, температура размягчения 50°; природный битум — проникновение 1 стандартная единица, температура размягчения 130°. Количество битума 8,6% от минерального заполнителя.

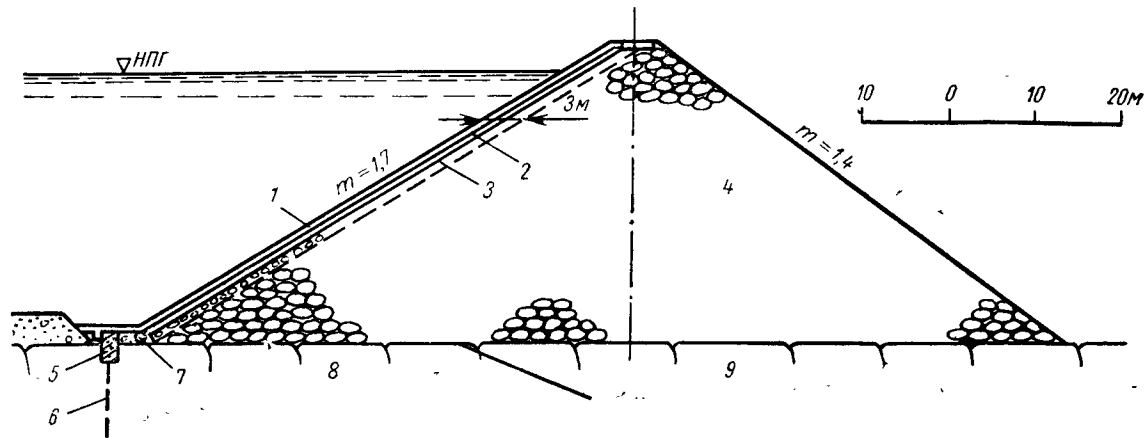
2. Подэкранный слой уложен вручную с подбором из обычного камня. Полученная поверхность выравнена слоем бетона, сверху уложен слой пористого бетона для дренирования воды, просочившейся через экран.

4. По данным натуральных наблюдений после первого наполнения водохранилища осадка гребня плотины составила 18,5 мм, горизонтальное смещение 29,8 мм. Через полгода горизонтальное смещение увеличилось до 58,7 мм. Экран никаких повреждений не получил.

5. Асфальтобетон приготавливали в специальном смесителе, нагревали до 170—190° и доставляли автотранспортом на гребень плотины, а затем развозили на место укладки в вагонетках. Укладка велась слоями по 4,5 см и шириной 3,0 м на всю высоту. Уплотнение производилось вибротампом при количестве проходов не менее пяти. Максимальная температура асфальтобетона во время уплотнения не превышала 140°. Укладка экрана заняла два месяца.

134. ПЛОТИНА МОНТГОМЕРИ

США, р. Мидл-Форк, 1957 г. $H=34,4$ м; $b=6,1$ м; $L=570$ м; $B=118$ м



1—трехслойный асфальтобетонный экран; 2—слой щебня ($d=19-77$ мм); 3—подэкрановый слой камня ($d=75-590$ мм); 4—каменная наброска ($d=0,1-1,5$ м); 5—бетонный зуб; 6—противофильтрационная завеса глубиной 45 м; 7—дрена; 8—граниты; 9—кварциты

1. Экран трехслойный из асфальтобетона. Первый слой толщиной 101 мм, второй 90 мм, третий 75—90 мм. Суммарная толщина экрана менялась от 26,5 см у гребня до 31,4 см у основания. Подача смеси производилась 6-тоиным автосамосвалом, укладка — асфальтоукладчиком, уплотнение — 1,2-тонным виброкатком. Состав асфальтобетона: битум III — 8,5%; порошок — 11,8%; песок — 47,4%; щебень — 40,8%. Цементация скалы основания была проведена через бетонный зуб на глубину 15—45 м. Площадь экрана 33,5 тыс. м².

2. Подэкрановая зона шириной 3 м укладывалась слоями 0,8 м с уплотнением виброкатком.

3. Упорная призма отсыпалась слоями 9,0 м с уплотнением струей воды из гидромонитора (расход воды 2 м³ на 1 м³ на-

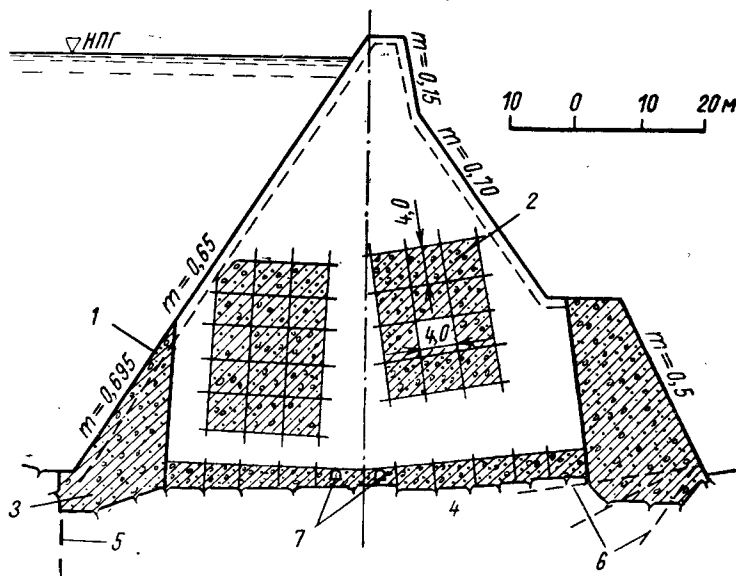
броски). Использованный в наброску камень превышал 100 мм. Максимальный вес камней составлял 5 т.

4. После трех лет эксплуатации осадка гребня в максимальном сечении (пикет 12—45) составляла 8,4 см (0,25%). Горизонтальное смещение за то же время составило в сторону НБ 1,8 см.

5. В основании плотины залегают прочные граниты, а выше их кварциты мощностью до 40 м, покрытые незначительным слоем аллювия. После окончания строительства у северного примыкания плотины в экране выше горизонта воды были замечены несколько незначительных трещин. Трещины были очищены и залечены асфальтом. Общий объем тела плотины 2,664 млн. м³. Средняя стоимость 1 м³ каменной наброски 1,85 доллара; 1 м² экрана — 12,5 доллара.

135. ПЛОТИНА ПЛАТАНИ

Италия, р. Платани, 1953—1954 гг. $H=66$ м; $b=3,82$ м; $L=203$ м; $V=73$ м



1—металлический экран; 2—бетонные блоки; 3—бетонный зуб; 4—известняки с линзами глины; 5—противофильтрационная завеса; 6—укрепительная цементация; 7—дренажные галереи

1. Металлический экран толщиной 6 мм, сварной, уложен по бетонным блокам. Экран разделен специальными швами на квадратные панели со стороной 4 м. Швы состоят из гофрированных полос и приварены встык к краям гладких стальных пане-

лей. Экран закреплен в бетонных блоках так, чтобы дать некоторую свободу перемещения и избежать какого-либо искривления экрана.

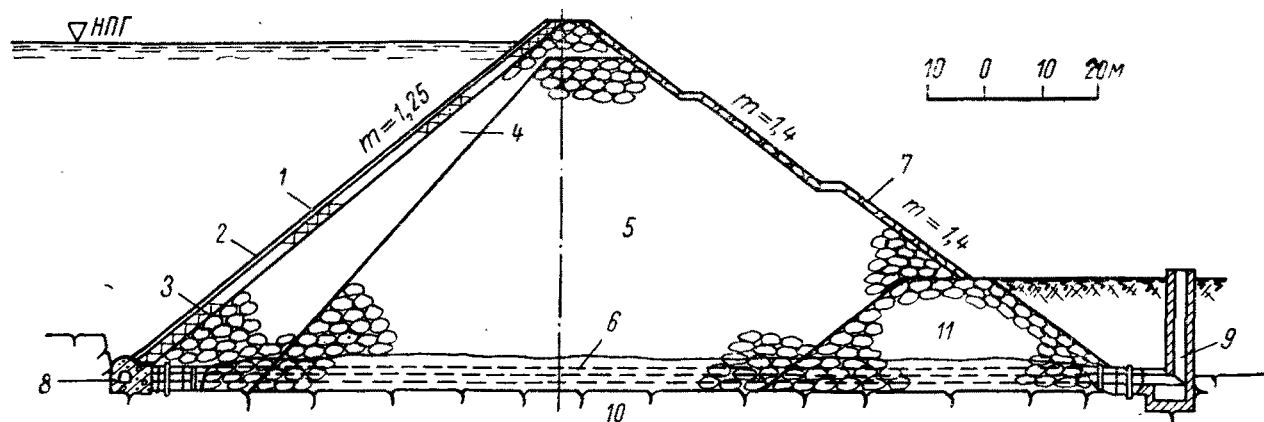
3. Упорная призма состоит из бетонных блоков (размером $4,0 \times 4,0 \times 4,0$ м), уложенных друг на друга так, что они образуют плоские элементы (контрфорсы) шириной в один блок (4,0 м). Между элементами оставлены вертикальные швы шириной 12—

15 см, заполненные гравием для облегчения взаимной осадки элементов.

5. Расход цемента для производства бетонных блоков составлял от 115 до 155 кг/м³. Общий объем бетона 0,19 млн. м³.

136. ПЛОТИНА САЛАЗАР

Португалия, р. Санта Каролина, 1948 г. $H=63$ м; $b=5$ м; $L=192$ м; $V=176$ м



1—стальной экран; 2—бетонная подготовка; 3—кладка на растворе; 4—верховая зона каменной наброски ($n=30,5\%$); 5—каменная наброска ($n=35,5\%$); 6—дренажная галерея; 7—крепление крупным камнем; 8—бетонный зуб; 9—насосная установка; 10—скала; 11—упорный банкет

1. Металлический экран толщиной 8 мм уложен по бетонной подготовке толщиной 0,2 м. Размеры металлических листов $7,5 \times 2,5$ м. Гибкость экрана обеспечивается компенсаторами, устроенными вдоль вертикальных швов и у основания. Листы экрана заанкеривались в бетонную подготовку.

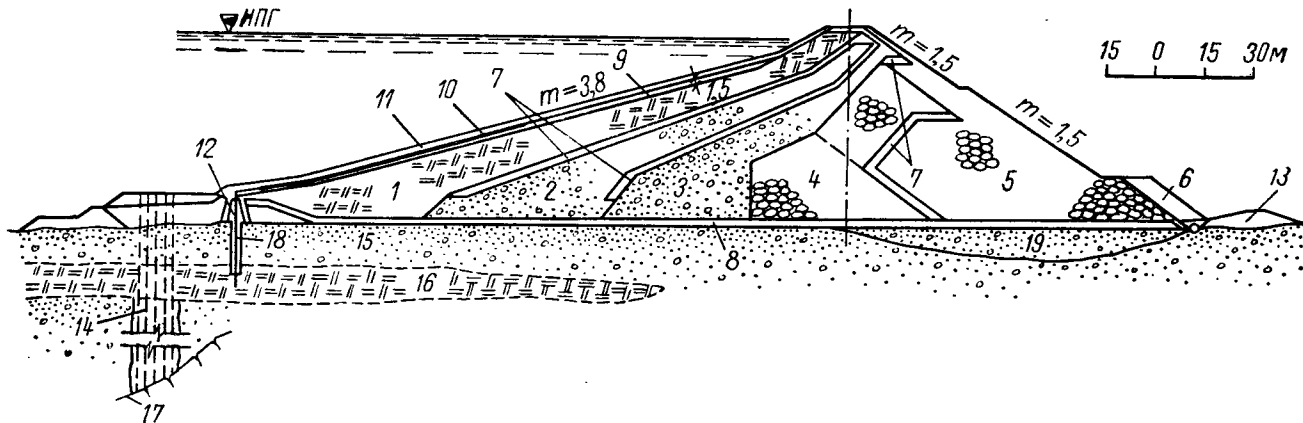
2. Подэкрановая кладка на растворе имеет толщину 2 м у основания и 0,8 м у гребня.

3. Упорная призма из каменной наброски, где отдельные камни достигают по весу 8—9 т. Пористость наброски составляла около 35%.

5. Гребень с учетом последующей осадки, был возведен выше проектной отметки на 0,6 м. Ось плотины изогнута в сторону ВВ; стрела прогиба 0,5 м.

137. ПЛОТИНА ТЕРЦАГИ

Канада, р. Бридж, 1955—1959 гг. $H=61$ м



1—валунная глина с включением камня ($k_{\Phi}=5 \cdot 10^{-5}$ см/сек); 2—крупнообломочный материал с большим количеством пылеватых частиц ($k_{\Phi}=5 \cdot 10^{-4}$ см/сек); 3—крупнообломочный материал с большим количеством песка ($k_{\Phi}=5 \cdot 10^{-3}$ см/сек); 4—крупнообломочный материал ($k_{\Phi}=5 \cdot 10^{-2}$ см/сек); 5—каменная наброска; 6—материал отвала; 7—переходные зоны; 8—фильтр; 9—слой глины; 10—пленка из поливинилхлорида толщиной 0,76 мм; 11—защитный слой из глины, песка и камня; 12—старая плотина; 13—низовая перемычка; 14—противофильтрационная завеса; 15—песчано-гравийные отложения; 16—слой глины; 17—скала; 18—шпунт; 19—выравнивающая отсыпка

1. Экран из глины (зона 9) укладывался тонкими слоями и уплотнялся гусеничным трактором. После того, как возведение экрана было закончено, он был покрыт пленкой из поливинилхлорида из опасения, что при деформации плотины в экране могут появиться трещины. Пленка была уложена в нижней трети экрана, занимая по фронту только его центральную часть.

2. Фильтры из сортированного песчано-гравийного материала укладывались слоями 0,25 м со смачиванием водой и механическим уплотнением; $k_{\Phi}=0,1$ см/сек.

3. Материал зоны 2 и 3 проходил сортировку на гризлы, камни более 30 см убирались. Из-за расслоения, происходящего при

отсыпке слоев, материал расстился толщиной, равной половине слоя, причем направления движения бульдозера при разравнивании на этих половинах были перпендикулярны друг другу. Каменный материал зон 2, 3, 4 уплотнялся 50-тонным пневмокатком. Каменная наброска, полученная из полезных выемок (зона 5), отсыпалась слоями 15 м с уплотнением струей воды из гидромонитора.

4. В плотине была установлена контрольно-измерительная аппаратура для замеров пьезометрических напоров, осадок основания и тела плотины. По данным наблюдений за период 1957—

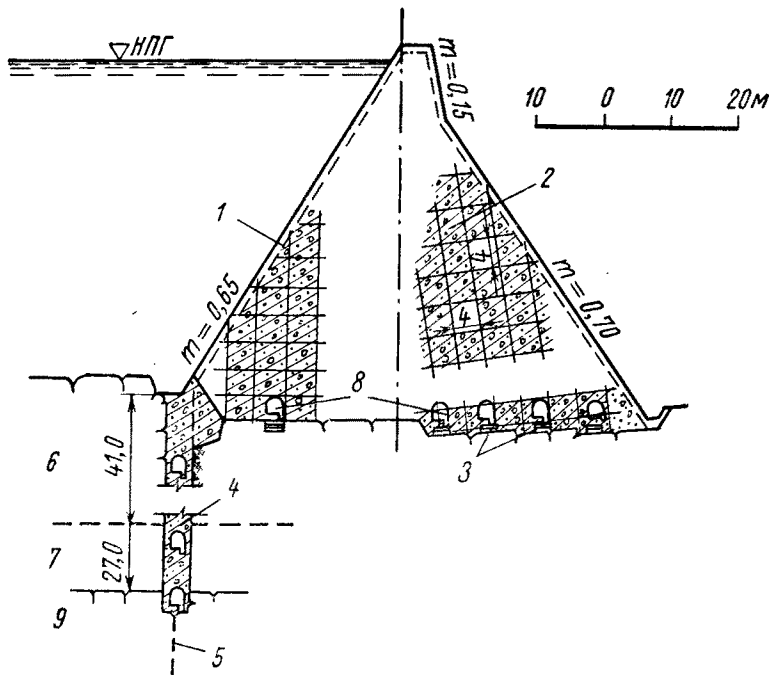
1963 г. имелись значительные осадки основания (до 3 м) в максимальном сечении.

5. Плотина построена на сильно сжимаемом основании. При

строительстве была использована существовавшая небольшая плотина с диафрагмой из шпунта. Цементационная завеса под плотинной имеет глубину 100 м и сопрягается со скалой.

138. ПЛОТИНА ПИАН ПАЛУ

Италия, р. Ноз, 1955—1959 г. $H=52,5$ м; $b=3,8$ м; $L=182$ м



1—металлический экран; 2—бетонные блоки; 3—дренаж; 4—бетонная стенка; 5—противофильтрационная завеса; 6—мелонитизированные сланцы; 7—иловатые пески; 8—инспекционные галереи; 9—скала

1. Металлический экран толщиной 6 мм, сварной, уложен по бетонным блокам. Экран разделен специальными швами на квадратные панели со стороной 4,0 м. Швы состоят из гофрированных полос и приварены встык к краям гладких стальных панелей. Экран закреплен в бетонных блоках так, чтобы дать некоторую свободу перемещения и избежать какого-либо искривления экрана.

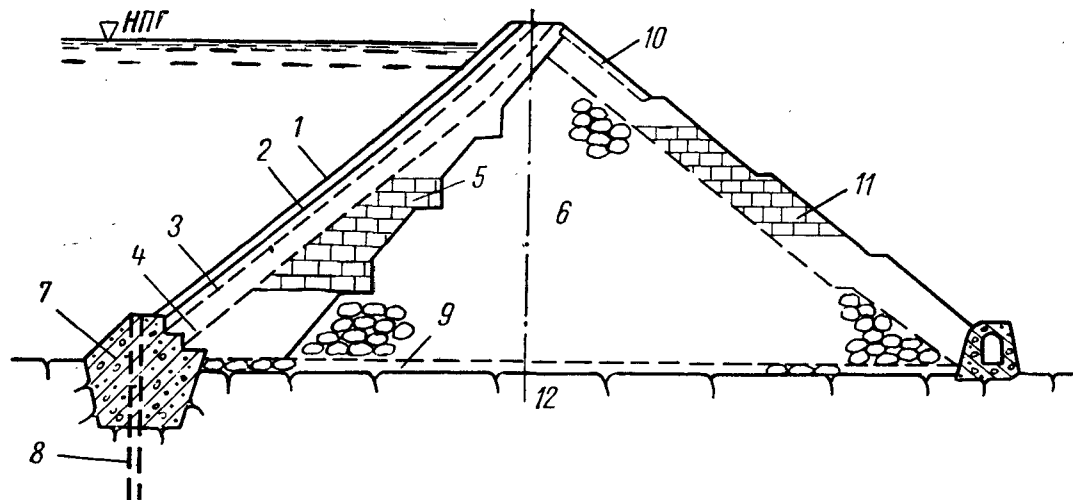
3. Упорная призма состоит из бетонных блоков (размером 4,0×4,0×4,0 м), уложенных друг на друга так, чтобы они обра-

зуют плоские элементы (коитрфорсы) шириной в один блок (4 м). Между элементами оставлены вертикальные швы шириной 12—15 см, заполненные гравием для облегчения взаимной осадки элементов.

5. Экран сопрягается с водонепроницаемым скальным основанием с помощью бетонной стенки, глубиной около 70 м, и противодиффузионной завесы. Расход цемента для производства бетонных блоков составлял от 115 до 155 кг/м³. Пористость кладки из бетонных блоков 1%. Общий объем бетона 0,1 млн. м³.

139. ПЛОТИНА ГОЗНА

Румыния, 1952 г. $H=40$ м; $m=230$ м



1—металлический экран толщиной 8—10 мм; 2—битумный изолирующий слой 2 см; 3—бетонная подготовка толщиной 0,3—0,5 м; 4—каменная кладка на растворе; 5—сухая кладка толщиной 2—10 м; 6—упорная призма из тщательно уложенного камня; 7—бетонный зуб; 8—противодиффузионная завеса; 9—дренаж; 10—гранитная кладка на растворе; 11—сухая кладка толщиной 1,5—2,0 м; 12—прочная скала (гнейсы и ортогнейсы)

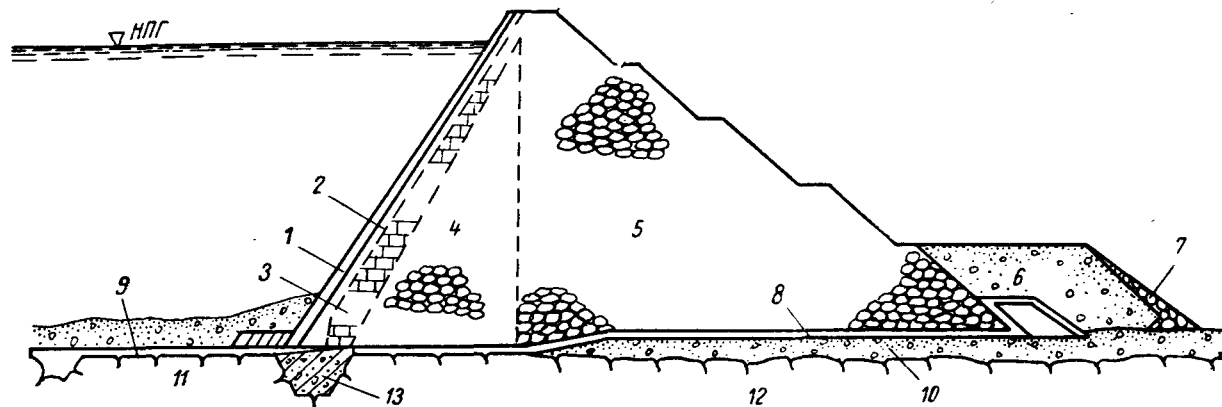
1. Металлический экран уложен на изолирующем эластичном битумном слое. Вес металла 500 т. Экран сопрягается со скальным основанием с помощью бетонного зуба и противодиффура-

ционной завесы.

5. В течение пятнадцати лет эксплуатации плотина была совершенно водонепроницаема.

140. ШИРОКОВСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. КОСЬВА, 1944 г. $H=40$ м



1—деревобитумный экран; 2—бутобетонные блоки и кладка на растворе; 3—сухая кладка; 4—укладка камня с подбором; 5—каменная наброска; 6—песчано-гравелистый грунт; 7—крепление камнем; 8—фильтр; 9—железобетонный понур; 10—аллювий; 11—аргиллиты; 12—песчаники; 13—бетонный зуб

1. Деревянный экран из двух рядов досок толщиной по 6 см и двух слоев битумных матов.

2. Подэкранный слой из бутобетонных блоков и кладки на растворе. Глубже расположен слой сухой кладки.

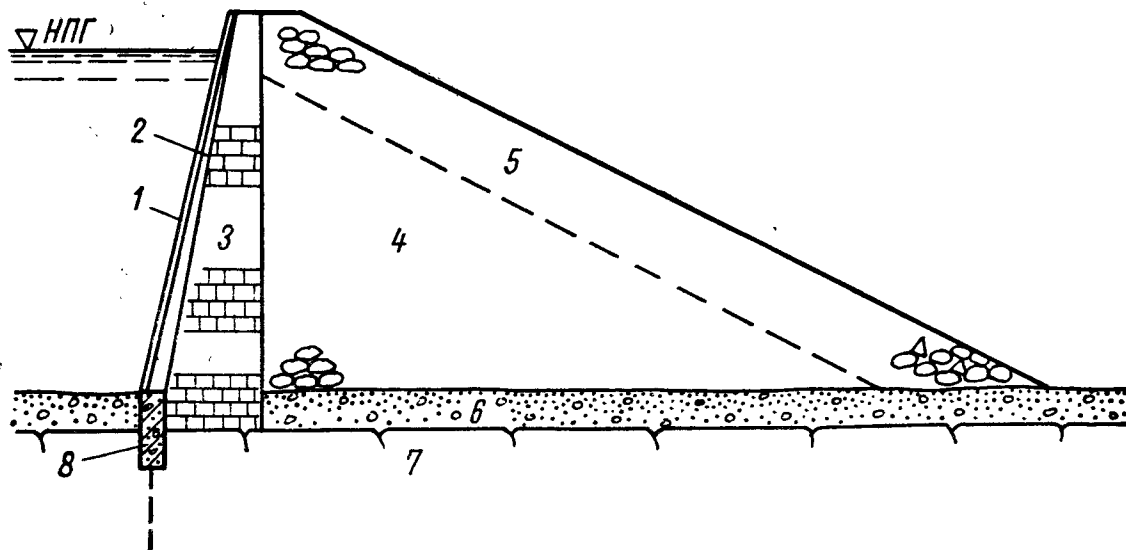
3. Верховая часть упорной призмы состоит из камня, уложенного с подбором. Низовая часть из каменной наброски.

4. Натурные наблюдения за осадками и горизонтальными смещениями плотины проводились по поверхностным реперам,

а также с помощью смотрового колодца. К 1960 г. осадка гребня составила 51 см (1,3% от высоты плотины), горизонтальное смещение 64,5 см. Максимальная вертикальная осадка наброски по данным натурных наблюдений за марками на железобетонных кольцах в колодце составила 128 см (у кольца № 11); максимальное горизонтальное смещение в сторону НБ составило 90 см (у кольца № 26).

141. МАЛОУЛЬБИНСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Малая Ульба, 1934—1943 гг. $H=39$ м



1—деревянный экран; 2—слой пористого бетона; 3—сухая кладка; 4—каменная наброска; 5—крупный камень весом 1—2 т; 6—алювий; 7—граниты и метаморфические сланцы; 8—бетонный зуб и цементация на глубину 10 м

1. Деревянный экран толщиной 50—70 мм из трех взаимно перпендикулярных слоев досок с прослойкой из битумных матов. Доски через 1,5 м с обеих сторон схвачены брусками и стянуты болтами. Нижние брусья экрана прикреплены к кладке анкерными болтами. Во избежание общей деформации экрана при разбухании дерева доскам первого слоя придан соответствующий профиль, а у досок второго и третьего слоев, взаимно связанных нагелями, сняты углы для уменьшения площади смятия их ребер.

2. Подэкрановая кладка выполнена вручную из тщательно

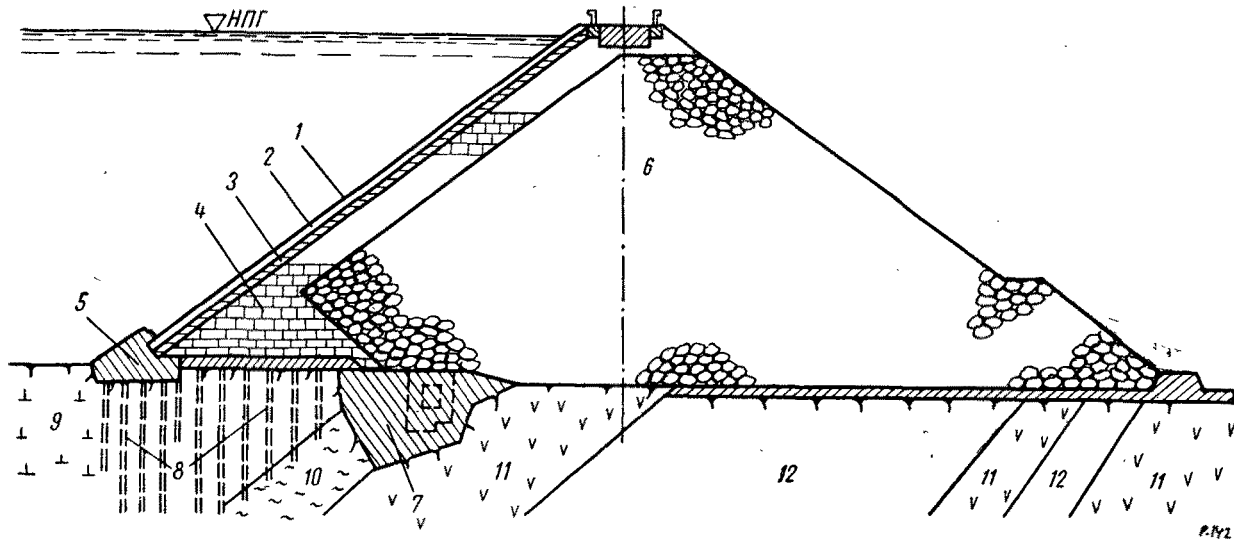
подобранного камня. Верховой откос кладки выравнен слоем бетона. Объем кладки 0,028 млн. м³.

3. Упорная призма отсыпалась пионерно с уплотнением струей воды из гидромонитора.

5. Фильтрация через экран составляла 10—30 л/сек. Экран, в силу своей жесткости, благодаря скреплению нагелями отдельных рядов досок, уложенных вплотную без зазоров, претерпел деформацию от набухания древесины, что привело к его вспучиванию.

142. ХРАМСКАЯ ПЛОТИНА

СССР, р. Храм, 1947 г. $H=30$ м



1—стальной экран; 2—бетонная подготовка; 3—кладка на растворе; 4—подэкрановая сухая кладка; 5—бетонный зуб; 6—каменная наброска; 7—бетонная пробка-стенка; 8—цементация; 9—сильно трещиноватые долериты (базальты); 10—глины; 11—трещиноватые андезиты-базальты; 12—вулканические выбросы

1. Металлический экран из листов нержавеющей стали толщиной 8 мм, уложенных внахлестку на подэкрановую бетонную подготовку (толщина 0,4 м) и соединенных между собой электросваркой. Прикрепление экрана к подготовке обеспечивается ребрами жесткости из швеллеров № 30, уложенных по откосу через 10,3 м. Подготовка под ребрами жесткости и в месте примыкания к зубу армирована на ширину 2 м. Для обеспечения деформаций экран имеет компенсаторы вдоль зуба и между ребрами жесткости по откосу. Вес экрана 286 т.

2. Подэкрановая сухая кладка из постелистых камней весом не менее 300 кг, с грубой околкой. Объем сухой кладки 12,6 тыс. м³.

3. Наброска из камней весом от 30 до 3000 кг. Камень получен, в основном, из полезной выемки. Для отбора камня применялся метод сегрегации при сбрасывании горной массы под откос. Упорная призма возводилась в четыре яруса высотой от 5 до 10 м. Объем наброски 86 тыс. м³.

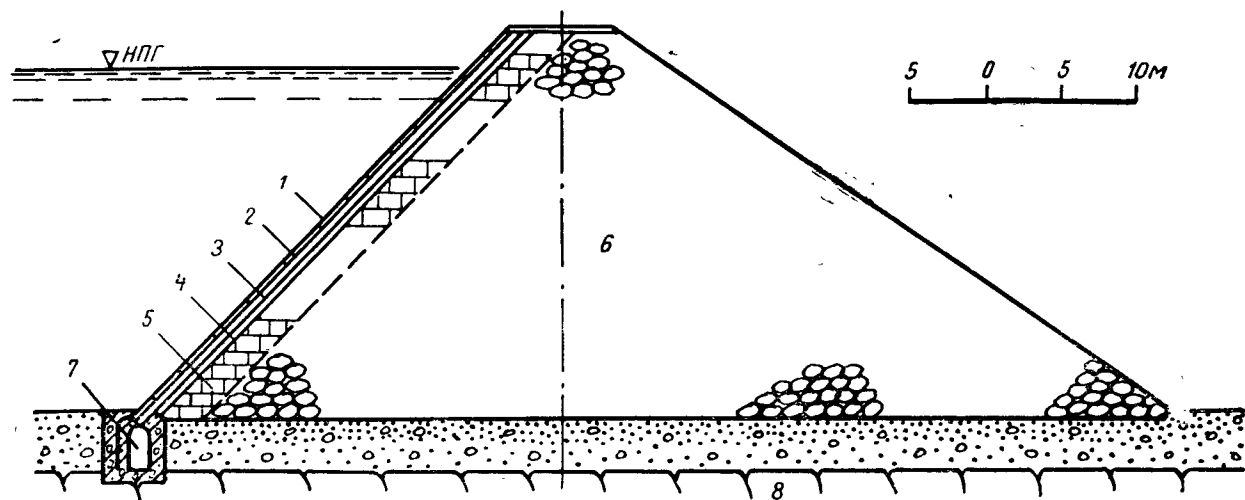
4. После 3,5 лет эксплуатации максимальная осадка составила 15 см (0,5% от высоты плотины).

5. Из-за неблагоприятной геологии под плотиной, в основании и бортах каньона проводились укрепительные работы. Чтобы устранить опасность выдавливания глинистого пласта, в нем были пройдены вглубь склона на 20 м и забетоинированы штреки, прорезавшие толщу глинистого пласта от верхнего слоя базальтов до нижнего. Для прикрытия глинистого пласта на бортах

между штреками и в русле были сооружены «пробки-стенки» толщиной до 6 м. Под зубом осуществлена глубинная трехрядная цементационная завеса. По всей площади между зубом и «пробкой-стенкой» выполнена площадная цементация. Суммарная длина скважин— 12 800 п. м.

143. ПЛОТИНА КОНТРАДА САБЕТТА

Италия, р. Буссенто, $H=25$ м; $L=155$ м



1—бетонные плиты; 2—листы оппанола; 3—водопроницаемый-бетон; 4—армобетонные плиты; 5—сухая кладка; 6—каменная наброска; 7—потерна; 8—скала

1. Экран из склеенных между собой листов оппанола (полиизобутилена) толщиной 2 мм. Оппаноловый настил защищен плитами неармированного бетона размером 2,0×2,0 м толщиной 20 см.

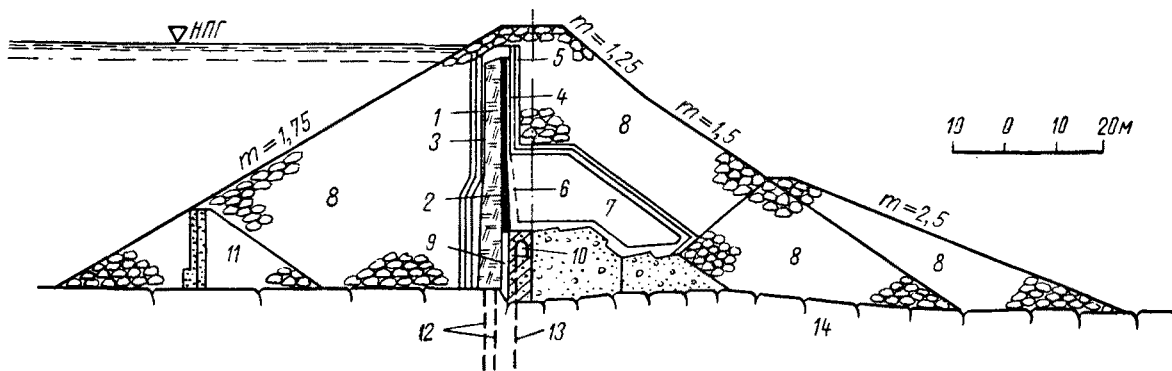
2. Верховой откос упорной призмы выравнен каменной клад-

кой, поверх которой уложены армобетонные плиты размером 7,0×7,0 м и толщиной 0,25 м. Плиты отделены друг от друга периметральными швами, уплотненными полихлорвиниловыми лентами. Поверх армобетонных плит уложен 10-сантиметровый слой пористого бетона.

ПЛОТИНЫ С ДИАФРАГМАМИ

144. ПЛОТИНА ХАРСПРАНГЕТ

Швеция, р. Луле Эльв, 1946—1951 гг. $H=51$ м



1—ядро из глины; 2—железобетонная диафрагма; 3—песок; 4—гравий; 5—щебень; 6—мелкий песок; 7—моренный гравий; 8—каменная наброска; 9—бетонная плита; 10—смотровая галерея; 11—перемычка; 12—противофильтрационная завеса; 13—дренажные скважины; 14—скала

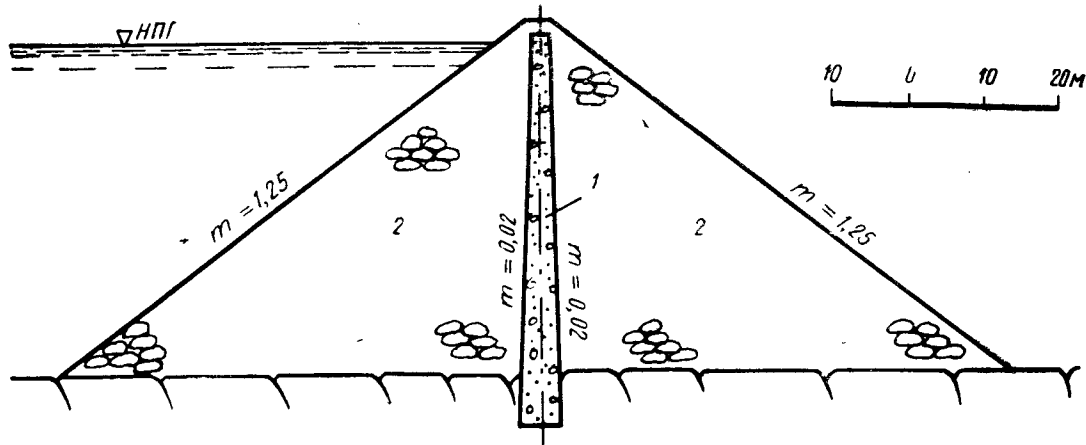
1. Диафрагма из тонкой 40-сантиметровой железобетонной плиты. С напорной стороны диафрагмы уложен водонепроницаемый слой из смеси песка и глины.

2. Морея укладывалась слоями 0,20—0,25 м с уплотнением кулачковым катком.

3. Упорные призмы укладывались из горной массы слоями 0,4—0,5 м с механическим уплотнением. В летнее время проводилась поливка водой (расход воды 2 м^3 на 1 м^3 каменной наброски).

145. ПЛОТИНА КРЭНВЭЛЕЙ

США, р. Нортс Форк, 1914—1915 гг. $H=45,7$ м; $b=4,6$ м; $L=165$ м; $B=124$ м



1—бетонная диафрагма; 2—каменная наброска; 3—граниты

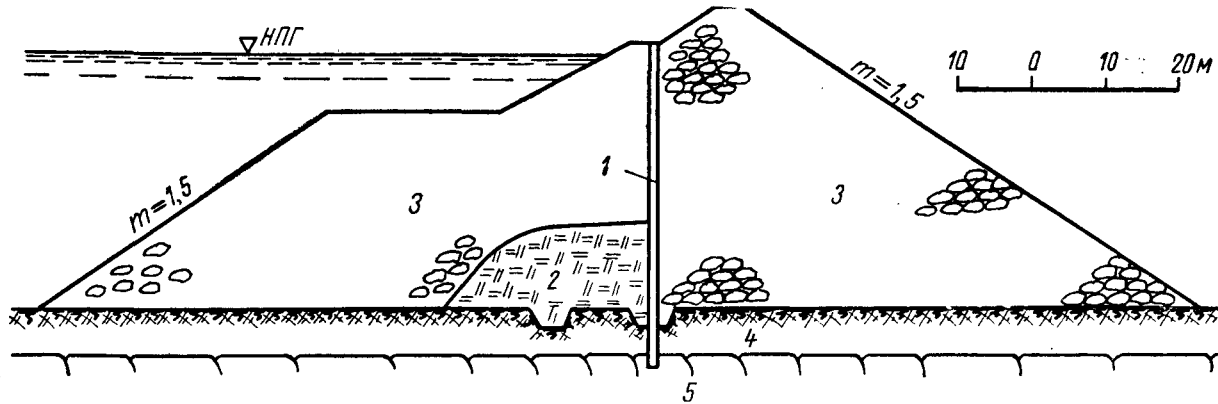
1. Диафрагма из бетона. Высота диафрагмы 45 м, ширина по верху изменяется от 0,61 м в пределах наброски до 0,30 м — в сопрягающих насыпях. Диафрагма заделана в скалу основания.

3. Упорные призмы отсыпались с трех эстакад, расположен-

ных друг над другом через 15 м. Материал был получен из карьеров гранита, расположенных на расстоянии 150 м ниже плотины. Камень перевозился на место отсыпки в вагонетках емкостью 3 м³. Загрязнение наброски не допускалось. Объем каменной наброски 0,2 млн. м³.

146. ПЛОТИНА ЭЙЛДОН

Австралия, р. Гальбурн, 1925—1927 гг. $H=42,9$ м; $b=18,3$ м; $L=690$ м; $B=172$ м



1—железобетонная диафрагма; 2—глина; 3—каменная наброска; 4—глинистый грунт; 5—скала

1. Диафрагма из железобетона толщиной 0,6 м у гребня и 1,5 м у основания имеет двойное армирование из стержней диаметром 12 мм, уложенных через 30 см. Диафрагма сопрягается со скальным основанием, прорезая глинистые отложения, достигающие в отдельных местах 25 м. При возведении плотины перед диафрагмой было уложено глинистое ядро, которое в 1929 г. явилось причиной аварии плотины.

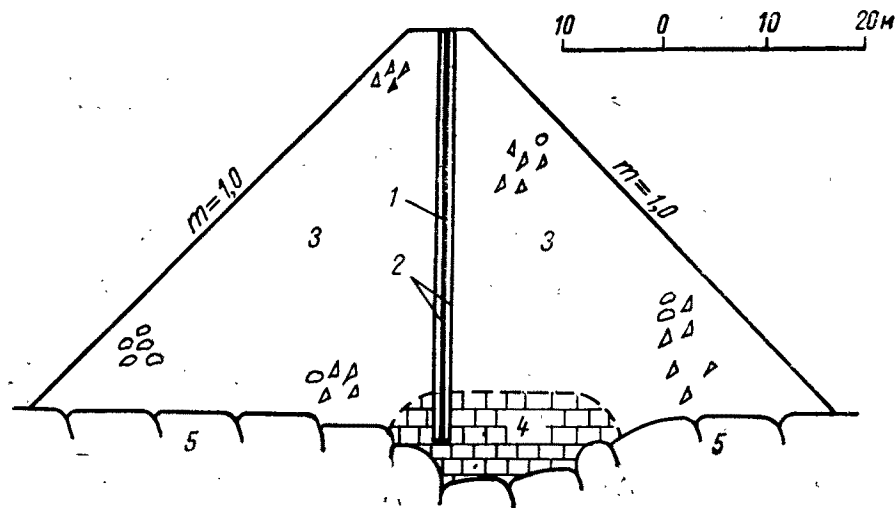
4. В 1929 г. во время оползня верховая часть наброски

осела на 8 м, а горизонтальное перемещение материала достигло 16,8 м.

5. В результате оползня верхового откоса плотины железобетонная диафрагма прогнулась на 1,42 м и разрушилась. Восстановление плотины продолжалось в течение 7 лет. На рисунке представлен профиль уже восстановленной после аварии плотины. Общая стоимость плотины (с ремонтом) составила 10 млн. долларов.

147. ПЛОТИНА ЛОУЭР ОТЕЙ

США, р. Отэй Крик, 1897 г. $H=39,6$ м; $b=6,1$ м; $L=172$ м



1—металлическая диафрагма; 2—слой бетона; 3—каменная наброска; 4—кладка на растворе; 5—порфиры

1. Диафрагма из листов железа, толщиной от 6,5 мм у гребня до 8,5 мм у основания, склепанных между собой однорядным швом заклепок на расстоянии 7,6 см друг от друга. По основанию диафрагма заделана в кладку на растворе, в берегах — в прочную скалу.

2. С верхней стороны диафрагма покрыта асфальтом и слоем брезента, поверх которого уложен еще слой более жесткого асфальта. Диафрагма с обеих сторон дополнительно покрыта слоем бетона.

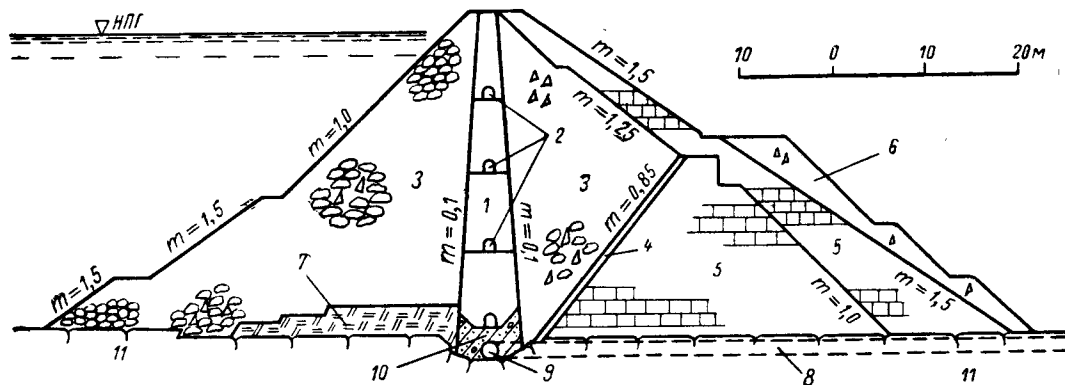
3. При возведении упорных призм плотны наряду с порфи-

рам в наброску было уложено много мелочи, карьерных отходов и земляных примесей, наличие которых в последующем оценивалось как одна из причин аварии. Упорные призмы уложены с помощью кабельного крана и дерриков. Объем каменной кладки наброски 0,127 млн. м³.

5. Вследствие недостаточной пропускной способности водослива в 1916 г. произошел перелив воды через гребень плотны. В результате перелива возникла значительная осадка низового откоса плотны, затем разрыв диафрагмы по заклепочным швам. Плотна полностью разрушилась.

148. ПЛОТИНА УЭД КЕБИР

Тунис, р. Уэд Кебир, 1924—1925 гг. $H=35$ м; $L=350$ м; $B=96$ м



1—полая железобетонная диафрагма; 2—инспекционные галереи; 3—каменная наброска из известняка; 4—тощий бетон; 5—сухая кладка; 6—пригрузка из карьерной мелочи; 7—глина; 8—дренажный коллектор; 9—дрена; 10—железобетонное основание диафрагмы; 11—известняк

1. Диафрагма из железобетона, полая. Верховая стенка диафрагмы состоит из полуциркульных сводов пролетом 2,2 м, низовая образуется рядом плоских сводов. Обе стенки диафрагмы связаны между собой поперечными стенками, отстоящими друг от друга на 2,2 м. Ширина диафрагмы 2 м поверху и 9 м понизу. Кроме неглубокой заделки в скалу основания стенки диафрагмы дополнительно закреплялись анкерами на глубину до 4 м.

3. Зона 3 укладывалась слоями 1,0 м с тщательным разравниванием и уплотнением. Крепление откосов осуществлялось крупным камнем с помощью деррика. Зона 5 укладывалась насухо вручную. В наброску был уложен известняк, имеющий временное сопротивление на раздавливание от 270 до 1100 кг/см². Карьерная мелочь весом меньше 5 кг примешивалась к основ-

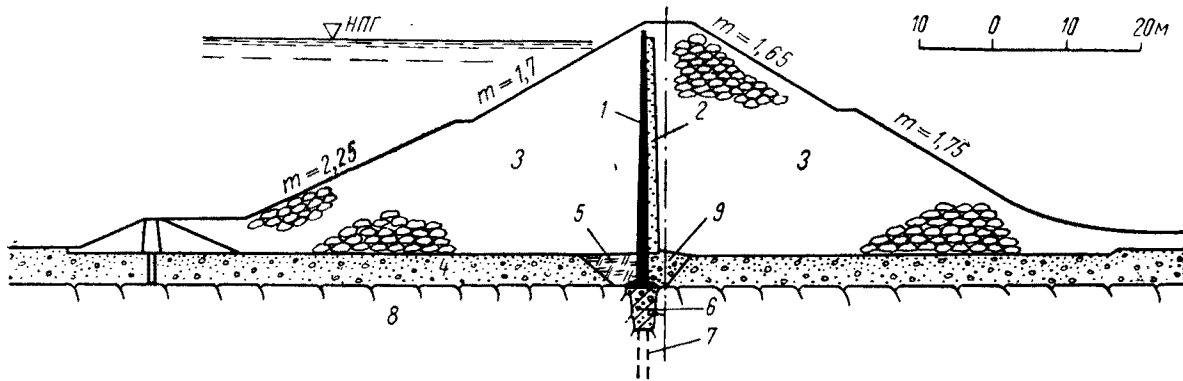
ному материалу наброски в количестве около 10% для верховой призмы и 20% — для низовой.

4. Уже при частичном наполнении водохранилища осадка наброски в максимальном сечении плотины составила 0,6 м (1,72% от высоты плотины). Через четыре года, когда водохранилище было полностью наполнено, горизонтальное перемещение верха диафрагмы в сторону НБ составило 0,8 м. После опорожнения водохранилища обнаружили горизонтальный срез диафрагмы поверх зуба в сторону НБ на 0,13 м. В 1931 г. диафрагма была исправлена, основание укреплено бетоном, заделаны трещины и усилен профиль плотины.

5. Для перевозок камня из карьера к плотине использовалась железная дорога узкой колес.

149. ПЛОТИНА ДЮНТАЛЬ

ФРГ. $H=35$ м; $b=9$ м



—асфальтобетонная диафрагма; 2—фильтр; 3—каменная наброска; 4—аллювий; 5—пластичная глина; 6—бетонный зуб; 7—противофильтрационная завеса; 8—скала; 9—гравийная призма

1. Диафрагма из асфальтобетона толщиной от 0,5 м у гребня до 0,7 м у основания. Со скальным основанием диафрагма сопрягается с помощью бетонного зуба. Для дренирования просочившейся воды за диафрагмой уложен слой щебня из базальта крупностью 25—90 мм.

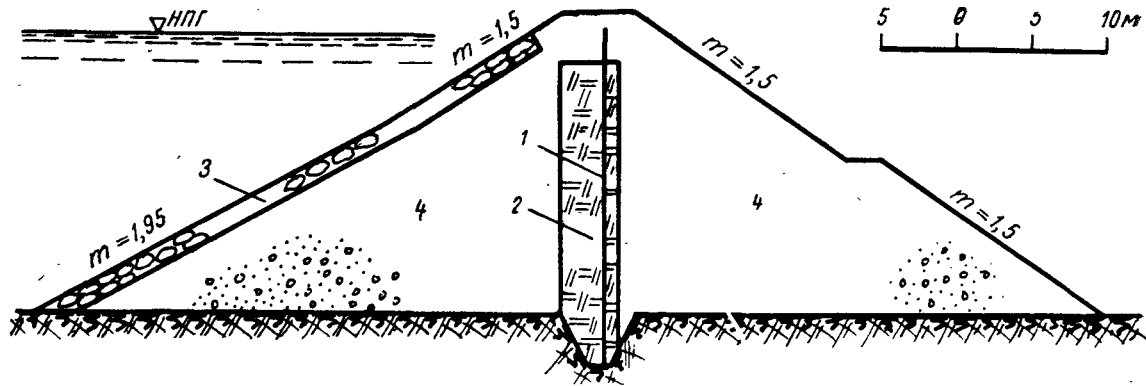
3. Упорные призмы из сланцев укладывались слоями 0,6 м с уплотнением 7-тонным вибркатком.

4. Для измерения деформаций диафрагмы, а также осадок и горизонтальных смещений упорной призмы в плотине был устроен

колодец из бетонных колец диаметром 1,5 м, расположенный на расстоянии 5 м от диафрагмы с низовой стороны плотины. Максимальные осадки наброски в процессе строительства плотины произошли на высоте около 20 м от основания и составили 20 см. При наполнении водохранилища гребень диафрагмы сместился в сторону ВБ на 18 см. Максимальное смещение в сторону НБ равнялось 22 см и имело место на промежуточной отметке по высоте диафрагмы. При вторичном наполнении гребень оказался смещенным в сторону НБ на 1 мм.

150. ПЛОТИНА ТРАНСХАММАРЕ

Швеция, 1943 г. $H=22$ м; $L=480$ м



1—железобетонная диафрагма; 2—морена; 3—крепление камнем; 4—каменная наброска; 5—глины

1. Диафрагма железобетонная, толщиной 0,25 м без усадочных швов.

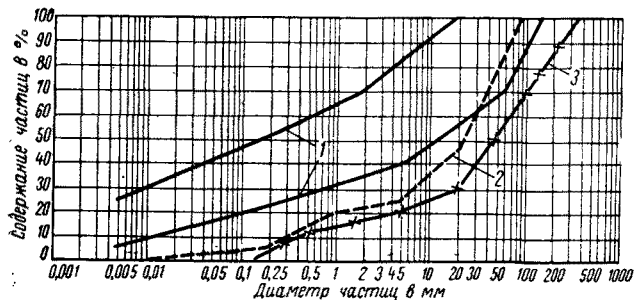
2. С верховой и низовой стороны от диафрагмы уложен слой плотного моренного суглинка шириной 4 м. Морена укладывалась слоями 0,3 м с уплотнением 17-тонным гусеничным трактором.

3. Упорные призмы из горной массы укладывались слоями 0,5—0,6 м с поливом водой и уплотнением тяжелым катком на

пневмошинах.

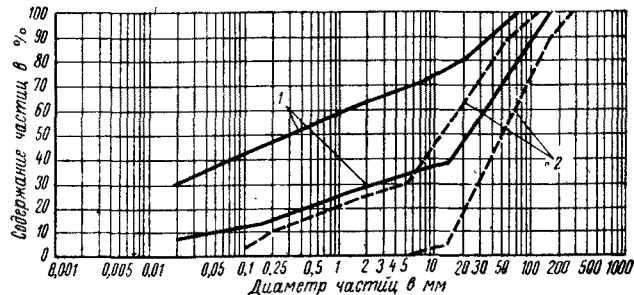
4. По данным натуральных наблюдений после наполнения водохранилища вертикальная осадка гребня плотины составила 4 см у верховой стороны плотины и 2 см — у низовой. Горизонтальное смещение диафрагмы в сторону НБ составило 3 см у правого берега, где в основании плотины залегает морена, и 1 см — у левого, где в основании — скала.

ПРИЛОЖЕНИЕ



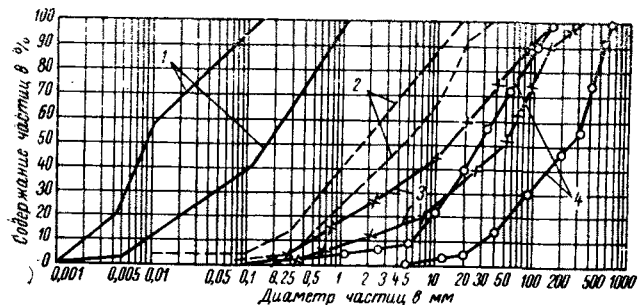
1. НУРЕКСКАЯ ПЛОТИНА

1—ядро из сафедобской супеси; 2—переходный слой; 3—гравийно-галечниковый материал упорных призм



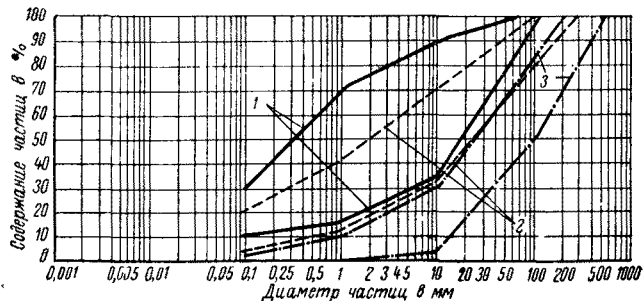
3. ПЛОТИНА ОРОВИЛЛ

1—ядро; 2—гравийно-галечниковый материал упорных призм



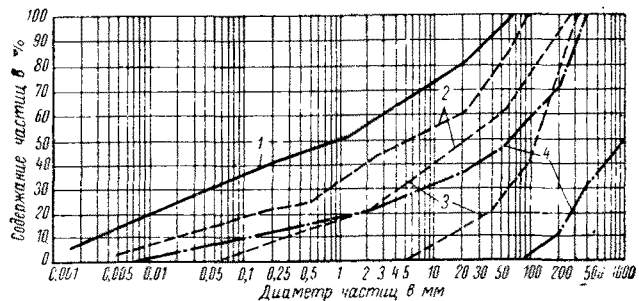
6. ЧАРВАКСКАЯ ПЛОТИНА

1—суглинок ядра; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—каменная наброска



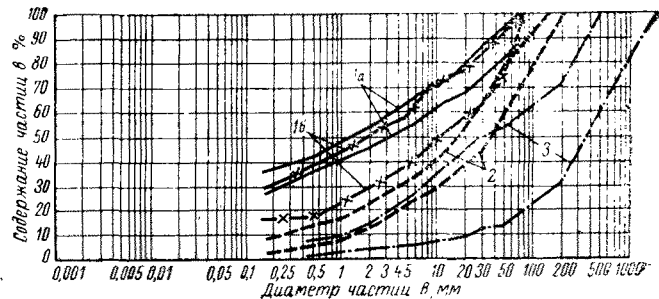
9. ПЛОТИНА КУГАР

1—ядро; 2—фильтры; 3—каменная наброска



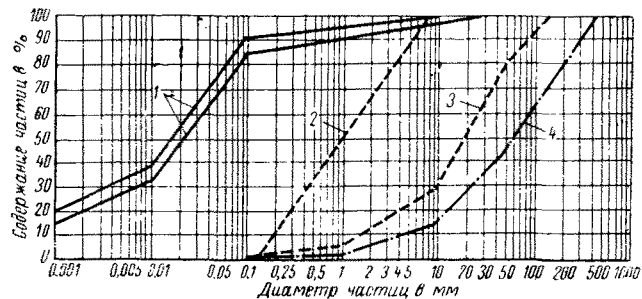
11. ПЛОТИНА ГЕШЕНЕРАЛЬП

1—ядро; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—каменная наброска



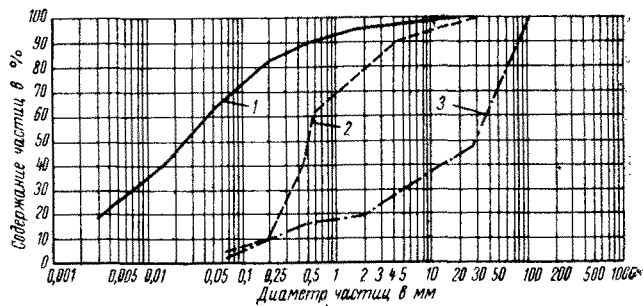
12. ПЛОТИНА ГЕПАЧ

1а—валунная глина (для ядра); 1б—делювиальные отложения (для ядра); 2—песчано-гравийная смесь переходной зоны; 3—каменная наброска



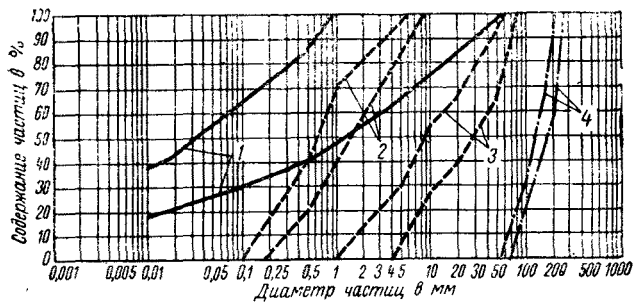
13. ПЛОТИНА ИНФЕРНЫЛЬО

1—ядро; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—каменная наброска



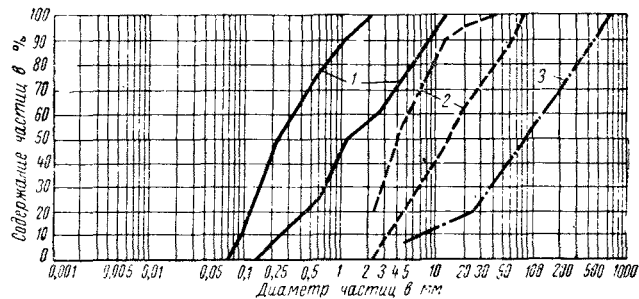
14. ПЛОТИНА НЕЦАХУАЛКОЙОТЛ

1—ядро; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра



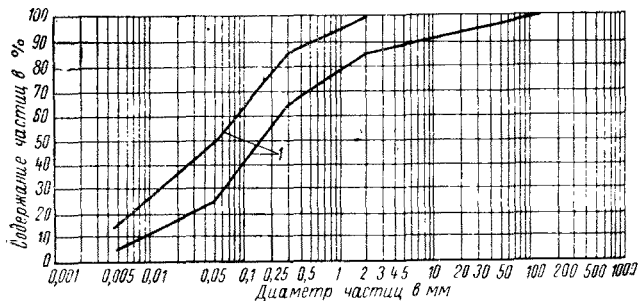
18. ПЛОТИНА АМБУКЛАО

1—ядро; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—каменная наброска



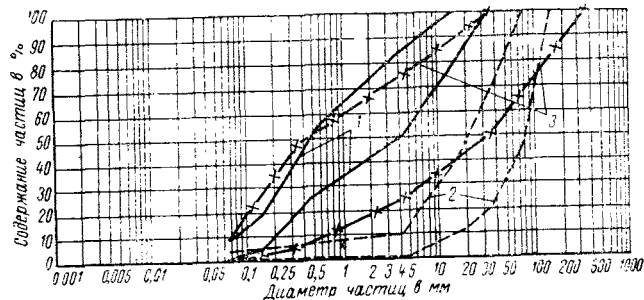
26. ПЛОТИНА АКОСОМБО

1—первый слой фильтра; 2—второй слой фильтра; 3—каменная наброска



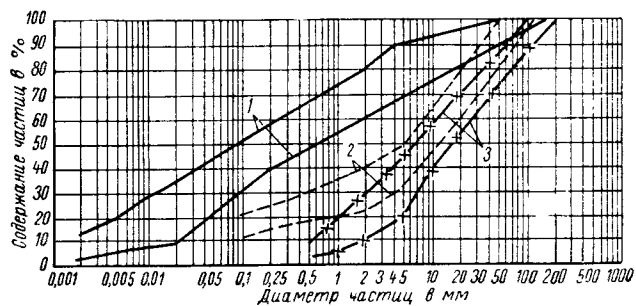
29. ПЛОТИНА МАКИО

1—ядро



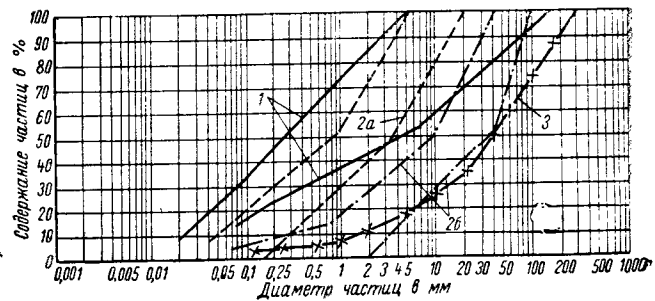
32. ПЛОТИНА КАСТЕЙК

1—фильтр (зона 3); 2—переходный слой (зона 3'); 3—песчано-гравелистый грунт верховой упорной призмы



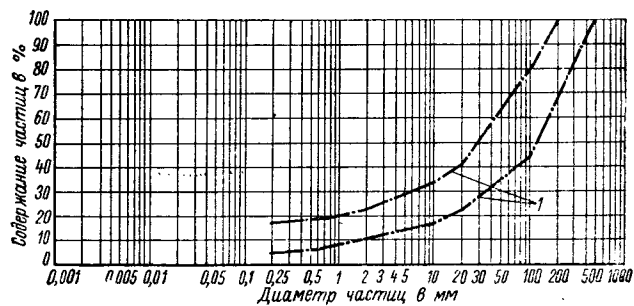
40. ПЛОТИНА МАРМОРЕРА

1—ядро; 2—фильтр; 3—каменная наброска



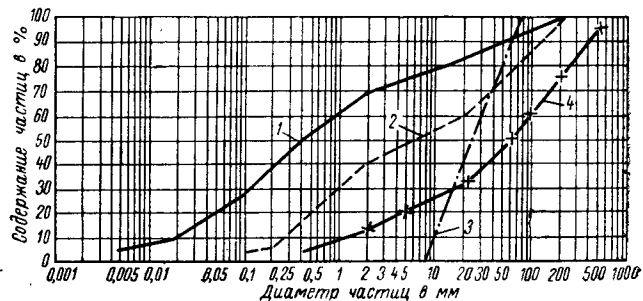
42. ПЛОТИНА ЛИН БРАЙАН

1—ядро; 2,а—первый слой фильтра; 2,б—второй слой фильтра; 3—каменная наброска



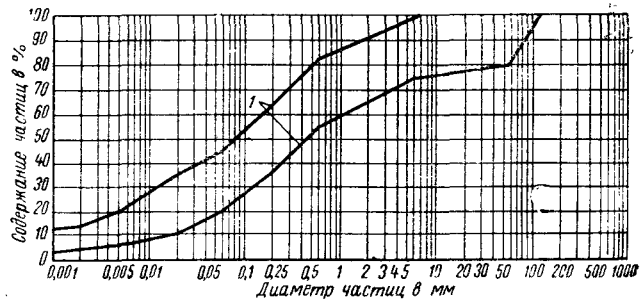
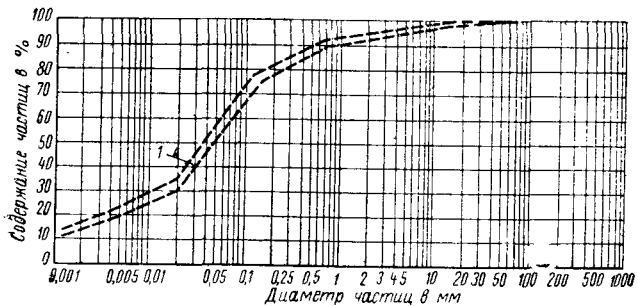
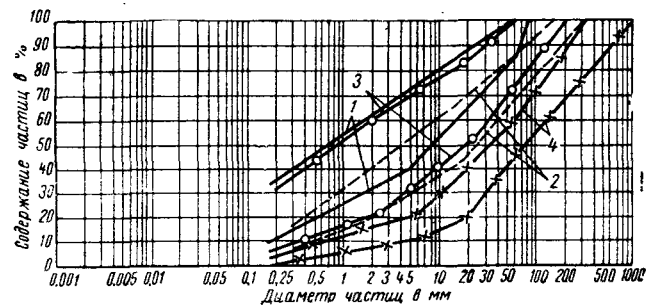
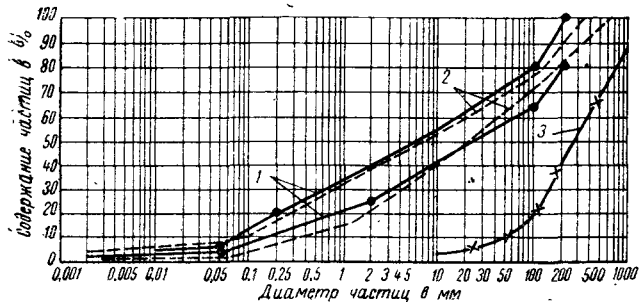
46. ПЛОТИНА КОКИН БРОД

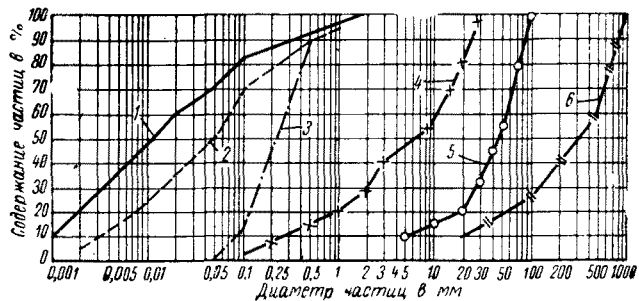
1—известняк для упорных прызм



47. ПЛОТИНА ХОЛЬЕС

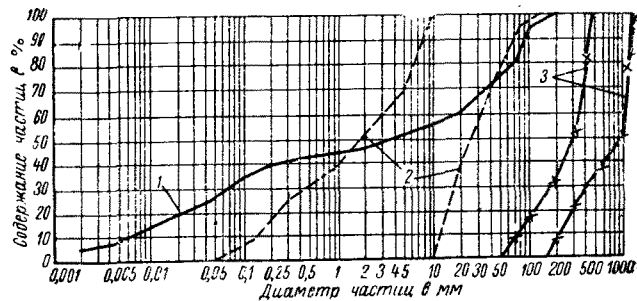
1—ядро; 2—первый слой фильтра из песчано-гравелистого грунта; 3—третий слой фильтра из щебня; 4—каменная наброска





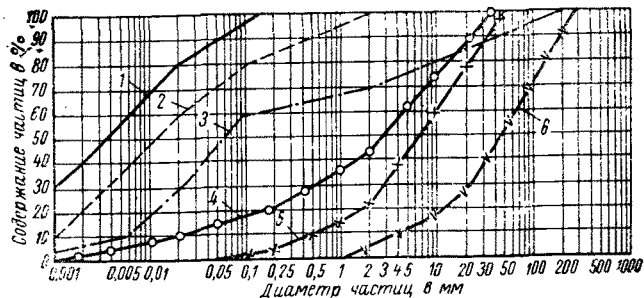
53. ПЛОТИНА РАСТАН

1—ядро; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—третий слой фильтра; 5—четвертый слой фильтра; 6—каменная наброска



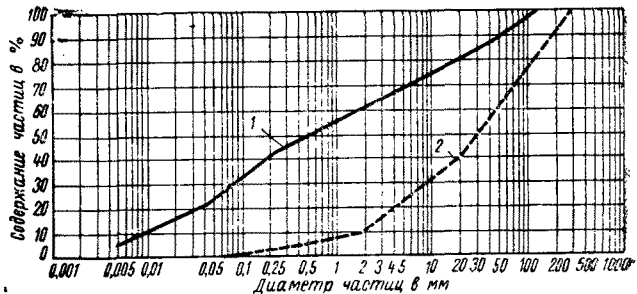
54. ХАНТАЙСКАЯ ПЛОТИНА

1—ядро; 2—фильтры; 3—каменная наброска



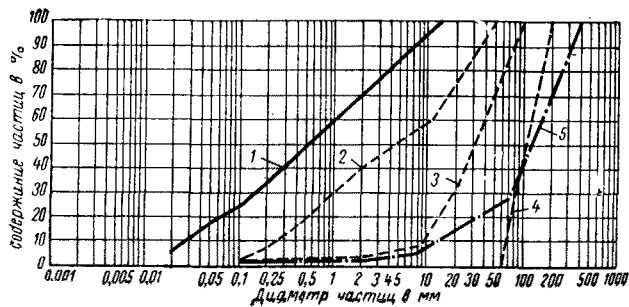
62. ПЛОТИНА ЗИЛЬВЕНШТЕЙН

1—ядро; 2—фильтр (зона 2); 3—фильтр (зона 2а); 4—фильтр (зона 2б); 5—террасный гравий; 6—каменная наброска



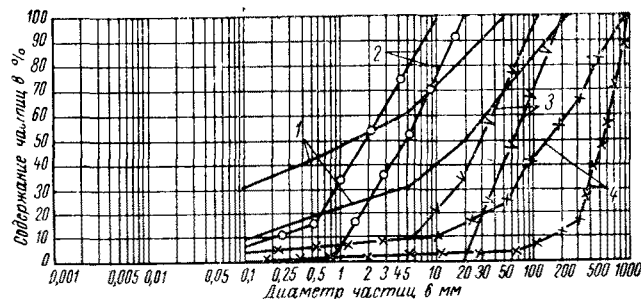
64. ПЛОТИНА МИБОРО

1—экран; 2—фильтр



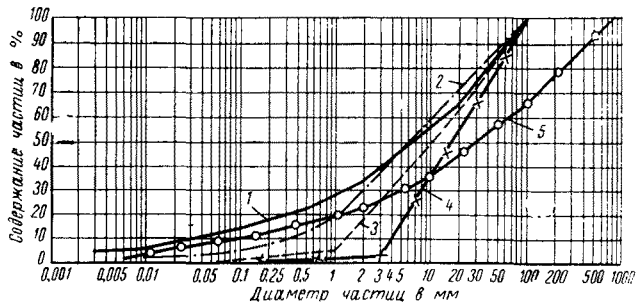
65. ПЛОТИНА ТРАНГСЛЕТ

1—экран; 2—фильтр с верхней стороны экрана и первый слой фильтра с нижней стороны экрана; 3—второй слой фильтра; 4—третий слой фильтра; 5—каменная наброска



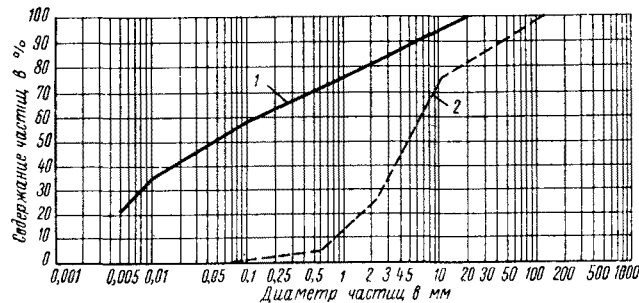
66. ПЛОТИНА МОН-СЕНИ

1—экран; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—каменная наброска



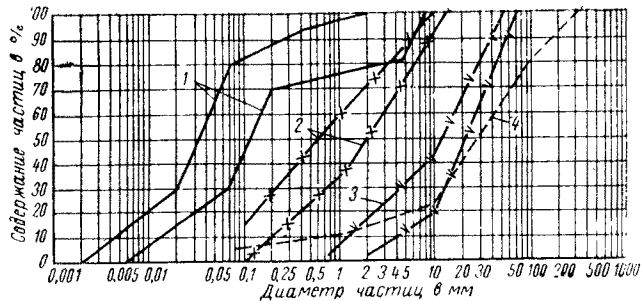
68. ПЛОТИНА МАТТМАРК

1—экран; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра со стороны ВБ; 4—второй слой фильтра со стороны НБ; 5—каменная наброска



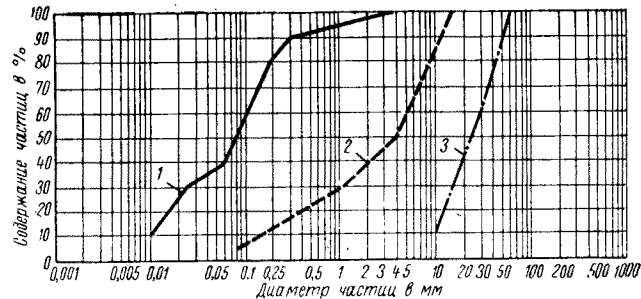
74. ПЛОТИНА БРАУНЛИ

1—экран; 2—материал фильтра



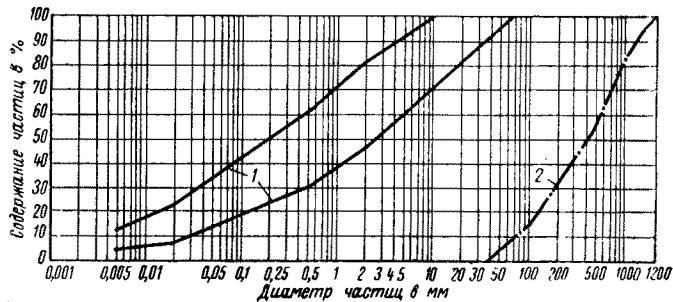
75. ПЛОТИНА ЛЮИС СМИТ

1—экран; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—каменная наброска (зона Б)



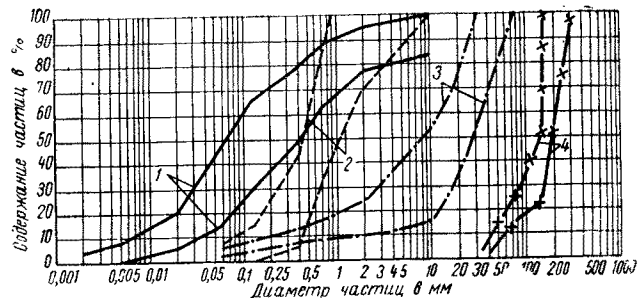
79. ПЛОТИНА НАНТАХАЛА

1—экран; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра



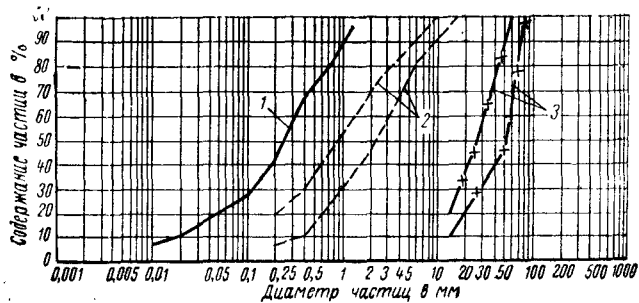
80. ВИЛЮЙСКАЯ ПЛОТИНА

1—экран; 2—каменная наброска



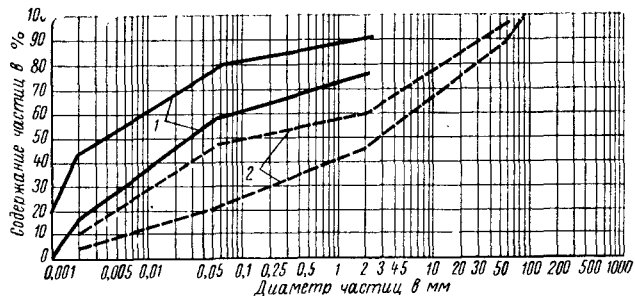
81. ПЛОТИНА БЕРСИМИС

1—экран; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра; 4—третий слой фильтра



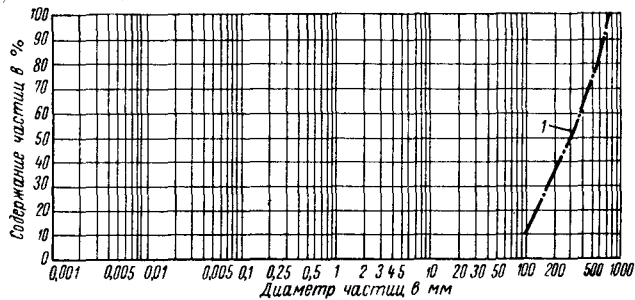
82. ПЛОТИНА БЭР КРИК

1—экран; 2—первый слой фильтра; 3—второй слой фильтра



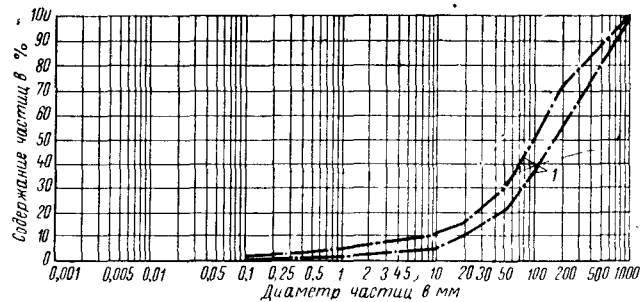
83. ПЛОТИНА ШАНЦЕ

1—экран; 2—первый слой фильтра



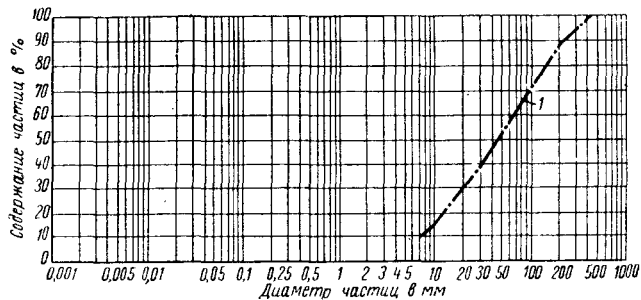
104. ПЛОТИНА КУГА

1—каменная наброска



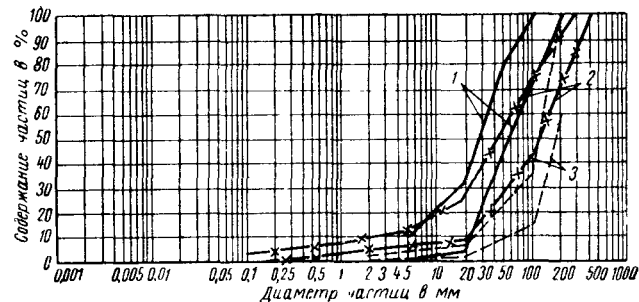
125. ПЛОТИНА АЛЕЗАНИ

1—каменная наброска



128. ПЛОТИНА ОРА

1—каменная наброска



131. ПЛОТИНА СЕНТ СЕСИЛЬ АНДОРЖ

1—подкрановый слой; 2—каменная наброска; 3—крепление камнем

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетян Р. А. Проектирование каменнонабросных и каменно-земляных плотин. «Энергия», 1968.
2. Большие плотины СССР. Госэнергоиздат, 1962.
3. Гельфер А. А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. ОНТИ, 1936.
4. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения. Госстройиздат. М., 1962.
5. Джастин Дж. Земляные плотины. ОНТИ, 1936.
6. Кричевский И. Е. Вопросы применения полиэтилена в конструкциях противотранслюционных устройств плотин из местных материалов. «Энергия», 1967.
7. Маслов Н. Н. и Пильгунова З. В. Плотины Северной Африки. Госэнергоиздат, 1960.
8. Моисеев С. Н. Плотины каменно-земляные, набросные и из сухой кладки. Госэнергоиздат, 1962.

9. Описание геологии оснований высоких отечественных и зарубежных плотин. Всесоюзный ин-т ВОДГЕО. Лаб. ниж. гидрогеологии. Гидроэнергопроект. М., 1959.
10. Проектирование и строительство больших плотин (по материалам V Международного конгресса по большим плотинам). Под редакцией А. А. Борового. Госэнергоиздат, 1958.
11. Проектирование и строительство больших плотин (по материалам VI Международного конгресса по большим плотинам). Под редакцией А. А. Борового. Госэнергоиздат, 1962.
12. Проектирование и строительство больших плотин (по материалам VII и VIII Международных конгрессов по большим плотинам). Под редакцией А. А. Борового. Госэнергоиздат, 1967.
13. Пути снижения стоимости плотин. Сборник. Госэнергоиздат, 1962.
14. Самострелов П. В. Гидротехническое строительство в Португалии. Госэнергоиздат, 1961.

15. Сафронов И. П. Набросные плотины. Главгидроэнергострой, 1936.
16. Соколов В. А. Гидроэлектростанции Югославии. Госэнергоиздат, 1959.
17. Эристов В. С. Использование водных ресурсов Юго-Восточной Азии и Австралии. Госэнергоиздат, 1961.
18. Eight International Congress on Large Dams. Transactions 1964.
19. Ninth International Congress on Large Dams. Transactions, 1967.
20. Sherard I. L., Woodward R. I., Gizienski S. F., Cleveinger W. A. Earth and Earth-Rock Dams, 1967.
21. Ural O. M., Ungan U. Large Dams in Turkey. Published by the General Directorate of state Hydraulic Works Ministry of Power and Natural Resources. 1967.
22. „Гидротехническое строительство“. 1950—1969.
23. „Гидротехника и мелиорация“. 1950—1969.
24. „Гидроэнергетика“. Экспресс-информация, ВИНТИ. 1963—1969.
25. Гидроэнергетика и ветроэнергетика. Реферативный журнал, ВИНТИ. 1960—1969.
26. Энергохозяйство за рубежом. 1957—1969.
27. Энергетическое строительство. 1957—1969.
28. Энергетическое строительство за рубежом. 1960—1969.
29. Annales de l'Institut technique du batiment et des travaux publics. № 218, 1966; № 231—232, 1967.
30. Bauingenieur. № 3, 1961; № 10, 1965; № 8, 10, 1967.
31. Baumaschine und Bautechnik. № 10, 1959; № 2, 1962; № 5, 1965.
32. Bauplanung-Bautechnik. № 4, 1964; № 3, 9, 1965.
33. Civil Engineering (N. Y.). № 1, 1952; № 2, 5, 12, 1957; № 12, 1964.
34. Civil Engineering and Public Works Review (L). № 482, 1946; № 607, 1957; № 662, 1961; № 704, 1965; № 720, 1966.
35. Commonwealth Engineers. № 3, 1956; № 4, 1957.
36. Construction, № 9, 1959, № 2, 1968.
37. Construction Methods and Equipment, № 10, 1952; № 6, 1953; № 9, 1957; № 10, 1964.
38. Contractors and Engineers Magazine, № 3, 1959; № 6, 1960; № 7; 1968.
39. Elektroprivreda № 1—2, 1968.
40. Engineer, apr. 24, 1964; jan. 1, 1965; jan. 7, nov. 17, 1966; sept. 22, nov. 17, 1967.
41. Energy International, № 11, 1965.
42. Engineering News Record, v 150, № 4, 6, 1953; v 151, № 17, 1953; v 159, № 23, 1957; v 163, № 7, 1959; v 165, № 14, 1960; v 173, № 2, 13, 15, 20, 1, 1964; v 175, № 16, 21, 1965; v 177, № 2, 8, 14, 1966; v 179, № 10, 1967; v 181, № 13, 19, 1968.
43. Excavating Engineer, № 12, 1951; № 1, 1952; № 1, 2, 1959, № 1, 1960.
44. Explosives Engineer, № 6, 1951.
45. Genie Civil, v 142, № 22, 1965.
46. Geotechnique, v 14, № 1, 1964.
47. Hoch und Tiefbau, № 1, 1963.
48. Houille Blanche, № 3, 1960.
49. Indian Journal of Power and River Valley Development, v 7, № 2, 1957; v 10, № 12, 1961; v 18, № 9, 1968.
50. International Construction, № 10, 1964; № 4, 1966; № 11, 1968.
51. Inzenyrske Stavby № 9, 1966; № 8, 1967.
52. L'Energia Elettrica, № 1, 1960; № 7, 1962.
53. Modern Power and Engineering, № 2, 1965; № 2, 1966.
54. Österreichische Ingenieur Zeitschrift, № 2, 1959.
55. Österreichische Wasserwirtschaft, № 11, 1959; № 7, 8, 1968.
56. Proceedings of the ASCE, Journal of the Construction Division, v 86, CO 3, 1960.
57. Proceedings of the ASCE, Journal of the Power Division, v 84, PO 3, PO 4, 1958; v 85, PO 2, 1959; v 86, PO 5, 1960; 86, PO 6, 1961; v 86, PO 1, 1962; v 92, PO 1, 2, 1966.
58. Proceedings of the ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, v 84, SM 5, 1958; v 92, SM 3, 1966; v 93, SM 4, 1967.
59. Roads and Streets, № 5, 1968.
60. Schweizerische Bauzeitung, № 33, 1953; № 2, 1957; № 33, 1959; № 35, 1961; № 46, 1962.
61. Teknisk Ukeblad, v 111, № 32, 1964.
62. Travaux, № 378, 1966; № 390, 1967.
63. Хидротехническое строительство, № 3—4, 1967.
64. Wasserwirtschaft, № 4, 1958; № 6; 1961; № 12, 1964; № 2, 1966; № 3, 1967; № 11, 1968.

65. Wasser und Energiewirtschaft, № 3, 8—9, 1958; № 6—7, 1961; № 8, 1964.

66. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, № 9, 1968.

67. Water Power, № 3, 1954; № 1, 2, 1959; № 4, 10, 1964; № 3, 9, 1965; № 3, 5, 6, 11, 1966; № 3, 4, 5, 8, 1967.

68. Water and Water Engineering, № 768, 1960; № 861, 1967; № 871, 1968.

69. Western Construction, № 9, 1945; № 12, 1961; № 2, 4, 8, 1962; № 4, 5, 9, 1963; № 5, 1964; № 2, 4, 6, 1965; № 6, 10, 1966; № 3, 9, 1967; № 11, 1968.

70. World Construction, № 7, 8, 10, 1957; № 8, 1958.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. Каменно-земляные плотины с грунтовыми противофильтрационными устройствами 5

Плотины с ядрами 5

1. Нурекская. 2. Майка. 3. Оровилл. 4. Кебан. 5. Беннетт. 6. Чарвакская. 7. Тринити. 8. Кремаста. 9. Кугар. 10. Свифт. 11. Гешенеральп. 12. Гепач. 13. Иифернильо. 14. Нетцахуалкойотл. 15. Дербенди Кхан. 16. Раунд Бютт. 17. Картерс. 18. Амбуклао. 19. Мад Маунтин. 20. Серр-Поисон. 21. Фурнас. 22. Навахо. 23. Саммерсвилл. 24. Мангла. 25. Зейская. 26. Акосомбо. 27. Садд-Эль-Аали. 28. Шинмен. 29. Макино. 30. Тиквеш. 31. Глобочица. 32. Кастэйк. 33. Месауре. 34. Черри-Вэллн. 35. Зейтеваре. 36. Каджакай. 37. Уатауга. 38. Эстрейто. 39. Блу-Ривер. 40. Марморера. 41. Блу-Меза. 42. Лин Брайн. 43. Саутс Холстон. 44. Ленси. 45. Козан. 46. Кокни Брод. 47. Хольес. 48. Серебрянская. 49. Дурласбоден. 50. Тинахонес. 51. Кубук II. 52. Тума. 53. Растан. 54. Хантайская. 55. Греу. 56. Хорсшу. 57. Перуча. 58. Ноттели. 59. Мактакуак. 60. Кесикепру. 61. Верхне-Тулумская. 62. Зильвенштейн.

Плотины с экранами 67

63. Саяно-Шушенская. 64. Миборо. 65. Трангслет. 66. Мон-Сени. 67. Сан-Габриэль № 1. 68. Маттмарк. 69. Винга. 70. Брайонес. 71. Джатилухур. 72. Иэйл. 73. Кенни. 74. Браунли. 75. Люис Смит. 76. Даллес. 77. Хирфаилн. 78. Скэммонден. 79. Нантахала. 80. Виллойская. 81. Берсимис. 82. Бэр Крик. 83. Шанде. 84. Дерош. 85. Вольф Крик. 86. Ириклинская. 87. Ист-Форк. 88. Чилхонн.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. Каменнонабросные плотины с грунтовыми противофильтрационными устройствами 93

Плотины с железобетонными экранами 93

89. Парадела. 90. Солт Спрингс. 91. Контрайт. 92. Уишон. 93. Дикс Ривер. 94. Шниг Мун. 95. Мальпасо. 96. Сан Габриэль № 2. 97. Коготи. 98. Лоуэр Бэр Ривер. 99. Фад. 100. Караун. 101. Урто-Токкойская. 102. Пинсанес. 103. Ишибучн. 104. Куга. 105. Нортс Боумен. 106. Канд. 107. Строберри. 108. Бакхада. 109. Нозори. 110. им. Г. Димитрова. 111. Релиф. 112. Пиано Гречи. 113. Телукстепек. 114. Лемоло. 115. Куойч. 116. Грезииоль. 117. Сассьер. 118. Партьон. 119. Гранд-Патюр. 120. Шамме. 121. Эскубу. 122. Ниссастрем.

Плотины с асфальтовыми экранами 127

123. Ириль Эмда. 124. Де Гриб. 125. Алезани. 126. Венемо. 127. Салагу. 128. Ора. 129. Бу-Ханифия. 130. Валле Ди Гайю. 131. Сент Сесиль Андорж. 132. Генкель. 133. Радойна. 134. Монтгомери.

Плотины с экранами из металла, дерева и полимерных пленок 139

135. Платани. 136. Салазар. 137. Терцаги. 138. Пиан Палу. 139. Гозна. 140. Широковская. 141. Малоульбинская. 142. Храмская. 143. Контрада Сабетта.

Плотины с диафрагмами 148

144. Харспрангет. 145. Крэнвэлей. 146. Эйлдои. 147. Лоуэр Отей. 148. Уэд Кебир. 149. Дюнталь. 150. Трансхаммаре.

Приложение 155

Литература 164