

*Энергетика*  
**ЗА РУБЕЖОМ**

Б. А. ВОЛНИН

**ВЫСОКИЕ НАМЫВНЫЕ  
И ПОЛУНАМЫВНЫЕ  
ПЛОТИНЫ США**

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

## О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
52	2 сверху	760 мм	760 м
	4 сверху	56,6	16,6
58	8 сверху	57 мм	47 м
76	20 снизу	1 012 млн. м <sup>3</sup>	1 012 тыс. м <sup>3</sup>

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ СОЮЗА ССР  
ГИДРОЭНЕРГОПРОЕКТ

Б. А. ВОЛНИН

Канд. техн. наук

# ВЫСОКИЕ НАМЫВНЫЕ И ПОЛУНАМЫВНЫЕ ПЛОТИНЫ США



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
МОСКВА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
1958

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАД

*В брошюре приводится описание десяти  
высоких намывных и полунамывных земляных  
плотин США.*

*Предназначена брошюра для инженеров  
и техников гидротехнического строительства,  
занимающихся проектированием и возведе-  
нием намывных земляных плотин.*

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
I. Введение.....	5
1. Особенности в конструкции профиля плотин . . . . .	8
2. Основные моменты, относящиеся к процессу возведения плотин.....	14
3. Краткая характеристика исследований грунтов для намыва плотин и контроль в процессе их постройки	16
II Описание плотин.....	17
1. Плотина Калаверас (Calaveras Dam).....	17
2. Плотина Салюда (Saluda Dam).....	22
3. Плотина Александер (Alexander Dam).....	26
4. Плотина Коббл-Маунтэн (Coble Maumtain Dam)	30
5. Плотина Эль-Каптэн (Al Captain Dam).....	35
6. Плотина Сердис (Sardis Dam).....	39
7. Плотина и дамба Квэббин (Quabbirane Dam and Dike)	44
8. Плотина Форт Пек (Fort Peck Dam) . . . . .	55
9. Плотина Кинглси (Kingsley Dam) ...	65
10. Плотина Найтвилл (Knightvile Dam).....	70

*Борис Александрович Волнин*

### ВЫСОКИЕ НАМЫВНЫЕ И ПОЛУНАМЫВНЫЕ ПЛОТИНЫ США

Редактор *Е. М. Кари*

Техн. редактор *К. П. Воренин*

Сдано в набор 18/VI 1958 г.

Подписано к печати 1/XI 1958 г.

Формат бумаги 84X108<sup>3</sup>/32

4,5 печ. л.

Уч.-изд.-л. 5

Г-11619

Тир. а 750 экз.

Цена 2 р. 50 к.

Зак.2125

Типография Госэнергоиздата, Китайски» пр., 7.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Известно, что в древнем Китае применялся намывной способ возведения дамб обвалования рек. Конечно, он был примитивен, но, тем не менее, он был основан на том же самом принципе, что и намыв плотин в настоящее время. Большой опыт возведения земляных плотин намывным способом имеют США. Этот опыт освещен в ряде журнальных статей, переводы которых есть на русском языке. Некоторые данные об американских намывных плотинах имеются также в книге Дж. Джастина «Земляные плотины», изданной у нас в 1936 г., и в книге Г. Н. Роера «Намывные и полунамывные плотины», изданной в 1938 г., но ставшими сейчас библиографической редкостью, а также в работах доктора техн. наук, проф. Ф. Ф. Губина и инж. М. П. Финицкого, опубликованных в свое время в отечественных технических журналах.

Имея в виду большое строительство намывных плотин, ведущееся у нас, можно полагать, что более подробное ознакомление с опытом строительства таких плотин в США будет полезным, особенно в связи с перемещением гидроэнергетического строительства в СССР на восток за Урал, где естественные условия этого строительства, включающего и возведение намывных плотин, близки в некоторых случаях к таким же условиям строительства в США.

В процессе ознакомления с указанными выше литературными источниками возникла мысль собрать наиболее интересные из них в одно целое, что облегчило бы пользование ими.

В результате просмотра большого количества статей из них в настоящей брошюре выделены наиболее существенные, относящиеся к десяти высоким намывным и полунамывным плотинам США.

Имевшиеся статьи и их переводы были переработаны в свете вопросов, относящихся непосредственно к самому сооружению, и изложены в брошюре в виде сжатых описаний.

Каждое описание сопровождается иллюстративным материалом, который в ряде случаев помещен, к сожалению, в излишне схематичном виде по причине отсутствия более полных данных в первоисточниках.

При составлении брошюры использована вошедшая в практику гидромеханизации отечественная терминология, несколько отличающаяся от американской.

Составлена брошюра по материалам переводов из периодической американской печати, принадлежащих Всесоюзному проектному институту «Гидроэнергопроект» МЭС СССР.

*Автор*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Переломным моментом в развитии строительства земляных намывных плотин в США следует считать аварию одной из крупнейших плотин — плотины Форт Пек, происшедшую в 1936 г. После этой аварии, в результате которой на почти законченной плотине оползло до 4,0 млн. м<sup>3</sup> грунта и погибли люди, в США началось некоторое затишье в области строительства намывных плотин.

Вот как описывают очевидцы эту аварию: уровень прудка-отстойника стал понижаться сперва медленно, и затем быстрее; приблизительно в это же время были замечены трещины на внутреннем откосе верховой боковой призмы — в 9 м ниже ее гребня, и, части призмы, ближайшие к прудку-отстойнику, начали оползать, погружаясь под все опускающийся уровень прудка; одновременно имели место также появления трещин и сползание в прудок-отстойник грунта низовой боковой призмы. В это же самое время основная масса грунта верховой боковой призмы на длине 519 м сползла в сторону водохранилища почти как одно целое; максимальное расстояние движения грунта составило 366 м. Прудок-отстойник вытек через образовавшийся прорыв. 34 чел., находившиеся на территории, охваченной оползнем, были снесены вниз, и 8 чел. погибли.

Человек, бывший на плавучей насосной станции, находившейся в прудке-отстойнике вблизи восточного берега, рассказывает, что, глядя в противоположном направлении, казалось, что грунт плотины уходит в большую дыру, которая быстро приближалась к насосной станции, и когда она ее достигла, носовая часть насосной станции резко опустилась.

Авария плотины Форт Пек не является, как полагают некоторые специалисты, следствием дефектности способа гидромеханизации в плотиностроении. Она случилась по причине недостаточной изученности геологии ее основания и вследствие неправильного управления процессом намыва. При этом наблюдавшееся во время аварии растекание грунта следует связывать с его разжиженным состоянием в прудке-отстойнике, из которого он был вынесен за пределы профиля плотины. Первое явно следует из материалов Спе-

циальной комиссии, занимавшейся обширными исследованиями этой аварии (см. **Engineering News Record, 1939, v. 122, № 19, «Large Seaside in Fort Peck Dam Caused by Foundation Tailuse»**), краткие выдержки из заключения которой приведены далее в описании плотины.

Второе можно предположить, имея в виду некоторую легкость в подходе к процессу намыва плотин вообще, которая была присуща американцам до этой аварии.

Таким образом, нет никаких оснований считать причиной аварии плотины Форт Пек разжижение якобы недостаточно плотно намывтого в нее водонасыщенного грунта, хотя некоторые специалисты и связывают возникновение аварии с этой причиной.

При намыве плотин основное внимание уделялось американцами не вопросам технического обоснования сооружения и соответственно технологии намыва, обеспечивающими его прочность, не только в период эксплуатации, но и в период возведения, а оборудованию гидромеханизации.

США располагают хорошей конструкцией и высокопроизводительными землесосными снарядами, которые работают не только на обычных, но и на плотных грунтах, вплоть до полускальных пород. Еще в 30-х годах в США применялся безэстакадный торцовый тонкослойный способ намыва, который мог быть осуществлен только при условии надлежаще разработанной конструкции быстроразъемных соединений труб.

Но в то же время в США для намыва применялись подчас излишне мелкие грунты без соответствующих конструктивных решений профиля плотин и без учета специфичности технологии намыва сооружений из таких грунтов, а также без мероприятий по усилению водоотдачи при намыве этими грунтами. Намываемые грунты содержали включения окатанных комков глины, откладывавшихся на пляжах намыва и снижавших прочность возводимого сооружения. Плотины возводились с недопустимой для данного грунта интенсивностью намыва, что при неучете опасности расширения границ прудка-отстойника приводило к прорывам и оползанию боковых призм.

В последующем, очевидно в связи с более полным изучением причин<sup>1</sup> аварии на плотине Форт Пек, следствием чего выявилось, что правильно осуществленная гидромеханизация не противопоказана для возведения земляных Сооружений,

<sup>1</sup> По старой орфографии «торцевой».

наметились сдвиги в сторону применения намывного способа возведения земляных плотин. Это подтверждается тем, что после аварии начата была постройка таких больших намывных плотин, как Кингсли и Найтвил, а также высокой земляной плотины О'Сюлливан, имеющей насыпное ядро и намывные боковые призмы<sup>1</sup>. Результаты исследования аЕарии повлекли за собой более углубленные проработки ряда вопросов, связанных с методикой расчета намывных плотин (работы А. Казагранде) и прогресс в их проектировании и возведении.

Все большие земляные плотины в США возведены преимущественно намывным способом. Применение этого способа в данном случае оправдывается тем, что он позволяет в краткие сроки при минимальном количестве рабочих и механизмов выполнять земляные работы в огромных масштабах. При этом стоимость работ по сравнению с сухим способом была значительно ниже.

Однако в последние годы в США благодаря высокой механизации работ, представленной мощными землеройными снарядами и транспортными средствами, поточности строительства, позволяющей наиболее полно использовать парк механизмов, сухой способ возведения земляных плотин получил большее распространение, чем гидромеханизация. Одновременно с этим имеются основания полагать, что преимущественное возведение земляных плотин сухим способом определяется не только приведенными выше причинами, но и тем, что уже использованы водотоки с благоприятными для осуществления намывных плотин условиями естественного залегания грунтов, пригодных для их возведения, а также особыми условиями капиталистического хозяйства США. В то же время, не применяя сейчас гидромеханизации для возведения плотин<sup>2</sup> намывными полностью, США не отказались от использования гидромеханизации для намыва плотин частично. Примером этого является находящаяся сейчас в стадии строительства плотина Татл Крик на р. Баг-Блу-Ривер в штате Канзас, имеющая высоту 48 м и объем 15,4 млн. м<sup>3</sup>. Ее низовой клин возводится намывным способом из песка. Интересно отметить, что намывной способ применен в целях получения большей плотности песка, которая не достигалась при его укладке сухим способом. Иллюстрацией применения гидромеханизации при строи

<sup>1</sup> Плотина О'Сюлливан закопчена была постройкой в 1949 г.

<sup>2</sup> Труды Международного гидравлического съезда. Минеаполис, штат Миннесота, 1953.

тельстве плотин служит также перекрытие русла р. Миссури путем намыва банкета из известняка в створе плотины Форт Рэндолл в 1952 г.

В последние годы в Бельгийском Конго в целях гидроэнергетического использования рр. Личурукуру и Ликулу построены ГЭС, земляные плотины которых возведены намывным способом<sup>1</sup>.

Имея в виду широкое развитие гидромеханизации в области строительства намывных плотин в СССР, большой опыт этого строительства в США представляет определенный технический интерес.

До аварии плотины Форт Пек за период с 1914 по 1938 г. в Америке построено было семь намывных и полунамывных больших плотин, не считая дамбы Квеббин. Это плотины: Калаверас, Салюда, Александер, Коббл-Маунтэн, Эль-Каптэн, Сердис и Квеббин.

После аварии за период с 1938 г. по настоящее время построены две большие намывные плотины — Кингсли и Найтвил, а также упомянутая выше высокая плотина О'Сюлливан, не рассматриваемая в настоящей брошюре.

## **1. Особенности в конструкции профиля плотин**

Большинству американских намывных и полунамывных плотин периода, предшествовавшего аварии на плотине Форт Пек, присуще устройство каменных или гравийных упорных призм в основании обоих откосов. Это не является обязательным для плотин намывного типа, за исключением особых случаев, к которым должна быть отнесена постройка плотин в сейсмически опасных районах. К таким районам в США должен быть причислен штат Калифорния. В штате Калифорния расположены две плотины из описываемых в настоящем сборнике. Это — плотина Калаверас постройки 1914—1918 гг. и плотина Эль-Каптэн, постройки 1933—1934 гг. Обе плотины полунамывного типа с ядром.

Плотина Калаверас является первой из больших земляных полунамывных плотин, построенных в США. Она строилась в период начала овладения способом гидромеханизации в применении его к плотиностроению, и поэтому естественно, что ее профиль и строительство имеют ряд недостатков. Плотина претерпела во время постройки аварию, причину которой следует отнести к недостаточной изученности грунтов для намыва и неправильной технологии намыва. Действительно, если бы плотина возводилась из менее глини-

<sup>1</sup> La Technique des Travaux, Janvier—Eevrier, 1955.

стых грунтов, чем примененные, в результате использования которых ядро было образовано почти полностью из частиц размером меньше  $0,002 \text{ мм}^*$ , то не было бы большого разжижения ядра и, следовательно, гидростатического давления на боковые призмы, что явилось одной из причин аварии. Далее, если бы интенсивность намыва была меньшей, то и при этих глинистых грунтах аварии не произошло бы.

Несколько более совершенной является плотина Эль-Каптэн. Конструкция ее профиля отвечает условиям сейсмической устойчивости. Очевидно, в этих целях земляной профиль плотины усилен отсыпкой из камня наружных призм и упоров и их основании и основании земляных боковых призм. Точно так же нужно полагать, что для этого же в основании откосов устроены бетонные, арочные в плане стены. Никаких сведений об авариях на плотине во время строительства или ее эксплуатации не имеется.

Только наличием на месте строительства большого количества камня можно объяснить то, что плотина Коббл-Маунтэн выполнена с массивными упорными каменно-набросными призмами. От отсутствия этих призм профиль ПЛОТИНЫ мало пострадал бы.

Возвращаясь к авариям намывных плотин, следует остановиться на плотине Александер, расположенной на Гавайских-островах.

Несмотря на то, что плотина имела упорную призму из камня с низовой стороны и земляную насыпную призму с верховой стороны, в процессе ее возведения произошла авария. Для намыва плотины применялись продукты распада вулканических пород, состоявшие из глинистого материала, вполне плотного, но в действительности малопрочного. Ядро плотины на 70% состояло из частиц размером менее  $0,005 \text{ мм}$ . Следовательно, ядро плотины было жидким и оказывало гидростатическое давление на боковые призмы, которые в этом случае должны быть очень прочными, чего не было в действительности. Боковые призмы были намыты из такого же материала, что и ядро, с той только-разницей, что материал ядра отложился в них в виде окатанных комков — «окатышей».

В принципе глинистый материал если и может применяться для намыва, то обязательно с соблюдением особых мер, заключающихся в придании профилю очень пологих откосов, усиленного дренирования намываемого тела плоти-

\* По Стоксу, что равно  $0,005 \text{ мм}$  по Сабанину.

ны и замедленной интенсивности намыва. Но и не весь глинистый материал может употребляться для постройки намывных плотин.

Такой материал, откладывающийся при намыве в виде агрегированных окатанных комков в массе размельченного грунта, должен быть отвергнут для возведения намывных плотин. Непрочные окатанные глинистые комья могут являться причиной обрушения земляных масс.

Возведение плотины Александер интересно тем, что при ее постройке для ускорения уплотнения грунта обратной засыпки котлована зуба применялась обработка его щелочью.

К плотинам, в процессе возведения которых были аварии, относится полунамывная плотина Салюда в штате Южная Каролина, построенная в период 1927—1930 гг. В теле плотины проходит трубопровод ГЭС. Авария на плотине должна быть отнесена за счет неправильного ведения работ по намыву.

Недостаточным опытом возведения полунамывных плотин и отсутствием в период постройки плотины необходимых знаний в области механики грунтов, имеющихся теперь, можно объяснить то, что плотина Салюда потребовала реконструкции. Последняя была выполнена в 1943 г. Реконструкции подвергся низовой откос, дополнительно усиленный каменной наброской, уложенный террасами, а также щебень плотины, дополнительно досыпанный.

Верхняя часть тела плотины в целях уплотнения трещин и пустот, возникших в ней в результате деформаций от осадки и суффозии, инвестирована грунтовым раствором.

Несколько отличной от упомянутых выше плотин является плотина Сердис в штате Теннесси, законченная постройкой в 1935 г. Возводилась она частично намывным способом и частично насыпным способом. Особенностью ее являются распластаный профиль и подушки в основании из отсыпанного насухо-грунта. Плотина возводилась секционно с образованием между секциями швов, выполненных в виде насыпных дамб. Дренаж плотины Сердис выполнен в виде рифленых труб, заложённых в основании низового откоса.

Прямых указаний на то, чем вызван ее распластаный профиль, в первоисточниках нет. Можно предположить, что он объясняется укладкой в основании боковых призм водонепроницаемой подушки из глинистых грунтов для удлинения путей контактной фильтрации. Присутствие такого рода подушки требует по условиям устойчивости устройства пологих откосов. Пригрузка подушки со стороны верхнего бьефа

выполнена с уклоном откоса 1 : 15. Очевидно, благодаря намыву пригрузки из достаточно крупнозернистого материала ее откос замощен частично. Это дало некоторую экономию камня, которого, судя по конструкции профиля плотины, было мало в районе ее строительства. Требованиями, вызванными устойчивостью откосов, можно объяснить устройство пригрузки с уклоном ее откоса 1 : 7 со стороны нижнего бьефа. Этому предположению не противоречит устройство песчаной подушки из отсыпанных с уплотнением песков под концевой частью низовой пригрузки.

Устройство в основании плотин такого рода подушек не является новшеством в практике американского плотиностроения. Аналогичным образом выполнено основание дамбы Квеббин, расположенной в штате Массачусетс (постройка периода<sup>1</sup> 1935—1938 гг.). Обращаясь к конституции профиля последней, можно видеть, что в ее основании в границах ядра и промежуточной зоны уложена сухим способом подушка из водонепроницаемого грунта, а под боковыми призмами — из несвязного водопроницаемого грунта.

Укладка насухо такого рода подушек, но не понуров, вызывается разного рода соображениями, к числу которых следует отнести атмосферные воздействия на основание, условия фильтрации в контактных с плотиной слоях основания, его физико-механические свойства и условия производства работ по намыву плотины. Если первые два условия могут быть различными, зависящими от рода основания, то последнее условие от него мало зависит и одно и то же для всех случаев возведения намывных плотин. Оно подтверждается также опытом отечественной постройки намывных сооружений.

Установлено, что для обеспечения требуемой раскладки фракций карьерного грунта в плотине в первоначальный момент ее намыва следует в основании боковых призм укладывать сухим способом подушки из несвязного грунта, мало отличающегося по гранулометрическому составу от грунта намываемых боковых призм. Поверхностям подушек нужно придавать уклон в сторону ядра, одинаковый с проектируемым уклоном пляжей намыва. В результате в основании плотины образуется как бы постель для последующего ее намыва.

При секционном (плотина Сердис), отдельном (плотина Форт Пек) или блочном намывах (плотина № 3 Волгостроя в СССР) плотин необходимо было выполнить поперечные

ограждения карт намыва, которые представляли собой солидные земляные дамбы, возводимые насухо с уплотнением. Дамбы входят в тело плотины, и поэтому они отсыпаются из грунтов, аналогичных грунтам намываемых частей плотины. При этом плотность укладки грунтов дамб принимается одинаковой с плотностью грунта в намывных частях плотины. В некоторых случаях для удлинения пути фильтрации в границах ядра дамбы и на некоторую длину намывного ядра плотины забивается шпунт. Такая конструкция шва в намывной плотине при качественном ее выполнении не может вызвать возражений.

Примером изменения взглядов на конструкцию профиля намывных плотин, происшедших в результате аварии плотины Форт Пек, может служить плотина Кингсли в штате Небраска, построенная в период 1938—1940 гг. Проект этой плотины в связи с исследованиями оползня на плотине Форт Пек подвергся значительному изменению в части уклона верхового откоса, который был уположен. Нужно сказать, что это уполаживание откоса, имея в виду укладку в его основании слоя лесса, вполне оправдано. В основании плотины под ее верховым откосом сухим способом уложен слой лесса толщиной 0,9 м. Этот слой лесса сопрягается с намывным ядром плотины. Судя по этому, слой является своего рода понуром, прикрывающим гравелисто-галечные грунты основания. Слой аллювия подстилает водонепроницаемый грунт, с которым плотина сопряжена посредством диафрагмы.

В теле плотины Кингсли у основания помещены водоспускные трубы. Это — вторая из высоких намывных и полунамывных плотин в США с трубами, прорезающими ее тело. Первой является упомянутая ранее плотина Салюда.

Крепление напорного откоса плотины Кингсли вначале было выполнено несколько необычно и состояло из бетонных блоков-плит, связанных металлическими стержнями. По мнению строителей, такое гибкое крепление могло следовать деформации откоса и мало подвержено разрушению. Но оказалось, что это не так. Крепление было непрочным, разрушилось после постройки плотины в период ее эксплуатации и было заменено креплением камнем.

Из приведенных в описании плотины Кингсли сведений следует, что основной причиной разрушения выполненного вначале типа крепления напорного откоса является отсутствие под ним дренажной подготовки.

К особенностям возведения плотины нужно отнести от-

дельную подачу гидросмеси в ее ядро. Для повышения водонепроницаемости последнего в прудок-отстойник по отдельному трубопроводу подавался лессовый грунт.

Оригинально осуществлялся отвод осветленной воды из прудка-отстойника. Для этого по его оси были установлены вертикальные трубы из волнистого железа. Трубы выполнены звеньевыми и по мере надобности наращивались. Вертикальные трубы соединялись с горизонтально уложенными трубами, отводившими сбросную воду к основанию верхового откоса, откуда она по деревянным лоткам выводилась за пределы уложенного насухо понура.

Низовой откос плотины дренировался горизонтальным дренажем, выполненным в виде перфорированной трубы, уложенной в заполненной гравием траншее.

Плотина Найтвил является последней из намывных плотин, о которых имеются относительно полные сведения в литературе, построенных после аварии плотины Форт Пек.

Плотина Найтвил расположена в штате Массачусетс и строилась в течение 1940—1941 гг. Плотина отличается тщательным возведением. Для намыва применялись грунты в широком диапазоне крупности частиц. В боковых призмах плотины намывным способом укладывался материал размером до 152 мм.

При намыве плотины Найтвил применялось уплотнение дамб обвалования. Они отсыпались с помощью драглайнов и уплотнялись трактором мощностью 90 л. с.

К общей характеристике намывных и полунамывных плотин в США следует отнести стремление к получению резкой градации материала в поперечном профиле. Для этого, как правило, применяются карьерные грунты в широком диапазоне крупности их частиц и двусторонний способ намыва. Почти все плотины имеют хорошо дренирующие боковые призмы из крупнозернистого материала (до отдельных камней) и глинистое водонепроницаемое ядро.

Только в плотине Александер, фактически выполненной из вулканического пепла, эта градация материала по существу отсутствовала.

Осуществлением конструкции профилей с глинистым водонепроницаемым ядром объясняется и то, что все плотины имеют сложное сопряжение с основанием. Оно обычно выполнено в виде диафрагм или шпунта. Шпунты и диафрагмы утоплены в материал ядра.

Некоторым исключением является плотина Сердис, выполненная с водонепроницаемой подушкой под верховым

клином и за счет этого имеющая распластанный профиль.

В результате при резкой градации материала, с одной стороны, получается обжатый профиль сооружения, а с другой — сложные противофильтрационные мероприятия в основании и не менее сложное сопряжение их с телом плотины.

## **2. Основные моменты, относящиеся к процессу возведения плотин**

Практика возведения намывных плотин в США представлена двумя основными схемами организации производства работ. Одной из них являются сухая разработка грунта в карьерах, его транспорт к приемным устройствам у сооружаемой плотины с применением мощных автотранспортных средств и дальнейшая операция смешивания, транспорта и укладки грунта водой. Так, например, возводились плотины Эль-Каптэн, Квеббин (плотина и дамба). Найтвил и Коббл-Маунтэн. При постройке последней плотины грунт из карьера транспортировался платформами узкой железнодорожной колеи.

Другой обычной схемой организации производства работ является полная гидромеханизация всех процессов по разработке, транспорту и укладке грунта. Последнего вида схема была применена при постройке плотин Александер, Сердис (в намывной части), Форт Пек и Кингсли.

Примером классической организации производства работ по первой схеме является постройка плотины Квеббин, достаточно полно описанная в настоящем сборнике и ярко иллюстрированная графически.

Верхняя часть («шапка») всех американских плотин обычно возводится сухим способом, что не является обязательным при широком гребне плотины и соответствующем качестве грунтов, применяемых для намыва.

Желанием повысить глинистость материала ядра и стремлением уменьшить потери грунта при намыве объясняется применение американцами работы на оборотной воде. Для этого осветленная, отдавшая частицы грунта вода из прудка-отстойника не сбрасывается, а собирается и вновь используется для подачи грунта на плотину. Это было выполнено, например, при намыве плотин Квеббин и Найтвил.

При намыве плотин Квеббин, Коббл-Маунтэн и Найтвил двусторонним способом применялся попеременный выпуск гидросмеси на борта сооружения. В случае такой технологии

намыва боковые призмы растут неравномерно по высоте, прудок-отстойник перемещается то к одному откосу плотины, то к другому и мелкие частицы грунта откладываются в боковых призмах, снижая их устойчивость.

Регулировка распределения потоков гидросмеси на пляжах намыва в целях предупреждения размыва ими отложенного при намыве грунта и с тем, чтобы в ядро не попадали крупные фракции намываемого грунта, осуществляется обычно посредством переносных деревянных направляющих щитков (см. рис. 9). Как ими пользуются, следует из описания намыва плотины Найтвил. В последних целях применяются также драглайны и брендспойты. Первыми убирают из ядра попавший в него крупный материал, а вторыми смыывают его, распределяя в ядре равномерно, с тем чтобы не было перемыывав ядра.

Вообще процесс намыва плотин Квеббин и Найтвил очень хорошо описан в периодической американской технической литературе и может считаться характерным для американской практики возведения намывных плотин.

Операция намыва этих плотин отличалась большой гибкостью, что обеспечивало заданную проектом укладку грунта в частях тела плотины.

Все описываемые в брошюре намывные плотины возводились двусторонним способом намыва с прудком-отстойником, т. е. способом, обеспечивающим образование ядра. Этот намыв был как эстакадным (плотины Александер, Сердис и Кингсли), так и безэстакадным торцовым тонкослойным (плотина Коббл-Маунтэн, плотина и дамба Квеббин и плотина Найтвил). Первый применялся при намыве мелкими грунтами, а второй — крупными. При безэстакадном намыве звенья труб укладывались непосредственно на намываемой поверхности и в местах соединений на подкладках. Нарращивание и укорачивание труб обслуживалось драглайнами, которые одновременно выполняли работы по устройству обвалования (см. рис. 9, 22 и 23). Звенья труб лежали на внутренних и наружных откосах боковых призм сооружения и посредством драглайна подавались к месту наращивания или, наоборот, при укорачивании складывались на этих откосах. Они имели обычно износоустойчивую резиновую футеровку и благодаря быстроразъемным соединениям наращивались и укорачивались без перерывов в подаче гидросмеси. Уплотнение быстроразъемных соединений осуществлялось принудительно. Для этого имелась ручная

-лебедка, устанавливаемая обычно на несколько звеньев позад.

При намыве плотины Форт Пек применялись не эстакады, а низкие опоры, на которых укладывались звенья раструбных труб.

Сброс осветленной воды из прудка-отстойника чаще всего осуществлялся механическим путем посредством плавучих установок (см. рис. 9 и 37). Но имело также место применение водосливов, как, например, при намыве плотины Форт Пек и в ряде случаев сбросных шахт и колодцев.

Техническое оснащение гидромеханизации, применяемое в США для намывных плотин, очень высокое. Для этого имеется всевозможное оборудование. Особо, следует остановиться на трубах. Последние для распределяющей гидро-смесь сети, часто передвигаемой, делаются легкими, на быстроразъемных соединениях.

### 3. Краткая характеристика исследований грунтов для намыва плотин и контроль в процессе их постройки

Постройке американских плотин предшествуют тщательные исследования грунтов для намыва. Такого рода предварительные исследования широко были проведены, например, перед постройкой плотины Квеббин (**Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1937**). **Опробование** карьеров производилось не **только** путем бурения и шурфования, но и посредством устройства опытных экскаваторных выемок. Последние позволяли получить видимый разрез грунтов, залегающих в карьере, и в широких масштабах изучить их гранулометрический состав. При этом процесс намыва пытались моделировать лабораторным путем.

Аналогичные исследования были выполнены на строительстве плотины Форт Пек. Их результаты представлены наряду с первичными Материалами исследования (буровыми колонками, механическими анализами и т. д.) многочисленными литологическими картами грунтов карьеров, выполненными для различных отметок разработки. Эти карты позволяли в любой момент времени установить качество разрабатываемых снарядами грунтов и соответствие их качества заданному проектом. В случае несоответствия гранулометрического состава кондиционным требованиям литологические карты использовались для передвижки снаряда на новое место, где были грунты нужного качества.

В процессе возведения намывных плотин осуществлялся тщательный контроль за качеством грунтов для намыва в

карьер, по пути следования гидросмеси и на сооружении, а также за правильностью самого процесса намыва.

Отчетность о намыве стояла на должной высоте, о чем можно судить хотя бы по прилагаемому к описанию возведения плотины Форт Пек типовому ежедневному рапорту о выработке.

После возведения плотин обычно производятся наблюдения за осадкой и поведением потока фильтрации в их теле.

\*

Рамки брошюры не позволяют более подробно остановиться на ряде вопросов, относящихся к практике строительства намывных плотин в США да и вряд ли следует перегружать текст широким освещением этих вопросов. Основные из них, необходимые для знакомства с опытом намыва плотин в США, приведены в описаниях плотин, помещенных в данной брошюре.

## II. ОПИСАНИЕ ПЛОТИН

### 1. Плотина Калаверас (Calaveras Dam) (1914—1925 гг.)

Плотина расположена на р. Калаверас в штате Калифорния и создает водохранилище для водоснабжения г. Сан Франциско.

Постройка плотины начата была в 1914 г. намывным и полунамывным способами с образованием в ее центре глинистого ядра, занимавшего четвертую часть ширины профиля. К концу возведения плотины в 1918 г. произошла авария, и плотина была закончена в 1925 г. насыпным, способом.

Плотина имеет высоту 73,2 м, длину по гребню 384 м, ширину в основании 400 м. В ее теле проложена бетонная выпускная труба. На рис. 1 изображен проектный профиль плотины.

В основании плотины залегает скала, с которой она сопрягается посредством зуба, устроенного по оси ядра.

Возведение плотины начато было намывным способом. После расчистки основания в границах ядра и устройства траншеи под зуб в основание боковых призм был намыт гравелистый грунт, взятый из ложа долины и в верхнем бьефе плотины. Песчано-гравийные подушки были намыты высотой 14—15 м. Перед намывом большие камни, которые не могли пройти через землесосы (более 100 мм), отбира-

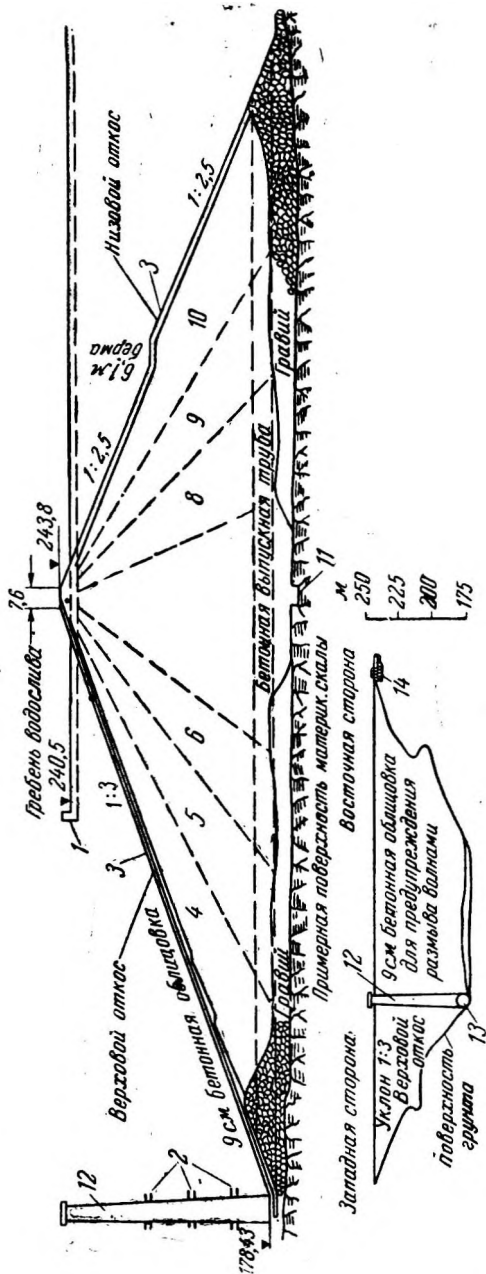


Рис. 1. Проектный профиль плотины Калаверас.

1 — затворы; 2 — выпускные трубы; 3 — обвалование высотой 0,90 м; 4 — очень крупный материал; 5 — пористый материал; 6 — полупористый материал; 7 — ядро из тонкого водонепроницаемого материала; 8 — пористый материал; 9 — пористый материал; 10 — очень крупный пористый материал; 11 — траншея в материковой скале; 12 — башня для помещения затворов; 13 — бетонный выпускной трубопровод; 14 — водослив.

лись. Частицы гравия и песка имели хорошую механическую прочность. Удельный вес грунта равнялся  $2,7 \text{ т/м}^3$ . Намытый грунт хорошо укладывался, дренировался и быстро получал достаточную плотность. Исследовано, что в намытом грунте было очень мало фракций диаметром  $0,1 \text{ мм}$ .

Выше песчано-гравийных подушек плотина возводилась смешанным способом: центральная часть, занимавшая половину профиля, намывалась; боковые призмы отсыпались.

Грунт для центральной части смывался гидромониторами с соседних холмов и по канаве с уклонами  $0,05—0,07$  поступал в бетонный зумпф размерами  $2,4 \times 2,4 \text{ м}$ , из которого землесосами подавался да плотину.

Для смыва грунта использовались два гидромонитора с напором  $56—84 \text{ м}$  и производительностью около  $200 \text{ л/сек}$ . Содержание глины в смываемом грунте колебалось от  $20$  до  $50\%$ , остальную часть составляли песок и гравий. При смыве консистенция гидросмеси составляла  $1 : 4$ . В зумпфе для получения более низкой консистенции производилась добавка воды.

По напорному трубопроводу диаметром  $305 \text{ мм}$  гидросмесь поступала на плотину. Скорость ее движения в трубопроводе колебалась от  $3$  до  $3,7 \text{ м/сек}$ .

Грунт боковых призм разрабатывался в карьерах вблизи плотины паровыми лопатами и подавался на плотину автомашинами и вагонетками. После выгрузки грунт специально не уплотнялся.

Отсыпанный грунт и крупные частицы намытого грунта всегда заплывали в прудок и как более тяжелые вытесняли мелкий грунт, осаждающийся в прудке. В результате получалось, что по мере увеличения высоты плотины насыпной грунт вследствие более тяжелого веса вдавливался в мягкий глинистый грунт ядра. Бурение обнаружило, что ядро в нижней своей части состояло из насыпного грунта, окруженного намытой глиной.

Для боковых призм паровыми лопатами с предварительным рыхлением взрывами разрабатывался грунт, имевший удельный вес  $2,6—2,0 \text{ т/м}^3$  и пористость  $6—23\%$ . Полученные взрывом большие глыбы грунта казались крепкими и твердыми, но они быстро разрушались на воздухе, превращаясь в кучу глины, пылеобразную или жидкую массу в зависимости от времени года.

После отсыпки грунта в тело плотины и последующего уплотнения его от веса вышележащих слоев он имел в ней около  $34\%$  пор и объемный вес при естественной влажно-

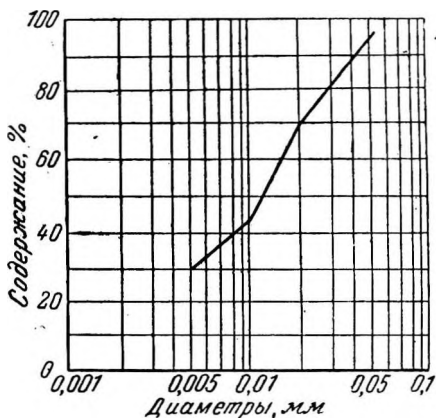


Рис. 2. Кривая гранулометрического состава грунта ядра плотины Калаверас.

сти  $1,73 \text{ т/м}^3$ . Ближе к поверхности грунт имел меньший объемный вес и больший процент пор.

Разрабатываемый гидромониторами грунт состоял в основном из слабого песчаника и мягкого глинистого сланца. Грунт размывался вместе с поверхностным слоем почвы. При транспортировке водой в трубах из-за малой прочности частицы грунта размельчались. Наиболее прочные частицы окатывались, а менее прочные распадались.

В боковых призмах поры между крупными частицами грунта, откладывавшимися при намыве, заполнялись глинистыми частицами. Намытый грунт по плотности не отличался от насыпного грунта.

Ядро было образовано почти полностью фракциями диаметром, меньшим  $0,05 \text{ мм}$  (рис. 2). Наиболее крупная часть намывого в плотину грунта, отложившегося на боковых призмах, имела в диаметре  $10 \text{ мм}$  и больше. Частицы же средних размеров почти отсутствовали.

Пористость в ядре составляла  $50\text{—}65\%$ . Водоотдача происходила чрезвычайно медленно, и намытый грунт находился в неустойчивом полужидком состоянии.

В процессе намыва оказалось, что тело плотины имеет значительно большее содержание глины, чем предполагалось, поэтому на ее верховой и низовой откосы насыпным способом было уложено дополнительно большое количество грунта. Грунт, укладываемый в тело плотины, подвергся

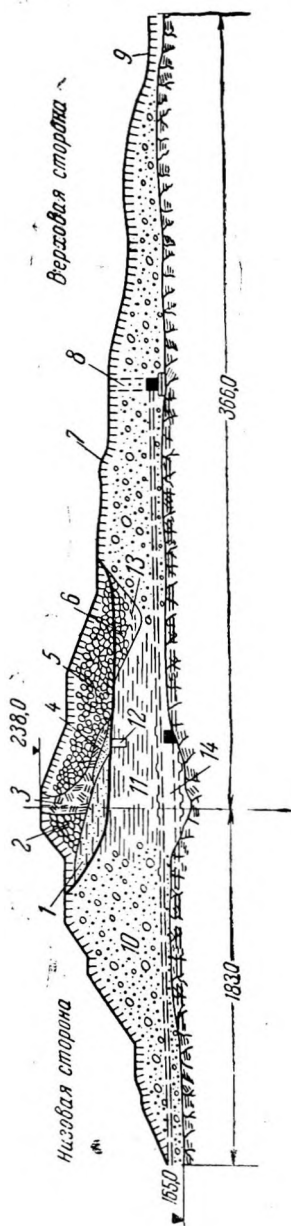


Рис. 3. Профиль плотины Калаверас после восстановления.

1 — насыпь; 2 — каменная наброска; 3 — уплотненная глина; 4 — уплотненная глина; 5 — каменная наброска; 6 — мягкий материал удален и замещен каменной наброской; 7 — откос после оползня; 8 — шахтный водослив; 9 — мягкая глина; 10 — насыпь, возведенная паровыми лопатами, прочная, но пористая; 11 — твердая водонепроницаемая глина; 12 — зуб; 13 — глина прудка; 14 — бетонный трубопровод.

регулярному испытанию с целью определения его уплотнения.

Для этого в начале применяли 25—38 мм трубки и об уплотнении судили по глубине их погружения в намытый грунт. Затем перешли к погружению чугунного плара.

24 марта 1918 г., когда плотина была возведена до отметки на 7 м (ниже гребня, произошел оползень. Центральная секция верхового откоса и значительная часть глинистого ядра оползли в верхний бьеф. Установлено, что намытый грунт, имевший влажность до 50%, остался на месте, а ополз грунт с влажностью свыше 50%. При этом верховой откос из насыпного грунта сполз на 91 м в сторону верхнего бьефа, повернувшись в горизонтальной плоскости на 30°, и уменьшился по высоте на 24—30 м.

Восстановление плотины произведено насыпным, способом. Дополнительно было уложено свыше 1 млн. м<sup>3</sup> грунта.

Реконструированная плотина имеет большее сечение, чем старая, и более пологие откосы (рис. 3). Для укладки в тело плотины грунт тщательно выбирался. Грунт с фракциями меньше 0,01 мм к укладке не применялся.

## 2. Плотина Салюда (Saluda Dam) (1927—1930 гг.)

Плотина расположена на р. Салюда в штате Южная Каролина на 16 км выше г. Колумбия и в составе сооруженный гидроэнергоузла создает водохранилище для гидростанции мощностью 300 тыс. квт.

Кривая подпора от плотины имеет длину 65 км, а наибольшая ширина водохранилища 22,5 км, площадь зеркала 202 км<sup>2</sup> и емкость 1,87 км<sup>3</sup>.

Плотина полунамывная, с ядром, имеет полную высоту 70,1 м, из которых 63,4 м выполнено полунамывным способом. Длина плотины 2 400 м и объем 8,41 млн. м<sup>3</sup>.

Верхние 6,7 м возводились насыпным способом с подачей грунта вагонетками. В теле плотины заложены два трубопровода: водовыпуск и напорный трубопровод. Обе трубы заглублены в скалу основания. Ядро со скалой сопрягается зубом по всей длине плотины. На глубоком участке долины плотина имеет банкет из каменной наброски с откосами 1 : 1,4. Банкет выполнен из прочного камня. Между телом плотины и банкетом устроен обратный фильтр. Верховой откос защищен одиночной мостовой. По гребню плотины проходит бетонированная дорога шириной 5,5 м. Остальные размеры приведены на рис. 4.

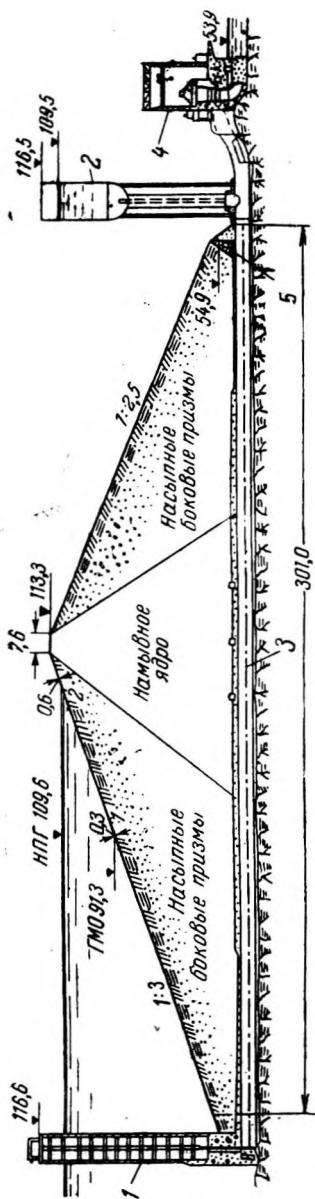


Рис. 4. Профиль плотины Салуда по напорному трубопроводу.  
 1 — водоприемная башня; 2 — уравнивательная башня; 3 — трубопровод; 4 — здание гидростанции, 5 — каменная призма.

Расположена плотина главным образом на глинистом и — в значительно меньшей части — на скальном основании. Глинистое основание состоит из плотной, достаточно водонепроницаемой «южной красной глины». Меньшая часть основания, относящаяся к старому руслу реки, представлена водонепроницаемым гнейсом, залегающим почти вертикальными слоями. -

При подготовке основания под плотину в русле его средняя треть была очищена до скалы. Оставшиеся части средней трети на берегах и обе внешние трети в русле были очищены от мягкого грунта до «южной красной глины».

Остальная площадь основания плотины была очищена от растительности. Деревья и кусты были выкорчеваны, и в средней трети площади, занятой плотиной, был снят слой дерна и глины на глубину 0,6 м.

В районе плотины имелся в большом количестве материал, пригодный для ее намыва, представленный продуктами распада гранита, шиферного сланца, гнейса, коричневой жирной глины и красной глины с песком.

Полезный слой в карьере исследовался бурением. На сплошной площади в 100 га было пробурено более 1 800 скважин через 60 м. Дополнительно забивались пробные шурфы. Образцы грунта брались на различных отметках и подвергались лабораторным исследованиям в целях определения возможности использования их для возведения плотины и получения данных для определения устойчивости откосов, размеров ядра, состава его материала и качества основания.

Грунт в карьере разрабатывался паровыми экскаваторами и подвозился к месту постройки поездами из думпкаров.

Вначале были отсыпаны с эстакад верховая и низовая призмы высотой 7,6 м. За 3 мес. было уложено в призмы свыше 1,58 млн. м<sup>3</sup> грунта. Между призмами был образован прудок-отстойник. Баржи, плававшие в нем, были оборудованы насосами с напором 91 м и общей производительностью 47 м<sup>3</sup>/сек. Гидромониторы были установлены прямо против грунта, выгружаемого из поезда, для смыва его в прудок-отстойник.

Ширина прудка-отстойника регулировалась с таким расчетом, чтобы 1/6 часть плотины составляла ядро из грунта, 65% которого проходило через сито со 100 отверстиями. Боковые призмы плотины отсыпались из крупного грунта,

что увеличивало устойчивость откосов. Большая часть ядра именована до 30% частиц мельче 0,005 мм.

В процессе возведения плотины 10 февраля 1930 г., когда уровень воды в пруде-отстойнике находился на отметке 104,0 м и гребень низовой призмы на отметке 104,9 м, произошел оползень на наружном ее откосе.

К этому моменту боковые призмы настолько сузились, что нельзя было производить работы полунамывным способом и требовалось заканчивать возведение плотины до гребня сухим способом.

Причиной аварии было излишнее насыщение водой грунта низовой боковой призмы, в результате чего он ополз и повлек за собой опорожнение прудка-отстойника, длина которого была в то время 1 520 м. В результате аварии из ядра ушло незначительное количество грунта, но объем остального оползшего грунта составил 95 тыс. м<sup>3</sup> из уложенных в плотину на момент аварии 7,3 млн. м<sup>3</sup> грунта.

Авария была вызвана неправильным ведением производства работ по возведению плотины.

Вскоре после окончания постройки плотины на ее низовом откосе вследствие интенсивной фильтрации были обнаружены мокрые пятна. Это заставило выполнить ряд исследовательских и проектных работ. В результате их последовало выполнение ремонтных и потом реконструктивных работ, коснувшихся не только плотины, но и других сооружений гидроузла.

В 1932 г. вследствие перенасыщения грунта низового откоса водой произошел его оползень, что потребовало ускорения намеченных ремонтных работ. На низовом откосе было устроено несколько продольных и поперечных дренажных траншей, заполненных камнем. Траншеи были засыпаны землей по уложенной поверх камня мешковине.

За период исследований было установлено, что всякого рода смещения земляных масс в плотине совпадали с моментом снижения кривой депрессии в ее теле. Установлено, что на первые 7 лет после окончания строительства плотины пришлось 85—90% всей осадки, происшедшей за 16 лет. Осадка плотины на русловом участке составила около 1,5% общей высоты плотины в этом месте. Осадка сопровождалась обычно перемещениями в сторону нижнего бьефа, составлявшими в среднем 50—85% ее величины. Наблюдалось, как правило, что чем ниже отметка возведенной плотины, тем большим был процент перемещения в сторону нижнего бьефа.

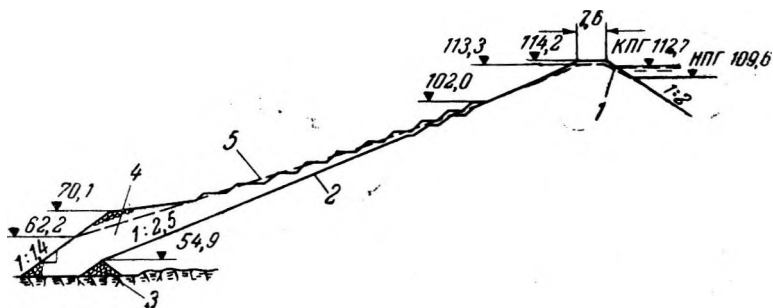


Рис. 5. Реконструированный низовой откос плотины Салюда.  
 1 — дополнительная насыпь; 2 — первоначальное очертание низового откоса; 3 — существующая каменная призма; 4 — добавочная каменная призма; 5 — новое очертание низового откоса.

В результате исследований было выявлено, что в основании низового откоса плотины имеются зоны грунта с пониженным сопротивлением сдвигу, не учтенным ранее, при постройке плотины. Это привело к! пересмотру проекта плотины под углом зрения современных достижений в области механики грунтов.

Одновременно были произведены гидрологические работы теоретического и практического порядка. Изучение ливневых паводков за период с 1929 по 1936 г., т. е. после проектирования и постройки плотины, а также специальные расчеты, привели к выводу о необходимости устройства водослива большей пропускной способности.

В 1943 г. водослив был расширен. Скала из выемки под расширяемый водослив была уложена уступами на низовом откосе плотины, что повысило его устойчивость (рис. 5).

В результате осадок плотины, сопровождавшихся деформациями и явлениями суффозии, в пределах ее верхней части образовались глубокие трещины и пустоты. Эти трещины и пустоты были заполнены грунтовым раствором (3 части песка на 1 часть глины) под давлением. Гребень плотины был дополнительно досыпан.

### 3. Плотина Александр (Alexander Dam)

(1928—1930 гг.)

Плотина расположена на о. Кеуей, входящем в группу Гавайских островов, и имеет целью создание водохранилища для ирригации.

Плотина расположена в узком каньоне с водонепроницаемыми склонами. Плотина возводилась способом гидромеханизации, так как любой другой способ с присущим ему большим насыщением механизмами был неприемлем вследствие высокой стоимости доставки механизмов к месту работ. Характер основания продиктовал земляной тип плотины.

Плотина — намывного типа с ядром (рис. 6). Ядро занимает среднюю треть плотины в любом горизонтальном сечении. Высота плотины 38,1 м. Длина по гребню 189,0 м. Максимальная ширина в основании 195,0 м. Общий объем 444 тыс. м<sup>3</sup>. В основании низового и верхового откосов устроены каменные призмы, служащие для образования тела плотины в начальный период намыва. Под ядром заложен бетонный зуб. В напорной части в тело плотины входит земляная перемычка высотой 15,2 м.

Основание плотины состоит из водоносного слоя, залегающего между двумя более плотными слоями. Эти слои подстилает скала (водонепроницаемая лава). Общая минимальная толщина залегания мягких грунтов — около 5 м.

Для сопряжения ядра плотины с основанием вдоль ее оси по всей длине была вырыта траншея до скалы. В траншее на ее полную высоту была сооружена бетонная стенка, пазухи которой были заполнены материалом, аналогичным материалу ядра (рис. 6). Грунт обратной засыпки обрабатывался щелочью. Для обработки применялись 20—25 кг соды на 1 т грунта. Обработка грунта содой производилась для повышения его плотности. Предполагалась обработка водой и материала ядра для лучшего осаждения взвешенных частиц при его образовании, но по имеющимся сведениям был обработан только грунт обратной засыпки зуба.

Для сооружения плотины имелись только продукты распада вулканических пород, состоявшие из плотного глинистого материала. Было установлено, что в карьерном грунте отсутствовали прочные частицы, вследствие чего он легко диспергировался в воде при взбалтывании. Грунт карьера содержал 30% частиц мельче 0,005 мм, причем при растирании количество мелочи доходило до 70% (рис. 7). Такое же количество фракций меньше 0,005 мм было обнаружено в материале ядра после намыва. Весьма вероятно, что материал был в значительной степени коллоидальным.

Для обеспечения электроэнергией гидромеханизированных работ была построена ГЭС мощностью 1 500 квт. Питание ГЭС водой осуществлялось через два туннеля сече-

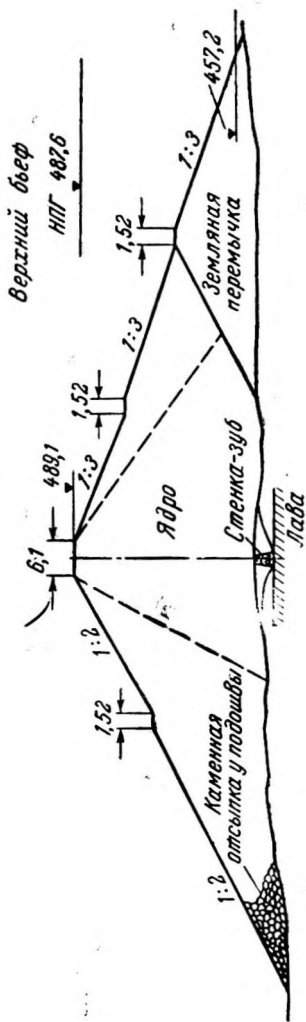


Рис. 6. Типовой профиль плотины Александер.

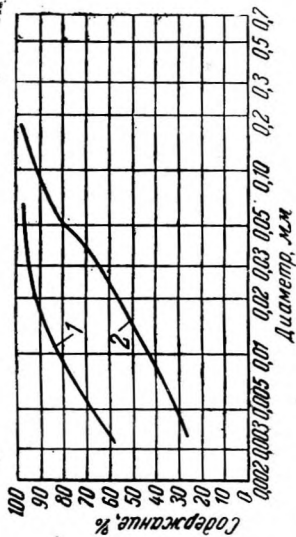


Рис. 7. Кривые гранулометрического состава грунта ядра и карьерного грунта плотины Александер.

1 — грунт ядра; 2 — карьерный грунт.

нием 2,44 X 2,44 м. Эти же туннели служили для пропуска строительных расходов.

Возведение плотины началось с постройки земляной перемычки высотой 15,2 м, которая вошла в состав тела плотины.

После окончания постройки этой перемычки в основании плотины была обнаружена фильтрация. Фильтрация была прекращена посредством устройства зуба в виде бетонной стенки, заложеной до слоя водонепроницаемой лавы. Для зуба экскаватором была вынута траншея по оси плотины. Обратная засыпка траншеи производилась намывным грунтом, обработанным, как об этом уже упоминалось выше, содой. Грунт доставлялся главным образом из большого карьера глинистого материала, расположенного в верхнем бьефе плотины. В карьере грунт разрыхлялся взрывами, что давало крупность частиц, удобную для намыва и не слишком измельченную, как это могло быть при размыве его струей воды. Два гидромонитора производительностью 35 м<sup>3</sup>/ч каждый с напором 31,4 м смывали грунт в деревянный лоток.

Из карьера на плотину грунт поступал самотеком по деревянному лотку, имевшему уклон 3—3,5% и сечение 0,6 X 0,6 м. Дно лотка было покрыто металлическими листами толщиной 3 мм. У плотины лоток разветвлялся на две параллельные ветви для намыва низового и верхового клиньев ее.

На плотину материал подавался размером от 30 см глыб до мельчайших частиц, находящихся в коллоидальном состоянии. При намыве часть материала в виде отдельных окатанных комочков откладывалась на внутренних откосах боковых призм. Концентрация гидросмеси в среднем была равна 12—21%. Разрушение плотины произошло неожиданно, приблизительно в течение полминуты. Когда высота плотины достигла 23 м, низовой откос над каменной призмой выпучился, пришел в движение и опустился вниз в виде потока жидкой грязи. Оползло около 200 тыс. м<sup>3</sup> из общего количества 344 тыс. м<sup>3</sup>, намывных в плотину к моменту оползня.

Причины оползня надо искать в плохой водоотдаче мелкого материала и давлении полужидкой массы ядра на боковую призму, в которой к тому же имелись окатанные комочки глинистого материала.

#### 4. Плотина Коббл-Маунтэн (Coble Mountain Dam)

(1927—1932 гг.)

Плотина расположена в ущелье р. Литтл в штате Массачусетс вблизи г. Уэстфильд и создает водохранилище объемом 84,5 млн. м<sup>3</sup> для системы водоснабжения г. Спрингфильд в Массачусетсе. Высота плотины 80,2 м, длина по гребню 222,5 м и объем 1,07 млн. м<sup>3</sup>.

Плотина возводилась двусторонним способом намыва, имеет ядро и массивные упорные призмы из каменной наброски (см. рис. 8). Верховая каменно-набросная упорная призма отсыпана на высоту 32 м, низовая — на высоту 29 м. Призмы обеспечивают дренаж во время постройки плотины, а низовая призма также и во время эксплуатации плотины и улучшают устойчивость ее откосов. В основании откоса низовой каменно-набросной призмы устроена арочная бетонная стенка высотой 9 м, благодаря которой избегнуто излишнее увеличение ее длины, так как уклон местности ниже по длине реки сильно увеличивается. Эта стенка имеет специальные дренажные отверстия. Откосы плотины пригружены мелким гравием. Между каменной наброской и намывным телом плотины имеется фильтр, выполненный из намываемых грунтов.

Плотина имеет скальное основание, представленное шиферным сланцем. На склонах ущелья скала частично прикрыта слоем наносных грунтов, смытых ливневыми водами с более высоких отметок. Для лучшего сопряжения тела плотины с основанием в границах ядра основание расчищено до здоровой скалы и в нем устроены два бетонных зуба. Первый бетонный зуб расположен по оси ядра и для его выполнения была устроена траншея. Ширина траншеи в русле потока 2,4 м и у гребня плотины 0,6 м.

Бетонный зуб, заглубленный в основание минимум на 1,5 м, тянется вдоль него и заканчивается в склонах ущелья на отметке 290 м, т. е. примерно на 1,2 м ниже гребня плотины.

Второй зуб расположен на расстоянии 9 м от первого в сторону низового откоса и тянется не до гребня плотины, а только до отметки 232 м.

Бетонные зубья выступают над уровнем скалы на 0,9 м. Между ними на расстоянии 8 м друг от друга были пробурены цементационные скважины и через них подстилающая скала зацементирована на глубину 5 м.

Для обеспечения хорошего сопряжения намываемого грунта со склонами ущелья были приняты тщательные меры подготовки скалы не только в пределах ядра. За пределами ядра скальные склоны ущелья были очищены путем смыва гидромониторами; на площади, занимаемой ядром, этот способ не применялся, так как после смыва вдоль склонов ущелья оставалось большое количество крупных камней, могущих повредить сопряжению ядра как с основанием, так и со склонами ущелья. Это обнаружилось, когда стали разрабатывать основание под ядро на склонах ущелья гидромониторами. В дальнейшем разработка котлована под ядро производилась вручную, а в некоторых случаях — Экскаваторами прямая лопата и драглайнами.

Все мелкие трещины в основании ядра были тщательно очищены от грунта. Выбранный грунт укладывался вдоль откосов и размывался. Мелкие частицы уносились в ядро, а крупные образовывали боковые призмы.

Следует отметить, что к возведению плотины сначала подошли весьма упрощенно. Карьеры были недостаточно исследованы и схемы производства работ не продуманы. Результатом этого явилось применение различных способов возведения плотины, хотя в начале работ намечался только намывной способ.

В качестве перемычек для устройства котлована под зубья плотины были использованы верховая каменно-набросная упорная призма и низовая упорная каменно-набросная призма, ограниченная бетонной стенкой в форме арки, имеющая радиус 30 м и, как об этом указывалось ранее, высоту над скальным основанием 9 м.

Вода во время производства работ отводилась посредством строительного туннеля.

Для возведения нижних 20 м по высоте плотины, составлявших 12 тыс. м<sup>3</sup> грунта, был применен намывной способ и грунт в карьере у плотины разрабатывался водой.

Следующая часть плотины высотой свыше 60 м и объемом 950 тыс. м<sup>3</sup> возводилась полунамывным способом с разработкой грунта в пойменных карьерах сухойрыльными снарядами. При этом часть плотины выше отметки горизонта воды в водохранилище, т. е. на высоту 6,4 м, выполнялась насыпным способом.

От транспорта грунта водой пришлось отказаться вследствие неподходящего гранулометрического состава первоначально выбранного карьера, расположенного вблизи плотины на высоких отметках, позволяющих подавать грунт

самотеком и перейти к использованию грунта карьеров, расположенных на низких отметках в пойме.

При разведке карьера у плотины средние анализы образцов из 20 шурфов показали действующий диаметр около 0,01 мм, но при намыве было обнаружено, что этот материал дает больший процент мелких частиц, чем это нужно для образования ядра.

В пойменных карьерах, очевидно разведанных более подробно, чем карьер у плотины, в процессе производства работ грунт тщательно контролировался перед его транспортированием, что позволило подбирать и в случае необходимости смешивать грунты разной крупности из разных участков карьера и в результате получать грунт качества, заданного проектом.

Грунт транспортировали по узкой колее на расстояние более 2,0 км девятью составами по 10—12 платформ каждый (емкость платформы примерно 3—3,5 м<sup>3</sup>) газолиновыми 20-тонными локомотивами.

Погрузка грунта на платформы производилась тремя паровыми экскаваторами прямая лопата типа Марион с емкостью ковша 0,75—1,33 ж<sup>3</sup>.

Грунт из железнодорожных составов разгружался в бункеры-смесители, устанавливаемые на различных отметках по мере повышения плотины. Бункеры были деревянными с дном и стенками, обшитыми листовым железом. Они, имели длину 45,5 м, ширину 5,75 м и высоту 2,42 м, что обеспечивало одновременную разгрузку десяти платформ. Грунт в бункерах-смесителях размывался двумя гидромониторами, установленными в конце бункера, и направлялся в трубопроводы, по которым самотеком транспортировался на плотину. Для намыва применялся двусторонний безэстакадный торцовый тонкослойный способ намыва (рис. 9. Упомянутые выше бункеры-смесители по английски называются «свинными загонами» (hog boxes).

В целях экономии воды и предупреждения загрязнения р. Литгл сбросными водами при водоснабжении работ применялась оборотная вода. Вода в отстойном прудке пополнялась по мере надобности из реки по водоводам Ø 152 мм, уложенным на каждом склоне ущелья. Из прудка-отстойника вода двумя насосами, установленными на понтонах, подавалась к гидромониторам, находящимся в бункерах.

В бункерах проверялось качество грунта, подаваемого составом платформ, что позволяло при несоответствии качества подаваемого грунта проектному немедленно дать

указание о необходимости его изменения. Последнее достигалось регулировкой количества платформ состава, доставляемых из того или другого карьера.

Качество грунта в карьерах было установлено в результате лабораторных исследований гранулометрического состава. В процессе упомянутого выше контроля в бункерах оказалось, что несоответствие в гранулометрических составах было незначительным. Это объяснялось большими запасами мало отличающихся друг от друга грунтов в карьерах, что в свою очередь не влекло за собой резких изменений, принятых комбинаций смесей грунтов отдельных карьеров.

Наблюдение за качеством грунта в бункерах-смесителях производилось инспекторами непрерывно.

Разжиженный в бункерах грунт перед подачей его в плотину направлялся к металлическому грохоту диаметром 712 мм с отверстиями 152X254 мм. Материал мельче этого размера самотеком транспортировался в плотину, а крупнее — спускался по желобу на береговую часть плотины и затем драглайнами перебрасывался на ее откос. Грохот приводился в движение электродвигателями с 8 об/мин.

Максимально достигнутая производительность за 10-часовую смену была 1920 м<sup>3</sup> на экскаватор. За строительный сезон было уложено 742 тыс. м<sup>3</sup> грунта.

3 верхнюю часть плотины ниже горизонта воды в водохранилище грунт подавался железнодорожными составами по путям, проложенным по обеим сторонам плотины.

На плотине на боковых призмах работали легкие драглайны с емкостью ковша 0,4 м<sup>3</sup>. Они забирали гравий, отложившийся у места выпуска гидросмеси и укладывали его за трубопроводами безэстакадного намыва, создавая по внешним границам откосов плотины дамбочки обвалования. Намыв велся попеременно на одной из сторон плотины.

Для рассредотачивания струи гидросмеси при выпуске из трубопроводов устанавливались щиты, обеспечивающие равномерное растекание гидросмеси (рис. 9).

Крупные фракции, увлеченные в ядро общим потоком гидросмеси, выбирались оттуда с помощью драглайнов в баковые призмы плотины. В том случае, когда драглайном невозможно было выбрать эти фракции, брандспойтами, установленными на понтонах, производилось равномерное распределение этих фракций среди мелкозернистых грунтов ядра.

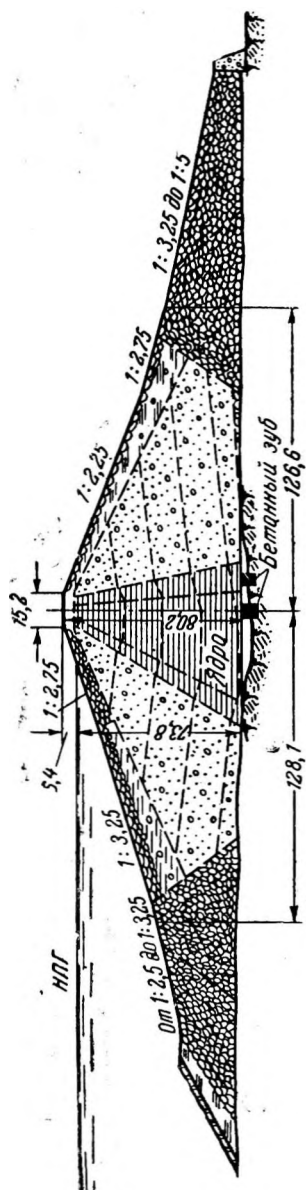


Рис. 8. Типовой профиль плотины Коббл-Маунтэн.

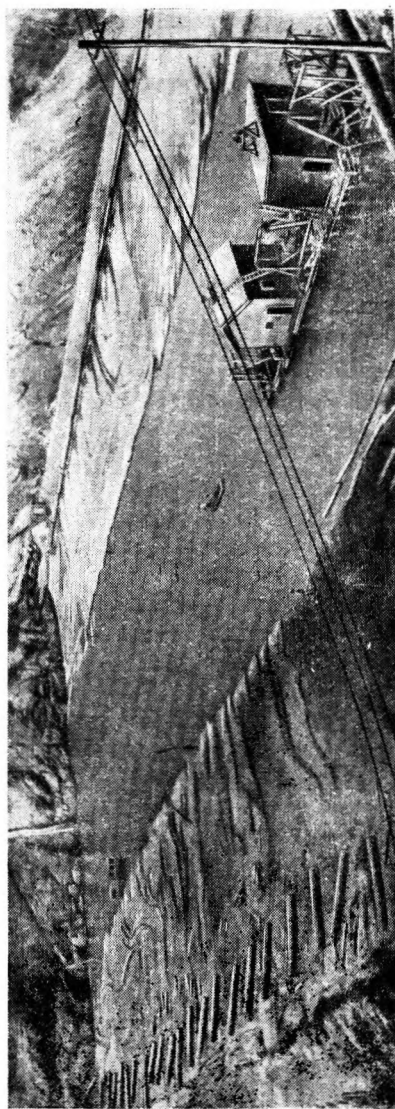


Рис. 9. Безэстакадный намыв плотины Коббл-Маунтэн (фото Ф. Ф. Губина).

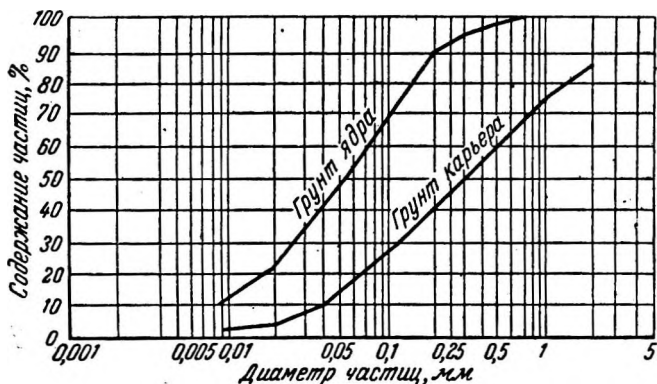


Рис. 10. График гранулометрического состава грунта карьеров и ядра плотины Коббл-Маунтэн.

Грунт карьера, имея удельный вес  $2,72 \text{ т/м}^3$ , состоял из глины, песка и гравия. Содержание в нем мелких фракций вполне обеспечивало достаточно водонепроницаемое ядро (рис. 10). Действующий диаметр грунта карьера был выше  $0,04 \text{ мм}$ .

На плотине велся непрерывный контроль за составом грунтов ядра и боковых призм. Для этого гранулометрический состав грунта контролировался:

- 1) при погрузке платформ в карьерах;
- 2) при выгрузке грунта из платформы и бункеров;
- 3) при выпуске гидросмеси на сооружение;
- 4) при взятии проб грунта из намытого тела плотины.

Систематические наблюдения показали достаточно хорошо выраженную раскладку фракций карьерного грунта в профиле плотины.

Было принято, что допустимым действующим диаметром для зоны ядра является диаметр  $0,005—0,015 \text{ мм}$ . По краям ядра (зона, не затопленная водой прудка-отстойника) действующий диаметр допускался  $0,01—1,1 \text{ мм}$ . Этот размер фракций возрастает к откосам плотины, переходя в наброску, создаваемую экскаваторами.

В результате контроля было установлено, что действующий диаметр грунта ядра был приблизительно равен  $0,08—0,01 \text{ мм}$  и имел незначительные отклонения в сторону его уменьшения. Материал ядра быстро уплотнялся и в нем отсутствовали коллоидальные частицы. В основном ядро состояло из пылеватых частиц.

Для определения плотности ядра применялась стальная

трубка диаметром 37 мм, погружаемая набором гирь весом до 210 кг.

Гидросмесь содержала 7,5% грунта.

При контроле было установлено, что если трубы, транспортирующие гидросмесь, укладывались с 4—5%-ным уклоном, то происходила их закупорка.

Трубы при намыве применялись диаметром 610—810 мм.

## 5. Плотина Эль-Каптэн (Al Captain Dam)

(1933—1934 гг.)

Плотина расположена на р. Сан-Диего в штате Калифорния и предназначена для создания водохранилища в целях улучшения водоснабжения г. Сан-Диего.

Плотина — полунамывного типа с ядром и массивными упорными набросными призмами из рваного камня. Максимальная высота плотины 73,8 м и длина по гребню 366 м. Полный объем, тела плотины 2,5 млн. м<sup>3</sup>. В основании верхового и низового откосов построены бетонные, арочные в плане стенки высотой 15,5 м и длиной 86 м. Боковые призмы плотины пригружены камнем.

Низовой откос хорошо дренировался густой сетью дренажных труб, заложенных до середины намывной части. В первоначальном проекте плотина имела железобетонную диафрагму шириной у основания 0,45 м и у вершины 0,40 м. Диафрагма сопрягалась в основании с зубом и заканчивалась выше гребня плотины, представляя собой парапетную стенку (рис. 11). В рабочем проекте диафрагма отсутствует. Ядро плотины сопрягается с ее основанием посредством зуба, выполненного в виде железобетонной стенки, высотой 8 м. На уровне основания плотины она имеет ширину 0,45 м, возвышаясь над ним на 7,5 м. Стенка сильно армирована (рис. 12). Плотина расположена между двумя зонами довольно частых землетрясений.

В основании плотины залегает нетронутая скала, прикрытая сверху рыхлым аллювиальным слоем мощностью от 7,5 м в русле до 1,5 м на склонах холмов.

Железобетонный зуб заглублен в скалу на 11,5 м. Бетонные стенки в основании откосов также возведены на скале. Перед намывом весь рыхлый грунт в основании плотины был удален.

Карьеры с пригодным материалом для намыва в тело плотины располагались один на расстоянии 400 м и два на расстоянии 2 км от нее. Камень для упорных призм и при-

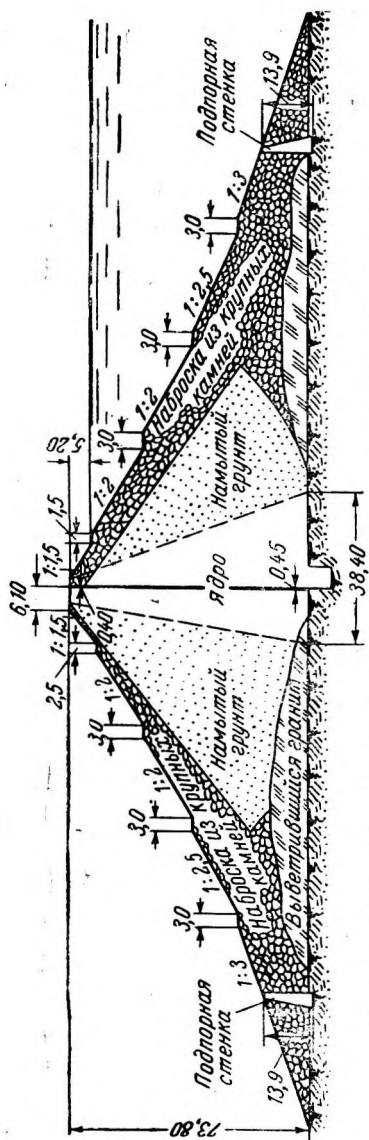


Рис. 11. Типовой профиль плотины Эль-Капэн по первоначальному проекту.

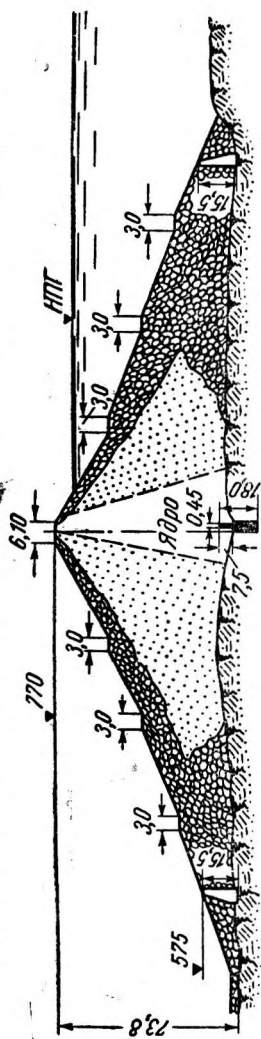


Рис. 12. Типовой профиль плотины Эль-Капэн по окончательному проекту.

грузки боковых призм, представлявший собой выветрившийся гранит, добывался из карьеров, расположенных на правом берегу реки у примыкания плотины, и из выемки под водослив. Из последнего вынута 207 тыс. м<sup>3</sup>. Грунт карьеров был тщательно исследован. Установлено, что он быстро отдает воду и хорошо уплотняется. Около 70% материала проходит через 100-ячейковое сито и 15% представляют собой глину. Объемный вес материала ядра при 38% влажности равен 2,06 т/м<sup>3</sup>. Удельный вес гранита упорных призм и пригрузки боковых призм равен 2,74 т/м<sup>3</sup>.

Грунт в карьерах разрабатывался паровыми экскаваторами прямой лопатой и транспортировался к плотине грузовиками-самосвалами.

Бульдозеры этот грунт передвигали к гидромониторам, вода для которых подавалась из р. Сан-Диего. Расход реки весной и осенью был достаточен для работы гидромониторов. В межень (июль—август) расход реки падал до 80 л/сек, поэтому в этот период для водоснабжения работ использовались грунтовые воды, расположенные близко у поверхности.

Оборудование для подачи воды и размыва грунта состояло из: двух насосов производительностью 85 л/сек каждый, подающих воду к гидромониторам с диаметром насадки 51 мм, и трех насосов производительностью 115 л/сек каждый, подающих воду к гидромониторам с диаметром насадки 76 мм. Все насосы приводились в действие электродвигателями и были установлены на понтонах в прудке-отстойнике.

Давление на вылете струи из насадки гидромонитора изменялось от 3,5 до 4,2 ат. Вода подавалась по металлическому трубопроводу диаметром 200 мм.

Велось тщательное наблюдение за состоянием прудка-отстойника, особенно на низких отметках, когда прудок не покрывал бетонную стенку. Прудок-отстойник был шире теоретических границ ядра Н1а 4,5 м с каждой стороны. Это расстояние было получено в результате наблюдений над осаждением глины под водой, где она ложилась под углом 45°, при глубине воды в прудке-отстойнике 2,5—3,7 м.

Работы велись в две 8-часовые смены. Для пропуска паводка и строительных расходов был построен деривационный туннель.

Водослив рассчитан на пропуск максимального расхода. Средняя производительность намыва была 8 300 м<sup>3</sup>/сутки.

Во время строительства велись непрерывные наблюдения

и исследования материала ядра, Определялись его гранулометрический состав, объемный вес и др.

Строители считают, что благодаря устойчивому поперечному сечению, мощным боковым пригрузкам и водосливу с большой пропускной способностью есть уверенность в устойчивости плотины во время землетрясений и паводков.

Никаких сведений об авариях на плотине во время строительства или эксплуатации нет, хотя данные об авариях на плотинах до 1935 г. опубликованы.

## 6. Плотина Сердис (Sardis Dam)

(1935 г.)

Плотина расположена на р. Литтл Теллекетчи, впадающей в р. Яцу — приток р. Миссисипи, в 50 км к югу от Теннессиjsкой железной дороги в г. Мемфис штата Теннесси. Ближайшими к плотине городами являются: Сердис и Бэйтовил, находящиеся на железной дороге, причем первый в 10,4 км и второй в 17,6 км от плотины. С г. Бэйтовил она соединена специально проложенной дорогой.

После плотины Форт Пек и Кингсли эта плотина является самой большой намывной плотиной США.

Водохранилище простирается вверх по долине на расстояние 48 км от плотины, покрывая площадь 23,8 тыс. га. Полная емкость водохранилища 1,93 млрд. м<sup>3</sup>, полезный регулирующий объем 1,82 млрд. м<sup>3</sup>, или 94% емкости водохранилища, и мертвый объем 114,0 млн. м<sup>3</sup>. Площадь затопления, соответствующая мертвому объему водохранилища, равна 3,970 га. Расчистка водохранилища намечена была до отметки на 1,52 м выше минимального горизонта воды в нем. Остальная часть зоны затопления оставляется без расчистки. Водохранилище указанной емкости может полностью зарегулировать самый большой из зарегистрированных паводков, проходящих в створе плотины.

Нормальный сброс воды из водохранилища обеспечивается регулирующими сооружениями, установленными в южном примыкании плотины. Характерной особенностью этих сооружений служит то, что облицовка подводящего канала, находящегося большей частью ниже определенного уровня воды в водохранилище, выполнена из плотно уложенного грунта.

Башня управления затворами имеет четыре прямоугольных затвора, перекрывающих отверстие прямоугольного

сечения, постепенно переходящее в подковообразный трубопровод размерами 5,54X3,86 м, проходящий сквозь плотину.

Паводковые воды сбрасываются через водослив, предусмотренный в северном примыкании плотины. Этот водослив построен в виде лотка без затворов на гребне.

Длина криволинейного в плане водослива равна 121,60 м; гребень его лежит на отметке 86,0 м и при максимальном паводке будет пропускать расход 3 709 м<sup>3</sup>/сек. Сбрасываемые воды попадают в реку примерно в 1,6 км ниже плотины. Компановка узла сооружений приведена на рис. 13.

Общий объем плотины 12,72 млн. м<sup>3</sup>, из которых 10,56 млн. м<sup>3</sup> относятся к намыву. Общая длина плотины и примыкающих дамб по гребню равна 4 438 м при отметке его 95,2 м. Максимальная высота сечения в русле 35,70 м. Сечение главной плотины в русле реки (рис. 14) отличается от типового сечения (рис. 15) наличием водонепроницаемой подушки в пределах русла реки под плотинной. На чертежах поперечных сечений плотины показана одежда верхового и низового откосов (рис. 14 и 15). Она потребовала для устройства 75 350 м<sup>3</sup> гравия для гравийного покрытия и 140 тыс. м<sup>3</sup> камня для каменной наброски.

Плотина с ядром намывалась до отметки на 3,05 м ниже ее гребня. Верхняя часть плотины («шапка») — насыпная.

Дренаж плотины трубчатый. Он выполнен в виде продольной магистральной дрены из перфорированной металлической трубы диаметром 450 мм, защищенной гравийным фильтром, и отводящих дрен из звеньевых рифленых металлических труб диаметром 610 мм (рис. 16). Трубы уложены на специально расчищенном основании под низовым откосом плотины (рис. 15 и 16). Для этой расчистки потребовалось вынуть экскаваторами 684 тыс. м<sup>3</sup> грунта.

Карьер для возведения плотины расположен в нижнем бьефе, и его грунты представлены песком и илом с небольшим содержанием глины.

Строительные работы состояли из подготовки котлована главной плотины и собственно возведения главной плотины, примыкающих дамб, водосброса и водослива.

Намывная, часть плотины представлена двумя береговыми секциями и одной замыкающей.

Объем намывных работ равен в северной береговой секции плотины 4,96 млн. м<sup>3</sup>, в южной — 4,44 млн. м<sup>3</sup> и в замыкающей части 1,16 млн. м<sup>3</sup>.

Объем работ по насыпной части земляной плотины представлен 2,80 млн. м<sup>3</sup> выемки и 2,16 млн. м<sup>3</sup> насыпи.

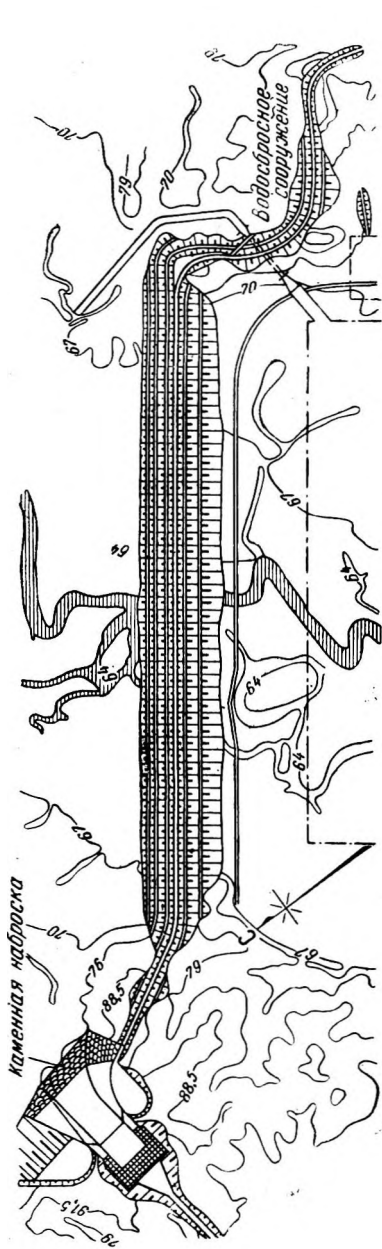


Рис. 13. План плотины Сердис

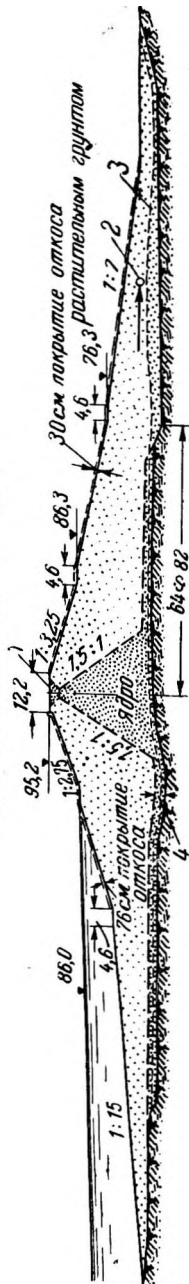


Рис. 14. Типовой профиль главной плотины Сердис в русле реки.  
 1 — шанка; 2 — трубчатый дренаж; 3 — песчаная насыпь; 4 — водонепроницаемая годушка.

Строительное оборудование состояло из мощных экскаваторов-драглайнов, грейдеров-элеваторов, тракторных прицепов, грузовиков, шиповых катков, тракторов и скреперов, т. е. представлено почти всеми типами землеройных и транспортных машин.

По основной схеме после постройки перемычки работы развивались от южной секции; отсыпались большие южные дамбы, производилась вскрыша котлована на северном примыкании и велась прокопка траншей — подготавливалось основание южной секции намывной части плотины.

Намыв начался с южной секции, затем намывалась северная секция с оставлением части русла реки для пропуска строительных расходов. Эта часть русла замывалась в последнюю очередь, после готовности сбросных сооружений. От русла реки обе секции отделялись поперечными дамбами, возводимыми насыпным способом. Сечение дамб выполнялось таким образом, чтобы в пределах намывного ядра они имели грунты соответствующего ему гранулометрического состава. Дамбы возводились постепенно, по мере роста намывных секций плотины.

Грунты для намыва разрабатывались и подавались землесосными снарядами из карьера, расположенного в нижнем бьефе плотины. Землесосные снаряды были собраны на месте. Они оборудованы двумя электрическими землесосами мощностью 3 600 л. с. с 430 мм всасывающей трубой и с 650 мм — нагнетающей.

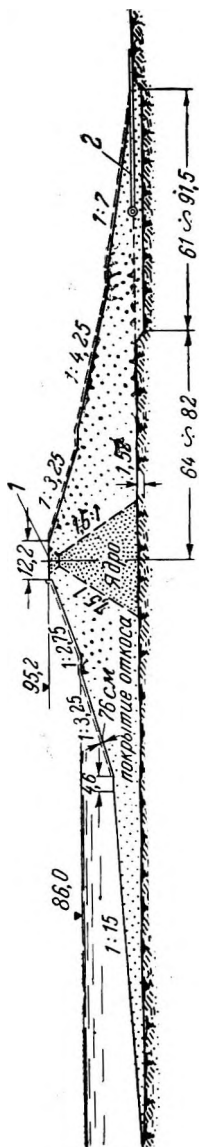


Рис. 15. Типовой профиль главной плотины Сердис.  
1 — шапка; 2 — трубчатый дренаж.

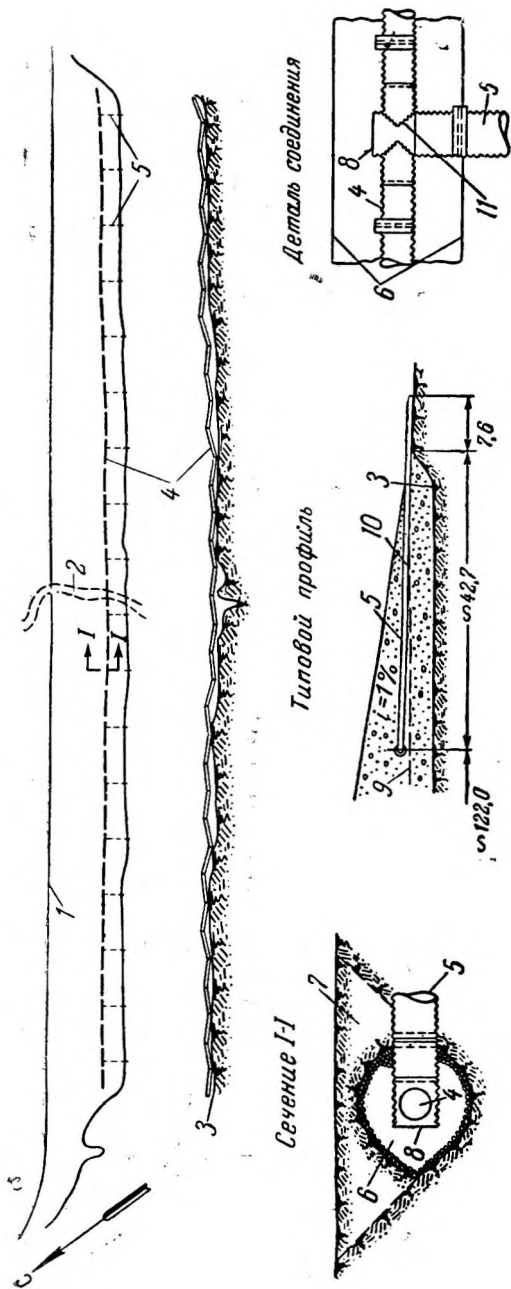


Рис. 16. Дренажная система в основании низового откоса плотины Сердис.

1 - ось плотины; 2 — русло р. Литтл-Теллекетчи; 3 — основание низового откоса; 4 — перфорированная металлическая звеньевая труба 0 450 мм; 5 — рифленые металлические звеньевые трубы 0 610 мм; 6 — гравийный фильтр; 7 — обратная засыпка; 8 — пробка; 9 — естественная поверхность грунта; 10 — песчаная насыпь; 11 — клепаные швы.

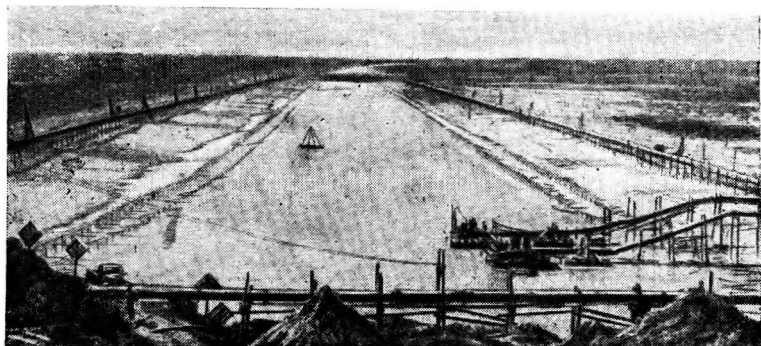


Рис. 17. Вид намыва плотины Сердце.

На каждой секции 610-мм трубопроводы были уложены по периметру, образуя кольцо (рис. 17). Регулирование выпуска гидросмеси при намыве осуществлялось вентилями. Из прудка-отстойника осветленная вода удалялась насосами, установленными на понтонах.

Сухим способом, как указывалось выше, выполнялся достаточно большой объем работ. Большая часть его падает на сооружение дамб, подготовку основания главной плотины, состоящую не только в планировочных работах, но и выемке для дренажа нижнего бьефа, работы по сооружению водослива.

Требования для укладки и уплотнения насыпи были обычными. В насыпи грунт распределяется слоями 15,2 см с поверхностным рыхлением их. Каждый слой уплотняется шиповыми катками при оптимальной влажности. Степень уплотнения устанавливалась плотномером-иглой.

На строительстве были применены шиповые катки весом до 0,5 т с тракторной тягой. Катки имели шипы длиной 17,8 см в количестве двух шипов на 0,09 м<sup>2</sup> укатывающей поверхности. Катки делали не менее шести проходов. В непроходимых по площади для катков местах уплотнение грунта производилось механическими трамбовками. При этом уплотняемые слои имели толщину 5 см.

## 7. Плотина и дамба Квэббин (Quabbinne Dam and Dike) (1935—1938 гг.)

Плотина и дамба Квэббин входят в гидротехнический комплекс сооружений, создающий водохранилище Квэббин, емкостью 1,896 млрд. м<sup>3</sup>, расположенное в штате Масачусеттс.

сетс. Плотина построена на р. Свифт, а дамба — на ручье Бивер и служат для улучшения водоснабжения г. Бостон.

Плотина и дамба выполнены намывными с ядром.

Плотина имеет длину 800 м, высоту 50 м и объем намывного грунта 2,7 млн. м<sup>3</sup>.

Дамба имеет длину 653 м, ширину по основанию 246 м, ширину по гребню 9 м, высоту 41,2 м. Ядро дамбы выполнено с шириной по основанию 30,5 м и у гребня 4,26 м. Объем грунта, уложенного в дамбу намывным способом, составляет 1,6 млн. м<sup>3</sup>.

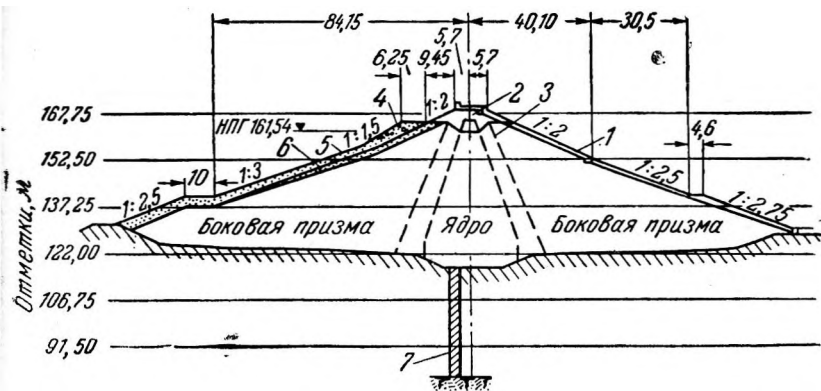


Рис. 18. Типовой профиль плотины Квеббии.

1 — слой растительного грунта; 2 — шапка, возведенная сухим способом; 3 — границы пруда-отстойника; 4 — наброска из крупного камня;

5 — наброска из мелкого камня; 6 — щебень; 7 — кессонный зуб.

Поперечный профиль плотины изображен на чертеже (рис. 18). Плотина имеет кессонный зуб, сопрягающийся с намывным ядром. Верховой откос плотины выполнен с уклоном 1 : 1,5 — 1 : 3 и имеет одну берму. Его одежда состоит из наброски мелкого камня, дополнительно усиленной в зоне колебания горизонта воды в водохранилище наброской из крупного камня.

Низовой откос имеет уклон 1 : 2—1 : 2,75 и прикрыт слоем растительного грунта.

Конструкция профиля дамбы несколько отличается от конструкции профиля плотины (рис. 19).

В основании боковых призм дамбы насыпным способом уложена подушка из водопроницаемого материала.

\* Объемы приведены по данным Engineering News Record; по данным Pг. A. S. tng., плотина имеет объем 3,1 млн. м<sup>3</sup> и дамба 1,910 млн. м<sup>3</sup>.

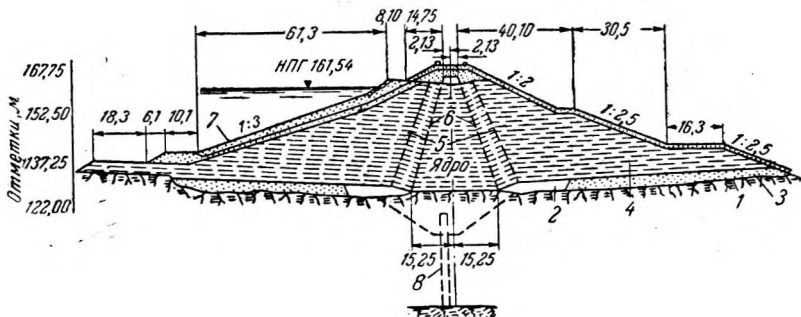


Рис. 19. Типовой профиль дамбы Квеббин.

1 — естественная поверхность грунта; 2 — подушка из глинистого грунта; 3 — подушка из водонепроницаемого грунта; 4 — боковая призма; 5 — границы прудка-отстойника; 6 — линии откосов ядра; 7 — отсыпка из мелкого камня и щебня; 8 — кессонный зуб.

Дамба выполнена с перемычками, вошедшими в ее тело.

Кессонный зуб глубиной 36 м и замок из водонепроницаемого грунта, уложенного насухо, сопрягают ядро с глубоко залегающими водонепроницаемыми слоями основания.

Верховой откос с уклоном 1:2 — 1:3 покрыт мелким отсортированным материалом и щебенкой. На уровне горизонта воды в водохранилище щебенка пригружена крупным камнем.

Низовой откос имеет уклон 1:2 — 1 : 2,5 и на переломах две бермы. Одеждой откоса служит гравийная отсыпка. Откос дренирован гончарными трубами диаметром 30 см, соединяющимися с коллекторами, уложенными в основание откосов на бермах.

По гребню дамбы идет дорога, проезжая часть которой покрыта битумом.

Выше уровня верхнего бьефа дамба возведена насухо (на 6,1 м). Ядро дамбы не доходит до гребня на 3 м (рис. 20).

До намыва тела плотины был построен обходной туннель для отвода реки, опущен кессон под ядром до скалы и подготовлено основание.

Обходной туннель в период эксплуатации водохранилища служит для его опорожнения.

Грунт в тело плотины подавался гидравлическим способом от приемного бункера-смесителя системой ленточных транспортеров, состоявшей из шести единиц, на которые он поступал при разработке трех карьеров сухим способом.

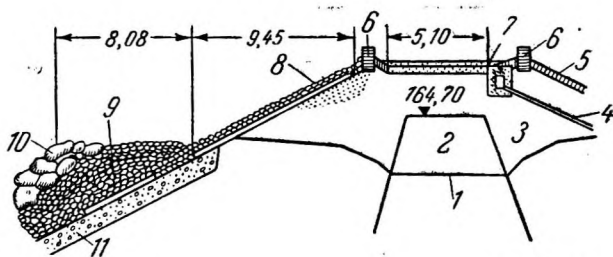


Рис. 20. Детали конструкции гребня дамбы Квебий.

- 1 — гребень намытого ядра; 2 — насыпная часть ядра; 3 — шапка, возведенная сухим способом; 4 — гончарная дренажная труба,  $d = 0,30$  ж; 5 — гравий слоем  $0,30$  м; 6 — каменный парапет; 7 — проезжая часть; 8 — камень; 9 — щебень; 10 — крупный камень; 11 — отсортированный крупный грунт.

Эти карьеры состояли из двух нижних, представляющих собой одну обширную площадку на отметке 126,5, и верхнего на отметке 183,0 м (рис. 21).

Длина всей системы транспортирования превышала 800 м. Организация работ в нижних карьерах была различной.

В одном карьере работали два дизельных экскаватора с ковшами емкостью  $1,5$  м<sup>3</sup>. Работа велась в забое высотой 12,0 м. Экскаваторы грузили грунт непосредственно в бункеры, передвигавшиеся по рельсам. Из бункеров грунт поступал на 900-мм передвижной ленточный транспортер длиной 213 м, имевший скорость движения ленты 1,77 м/сек. Поддерживающая рама транспортера была разделена на секции длиной 12,0 м с гибкими соединениями. Каждая секция смонтирована на деревянных козлах. Передвижка секций производилась бульдозером. Два бункера, передвигавшиеся по рельсам, были связаны с рамой транспортера и снабжены ленточными питателями длиной 1,8 м с шириной ленты 600 мм.

Транспортер передвигался параллельно фронту разработки в соответствии с ходом экскаваторов. Без передвижки транспортер подавал свыше 38 тыс. м<sup>3</sup> грунта. Передвижка транспортера длилась около 1 ч.

Другой карьер разрабатывался шестью скреперами, из которых четыре были емкостью  $7,6$  м<sup>3</sup> и два  $5,4$  и  $3,8$  м<sup>3</sup>; передвигались они тяжелыми дизельными тракторами.

Скреперами загружали грунт в бункер, помещенный в

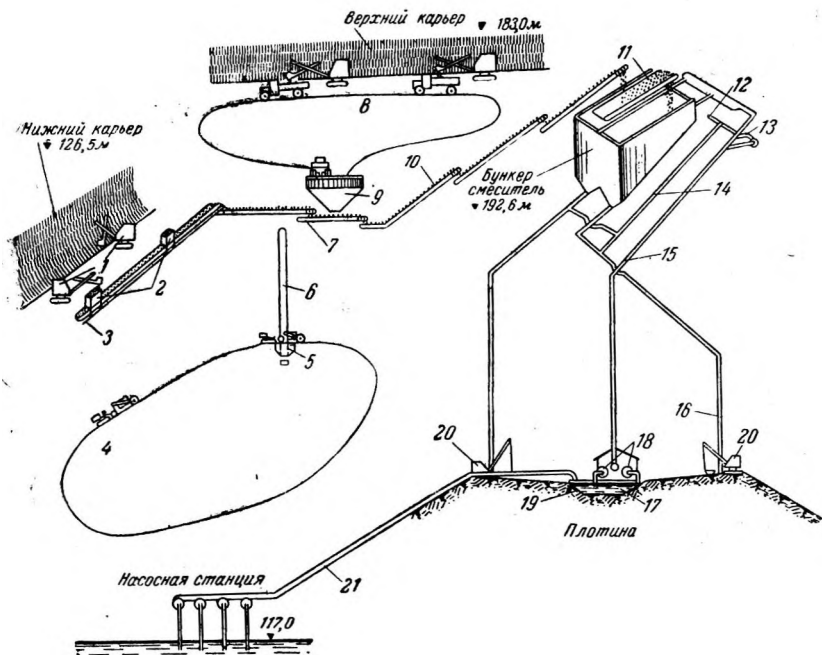


Рис. 21. Схема организации работ по намыву плотины Квеббин.

- 1—дизельные экскаваторы прямая лопата с емкостью ковша  $1,5 \text{ м}^3$ ;  
 2— бункеры, передвигающиеся на рельсах; 3 — передвижной ленточный транспортер размерами  $218 \text{ 000} \times 900 \text{ мм}$ ; 4 — четыре скрепера емкостью  $7,6 \text{ м}^3$ , один скрепер емкостью  $3,8 \text{ м}^3$  и шесть тракторов;  
 5 — бункер, обслуживаемый скреперами; 6 — скрепер-конвейер размерами  $152 \text{ 000}^1 \times 900 \text{ мм}$ ; 7 — питатель размерами  $7 \text{ 100} \times 1 \text{ 370} \text{ мм}$ ;  
 8— восемь 5-г автомашин и два 1,5-ж3 дизельных экскаватора — прямая лопата; 9—бункер, обслуживаемый автомашинами; 10— главный транспортер размерами  $260 \text{ 000} \times 1 \text{ 070} \text{ мм}$ , состоящий из трех секций;  
 11 — трясун размерами  $12000 \times 1070 \text{ мм}$ ; 12 — трубопровод к разбрызгивателям; 13 — бустер-насос ( $195,10 \text{ м}$ ); 14 — грунтопровод  $\text{Ø} 510 \text{ мм}$ ;  
 15 — водовод  $\text{Ø} 710 \text{ мм}$ ; 16 — грунтопровод  $\text{Ø} 510 \text{ мм}$  частично с резиновой футеровкой; 17 — прудок-отстойник; 18 — плавучая насосная станция, представляющая собой баржу и оборудованная насосами  $Q = 0,25 \text{ м}^3/\text{сек}$ ;  
 20 — экскаватор-драглайн с емкостью ковша  $0,76 \text{ м}^3$ , обслуживающий безэстакадный намыв плотины; 21 — напорный водовод,  $l=244 \text{ м}$ ,  $\text{Ø} 400 \text{ мм}$ , подающий воду в прудок-отстойник.

конце 152-м «скрепер-конвейера» с шириной ленты  $900 \text{ мм}$ , работавшего со скоростью  $1,9 \text{ м/сек}$ .

Транспортеры разгружали грунт из обоих карьеров на стационарный ленточный транспортер длиной  $180 \text{ м}$  с шири-

ной ленты 900 мм, работавший со скоростью 1,75 м/сек. Этот транспортер подавал грунт на 1 370-мм ленточный питатель, имевший длину 7,10 м. Питатель был расположен центрально по отношению к нижним и верхним карьерам. Он был снабжен мотором с переменным числом оборотов. Скорость ленты питателя могла меняться от 0,25 до 0,37 м/сек, а производительность — соответственно от 500 до 940 м<sup>3</sup>/ч.

В верхнем карьере работали два 1,5-м<sup>3</sup> дизельных экскаватора при высоте забоя 4,5—6,0 м. Высота забоя ограничивалась нижележащим непродуктивным слоем.

Экскаваторы грузили грунт в 4-кубометровые автомобили, которые подвозили его к бункеру, установленному над питателем. Емкость бункера была равна 24,5 м<sup>3</sup>. Помощью наклонной решетки, помещенной над бункером, удалялись все камни размерами свыше 230 мм. 800-метровая дальность транспортирования грунта от карьера до бункера позволяла машинам делать по 4 оборота в час.

В начальный период работ, когда транспортеров в нижнем карьере не было, в нем работали скреперы и 6-кубометровые тракторные прицепы, которые разгружали грунт в тот же самый бункер. Тракторные прицепы нагружались двумя дизельными экскаваторами, позднее обслуживавшими ленточные транспортеры.

От ленточного питателя на отметке 138,10 м грунт по наклонному главному транспортеру с подъемом в 24% поступал в бункер-смеситель, помещенный на отметке 192,6 м.

Наклонный главный ленточный транспортер со скоростью ленты 2,9 м/сек и шириной 1 070 мм был разделен на три секции, каждая с мотором 150 л. с. В разгрузочном конце первой секции был установлен трясун с решеткой для отделения камней размером свыше 230 мм.

У бункера-смесителя грунт перегружался с главного транспортера на транспортер-трясун шириной 1 070 мм. Последний разгружал грунт через раздвоенный желоб в бункер, имея скорость движения ленты 2,79 м/сек. Передвижная заслонка на желобе позволяла отгружать материал в желаемую сторону.

Бункер-смеситель длиной 13,4 м и шириной 4,0 м был выполнен из дерева на бетонном основании. Он был разделен на две продольные камеры. Каждая камера обслуживала линию транспорта грунта к одному из откосов плотины.

Днище камер имело уклон 1 : 4 и было обшито 13-мм

листовым железом. Бока бункера внизу обшивались железом, а выше — резиной толщиной 9,5 мм. Вода в бункер поступала из отстойного прудка в верхний конец каждой камеры через 76-мм сопло и два колена диаметром 150 мм и длиной 2,4 м, питавшие каждый четырнадцать 25-мм разбрызгивателей.

Грунт, падающий с трясина, разбивался струями воды и хорошо перемешивался перед тем, как опорожнить низ камеры бункера-смесителя через 900—500-лш переходный патрубок, соединенный с грунтопроводом, по которому в разжиженном состоянии он самотеком поступал на плотину. Вертикальная решетка из арматуры предохраняла трубы от попадания в них; крупных камней.

На рис. 21 показана схема производства работ по возведению плотины.

Количество воды, поступавшее в камеры, регулировалось гидравлически действовавшими клапанами. В сопле и в разбрызгивающих устройствах поддерживалось давление 1,8 ат.

Если необходимо было повысить давление в сопле и увеличить скорость прохождения гидросмеси в начале грунтопровода, то применялся бустер-насос.

Из прудка-отстойника вода в бункер-смеситель подавалась пятью электронасосами с производительностью 0,25 м<sup>3</sup>/сек каждый и напором 84,0 м, установленными на деревянной барже. Оголовки всасывающих труб были опущены на 1,8 м в воду и помещались в двух закрытых приемниках, имевшихся с каждой стороны баржи.

Для поддержания необходимого горизонта воды в прудке-отстойнике выше по течению реки на расстоянии 150 м от намываемой плотины была построена насосная станция, состоявшая из четырех насосов общей производительностью 0,88 м<sup>3</sup>/сек. Вода забиралась из реки и подавалась по 400-мм трубопроводу в прудок-отстойник через успокоитель в виде ящика.

Намыв велся попеременно, с каждой стороны плотины безэстакадным торцовым тонкослойным способом. Гидросмесь выпускалась из торца трубы и распределялась путем наращивания и укорачивания ее звеньев. Драглайн с емкостью ковша 0,76 м<sup>3</sup> использовался для наращивания и отключения звеньев труб (которое осуществлялось без перерывов в подаче гидросмеси) и на устройстве обвалования. Последнее возводилось из крупных фракций грунта, откладывавшихся у торца трубы.

Регулировка потоков гидросмеси на пляжах намыва осуществлялась посредством деревянных щитов.

Консистенция гидросмеси была равна 6%.

Дамба возводилась несколько иным способом. По конструкции профиля она отличается от плотины тем, что в ее основании в границах боковых призм уложены сухим способом подушки из грунта, отвечающего по своему гранулометрическому составу грунту боковых призм, а в границах промежуточной зоны — подушки из глинистого грунта. Выбор приемлемого варианта организации производства работ зависел от объема и вида подготовительных работ к намыву. Эти работы состояли из устройства насыпным способом зуба в основании дамбы под ядром и подушек из глинистого грунта объемом 134 тыс.  $m^3$ ; а также в укладке насыпным способом подушек из крупнозернистого грунта в основании боковых призм в объеме 76,5  $m^3$  и заготовке

106 тыс.  $m^3$  камня и щебня для крепления откосов. Удобнее всего эти работы было выполнить грузовиками и тракторными прицепами к ним, чтобы в дальнейшем при намыве можно было их использовать на разработке грунта в карьере. Карьер разрабатывался четырьмя экскаваторами (два электрических и два дизельных) с емкостью ковша 1,35  $m^3$ , двенадцатью 4,6  $m^3$  тракторными прицепами, переоборудованными для транспортирования 6,2  $m^3$  грунта, и тремя 4,6  $m^3$  грузовиками-самосвалами. Один из экскаваторов с обслуживавшим его транспортным оборудованием разрабатывал в карьере только песок. Из карьера грунт подавался к питателям и вращающемуся грохоту в виде барабана, а затем в бункер-смеситель, где он перемешивался водой. От бункера гидросмесь по напорным трубам подавалась на дамбу. На грохоте отделялись камни крупнее 203 мм, составлявшие 10% всего материала. Камни шли в каменную наброску.

Консистенция гидросмеси достигала 13—15%.

Напорная подача гидросмеси на дамбу была вызвана тем, что она позволяла обойтись одной установкой бункера-смесителя без его переноса. Высотное положение карьера было таково, что при варианте самотечного транспортирования оно обеспечивало только 4%-ный уклон, что вызвало сомнение в возможности успешного применения самотечного транспорта гидросмеси по трубам. Для перекачки гидросмеси был установлен 20 землесос.

Землесос имел производительность 400  $m^3/ч$  по грунту и статический напор 18,3 м. Приводился он в движение элек-

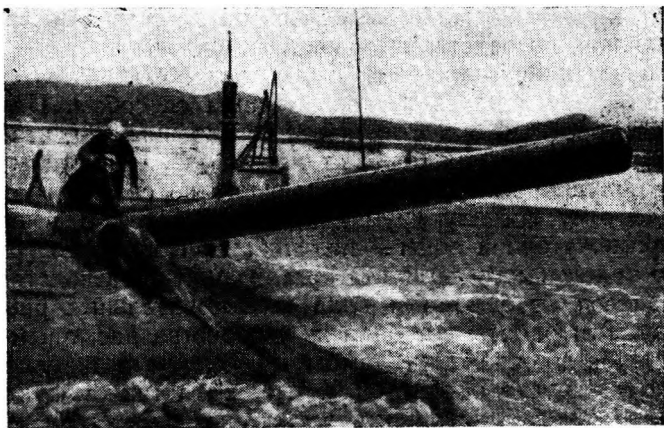


Рис. 22. Нарращивание звена трубы при безэстакадном намыве дамбы Квеббин.

тродвигателем мощностью 1000 л. с. От землесоса был проложен трубопровод длиной 760 мм и диаметром 510 мм. Полный максимальный напор, учитывая потери на вход, высоту подъема и потери на трение, составлял 56,6 м.

В бункер-смеситель вода подавалась из прудка-отстойника двумя насосами, установленными на барже. Трубопровод диаметром 610 мм шел от насосов к бункеру-смесителю, находившемуся у западного примыкания дамбы.

От бункера гидросмесь по трубопроводу диаметром 510 мм поступала на обе стороны дамбы. Намыв велся безэстакадным торцовым тонкослойным способом попеременно на каждой стороне дамбы. В месте разветвления трубопровода имелись задвижки, позволяющие направлять гидросмесь в любую трубу. Трубопровод, из которого производился выпуск гидросмеси на дамбу, состоял из 6-метровых звеньев стальных сварных труб на быстроразъемных соединениях (рис. 22).

Намыв осуществлялся в направлении от одного конца дамбы к другому и обратно! слоями толщиной 15 см. В зависимости от хода намыва трубопровод удлинялся или укорачивался на одно 6-метровое звено. В начале намыва трубы укладывались на эстакадах, но после того как были созданы пляжи намыва,— на деревянных подкладках под каждым соединением. Гидросмесь выпускалась из торца трубы до тех пор, пока уклон пляжа намыва позволял про-



Рис. 23. Укорачивание трубопровода при беззастадном намыве дамбы Квеббин.

изводить намыв из данного звена трубы. Затем труба наращивалась на следующее звено.

Трубопровод все время имел уклон 0,5% в сторону выпуска гидросмеси. Распределение гидросмеси по намываемой поверхности регулировалось деревянными щитами.

Вдоль трубопровода передвигался драглайн, осуществлявший перекладку труб, а также отсыпку дамбы обвалования.

Трубопровод монтировался и разбирался без прекращения намыва (рис. 23).

Карьеры для намыва плотины и дамбы были представлены разнообразными грунтами.

Грунты нижних карьеров плотины состояли из переотложенных наносов с прослойками песка и гравия и линз скальных пород. Верхний карьер состоял из неравномерных слоев аллювия (рис. 24).

Грунты карьера дамбы представляли трудно разрабатываемую породу из гравия, песка и пыли с большим количеством валунов разных диаметров.

Карьеры разведывались по 120-метровой сетке скважин и шурфов. Скважины разбуривались 63-мм трубами. Шурфы имели глубину 1,0—3,0 м.

Скважины бурились на глубину, определяющую толщину слоя отложений. Из каждой скважины отбирались образцы грунта через 1,5 м по высоте. Образцы, отобранные

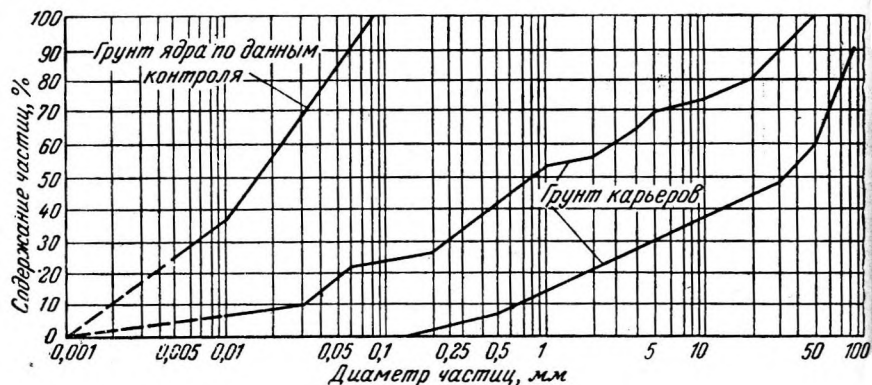


Рис. 24. График гранулометрического состава грунтов карьеров для намыва плотины Квеббин.

из скважин и шурфов, подвергались лабораторным испытаниям на предмет определения гранулометрического состава, пористости и коэффициента фильтрации.

Участки карьера, которые по лабораторным испытаниям оказывались годными к разработке для намыва, подвергались дальнейшим исследованиям при помощи экскаваторных выемок. Эти выемки устраивались в косогоре в одном или двух характерных местах карьера. Эскавация каждой выемки продолжалась внутрь косогора до получения забоя высотой 6—9 м. Устройство таких опытных выемок являлось весьма удовлетворительным средством для характеристики имевшихся в карьере материалов.

Материал из некоторых выемок был испытан в опытном лотке. Грунт смывался вниз по лотку водой из насадки пожарного брандспойта, в результате чего происходила раскладка его на фракции.

Строители полагали, что эта опытная раскладка в лотке происходит аналогично раскладке при намыве и что в результате опытной раскладки можно получить характеристику грунта отдельных частей плотины.

В процессе намыва сооружений производился весьма тщательный контроль за укладкой материала. Пробы намывного грунта отбирались в боковых призмах и ядре.

Для наблюдения и взятия образцов из любой глубины ядра был сооружен вертикальный колодец диаметром 914 мм из листового железа с толщиной стенок 12,7 мм. В этом колодце на разных горизонтах были устроены отверстия, из которых через постоянные интервалы времени

(около 1 мес.) отбирались пробы. Для проб определялись гранулометрический состав и пористость. Результаты этих определений показали, что скорость уплотнения грунтов во время намыва происходит по определенному закону.

Пробы, отобранные из боковых призм, подвергались лабораторным испытаниям на срез.

Кроме того, путем зондировок на поперечниках устанавливалась визуально степень уплотнения грунта в процессе намыва.

В результате намыва оказалось, что боковые призмы сложены крупным гравием, ближе к середине — песком, крупность которого к центру уменьшается. Ядра состоят из мелких пылеватых частиц с некоторым количеством хорошо уплотнившейся глины (рис. 24).

## 8. Плотина Форт Пек (Fort Peck Dam)

(1933—1939 гг.)

Плотина расположена на р. Миссури в штате Монтана. Приток Миссисипи, р. Миссури имеет в пределах США протяжение около 3 800 км с общим падением на этом протяжении примерно 1 100 м. Сток воды, в среднем равный  $2\,750\text{ м}^3/\text{сек}$ , подвержен большим колебаниям в пределах  $500\text{—}25\,000\text{ м}^3/\text{сек}$ .

Построена плотина в целях энергетических; улучшения судоходных условий р. Миссури от г. Сиу-Сити до г. Сан-Луи, регулирования стока реки и ирригации 7 200 га. Плотина создает водохранилище площадью около  $1000\text{ км}^2$ , шириной до 25 км и емкостью 24,1 млрд.  $\text{м}^3$ .

План узла сооружений показан на рис. 25.

Плотина намывная с ядром и гравийными упорными призмами (рис. 26). Максимальная ее ширина вместе с упорными призмами в русле реки равна 876,3 м. Обе призмы представляют собой отсыпку из гравия размером 12,6—152 мм.

Верховая гравийная упорная призма имеет наибольшую ширину по низу 64,9 м, наибольшую высоту 18,3 м и ширину по гребню 9,15 м.

Низовая гравийная упорная призма в максимальном сечении имеет ширину по низу 140 м, высоту 24,4 м и ширину по гребню 15,24 м.

\* Eng. News Record, т. 122, 1939.

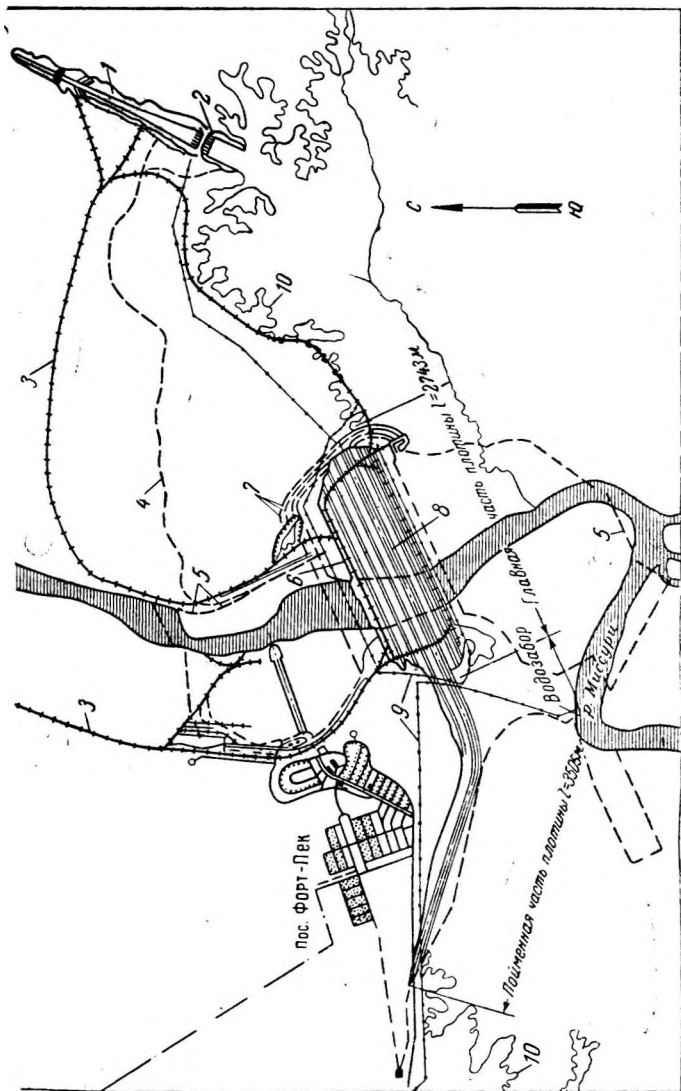


Рис. 25. План узла сооружений, создающих водохранилище Форт Пек.

1 — водослив; 2 — затворы; 3 — железнодорожная ветка; 4 — дорога; 5 — граница карьера; 6 — временный мост для подвозки гравия; 7 — деривационные туннели,  $d = 7,7$  м; 8 — стальная шпунтовая диафрагма, забитая вдоль оси плотины до твердых сланцев; 9 — линия электропередачи к землесосным сямрядам; 10 — урез воды водохранилища.

Наибольшая высота плотины 73,8 м и ширина по гребню 30,5 м.

Общая длина сооружения 6 248 м, из которых: длину 2 743 м имеет главная плотина и длину 3 505 м — пойменная часть плотины.

Верховой откос плотины выполнен с тремя бермами шириной 9,15 м каждая и имеет уклон 1 : 3,4—1 : 23 с преобладанием первого и близкого к нему, но несколько большего значения уклона.

Низовой откос более уположен и имеет уклон 1 : 5—1 : 11 с преобладанием промежуточного значения уклона 1 : 7,7, и также имеет три бермы шириной 9,15 м.

Ядро плотины, намытое из грунта, характеризуемого действующим диаметром менее 0,0054 мм, выполнено с уклонами откосов: верхового — 1 : 0,67 и низового — 1 : 1 и занимает 20% всего объема плотины. Оно перекрывает верх шпунта на 6,1 м.

Типовой проектный профиль плотины изображен на рис. 26. Он несколько обжат по сравнению с осуществленным. Последнему отвечают приведенные выше значения уклонов откосов. Распластывание профиля плотины произошло в связи с оползнем.

Масштаб работ по строительству плотины характеризовался следующими цифрами:

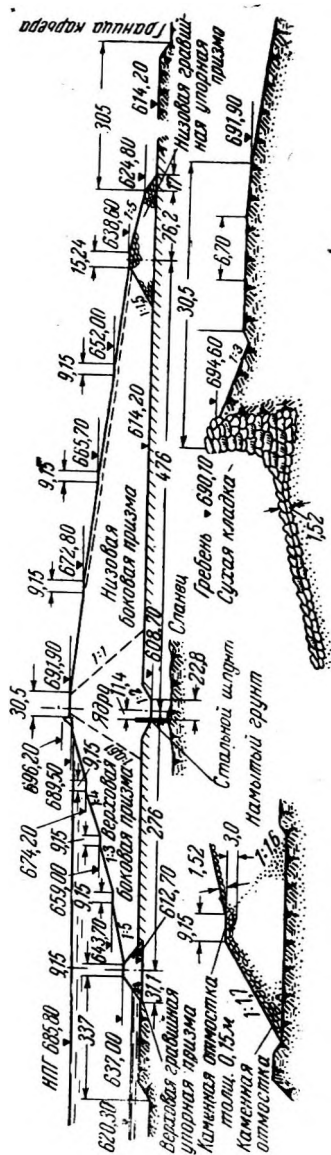


Рис. 26. Типовой профиль плотины Форт Пек.

земляные работы по возведению плотины	...	76,5 млн. м <sup>3</sup>
скальные работы.....		1,2      »»
насыпка гравия.....		3,0      »»
шпунтовые работы.....		15,0 тыс. т

Основание плотины представлено аллювием, состоящим из гальки и среднезернистого песка, перемежающимся с пластами -ила и глины. Эти грунты общей мощностью 42—57 мм подстилаются плотными сланцами (глинистые сланцы и бентонит).

По всей длине плотины на расстоянии 11,4 м от ее оси в сторону верхнего бьефа забит до коренных глинистых сланцев на глубину до 50 м металлический шпунт. Он сопрягается с намывным ядром плотины.

В русле реки шпунт забивался с воды и выступал над ее поверхностью. Для того чтобы не мешать пропуску строительных расходов, он срезался под водой на глубине 3,6 м. После перекрытия русла реки шпунт путем сварки наращивался до проектной отметки.

Долина р. Миссури в месте расположения плотины покрыта значительными лесами. Расчистка местности от растительности была первой очередью работ, к которой приступили 23 октября 1933 г.

Затем началось строительство шоссейных дорог и железнодорожной ветки и выполнялись подготовительные работы.

До начала намыва плотины в ее основании был снят весь некачественный грунт, состоящий из растительного слоя, глины и разрушенного сланца. Всего было удалено 3,13 млн. м<sup>3</sup> грунта.

Большая часть плотины на площади, составляющей около  $\frac{2}{3}$  основания, располагается на восточном берегу реки. Остальная часть плотины, за исключением руслового участка шириной 240 м, расположена на западном берегу реки.

Основные работы по возведению плотины начались с отсыпки гравийных упорных призм. Отсыпка велась с деревянных и металлических эстакад под железнодорожный путь, расположенных вдоль оси верховой и низовой упорных призм. Гравий применялся отсортированный и по возможности промытый. Размер его колебался от 12,6 до 152 мм. Весь гравий больших или меньших размеров отбрасывался.

Карьер гравия был расположен в 128 км от плотины.

При перекрытии русла реки в первую очередь отсыпалась низовая упорная призма. Для разравнивания гравия на пологом откосе низовой упорной призмы применялись бульдозеры.

Пропуск строительных расходов производился в русле реки и по четырем деривационным туннелям диаметром каждый 7,7 м и длиной 1 640—2 210 м.

В период строительства туннелей, продолжавшийся 2 года, намыв плотины производился на береговых участках реки. Шпунт в начальной стадии работ разделял на береговых картах намыва центральный прудок-отстойник на два прудка-отстойника: верховой и низовой. Карты намыва со стороны русла реки ограждались торцовыми дамбами. Эти дамбы, имевшие максимальную ширину в основании 168 м и откосы к реке с уклоном 1 : 4, возводились насыпным способом драглайнами из предварительно намытого резерва грунта. Последний отвечал по качеству грунту, намываемому в боковые призмы плотины. Поэтому торцовые дамбы не разбирались и вошли в состав тела плотины. Водонепроницаемость их достигалась наращиванием забитого в основание плотины металлического шпунта. Этот шпунт наращивался путем электросварки по мере увеличения высоты дамб и несколько заходил в ядро плотины.

К моменту закрытия русла намываемые береговые карты плотины достигли высоты 30,5 м. Выше плотина возводилась без деления на карты намыва.

Намыв производили четыре землесосных снаряда с бустерными установками, оборудованные двумя последовательно соединенными землесосами производительностью 800 м<sup>3</sup>/ч и напором 70 м с электромоторами по 2 500 л. с.

Гидросмесь от землесосных снарядов нагнеталась по трубопроводу и 710 мм до плавучей бустерной перекачивающей станции, имеющей аналогичное оборудование. Дальше она поступала в береговую подвижную на рельсовом ходу перекачивающую станцию, оборудованную одним землесосом того же типа. Таким образом, каждая из четырех установок состояла из пяти последовательно включенных землесосов. Землесосный снаряд в карьере разрабатывал прорезь шириной 60 м.

При транспорте гидросмеси использовались три типа стальных труб общей длиной 22 450 пог. м:

1) плавучие и 710 мм с толщиной стенки 16,0 мм с шаровыми соединениями — в количестве 3 150 пог. м;

2) береговые Ø 710 мм, тяжелые, с толщиной стенки 16,7 мм на фланцевых соединениях — в количестве 8 100 пог. м;

3) распределительные с легкими муфтовыми соединениями, состоявшие из звеньев:

710 мм с толщиной стенки 12,5 мм — длиной 5 000 пог. м;

530 мм с толщиной стенки 6,3 мм — длиной 3 150 пог. м;

406 мм с толщиной стенки 6,3 мм — длиной 3 050 пог. м.

Расчетная скорость гидросмеси в трубопроводах была принята равной 9,1 м/сек, но произведенные испытания показали, что невыгоднейшая скорость находится в пределах 6,3—7,0 м/сек.

Консистенция гидросмеси в среднем была равна 14‰.

При намыве в коленах трубопроводов наблюдалось сильное истирание, в результате чего приходилось применять наварку.

Расчет трубопроводов был произведен по Дарси, и для новых труб коэффициент сопротивления был принят 0,011. Для муфтовых трубопроводов он равен был 0,012.

Потери напора в плавучем грунтопроводе с шаровыми соединениями без разделения на прямые участки и закругления были определены в 0,04—0,07 мм на 1 пог. м. Потери напора в береговом магистральном трубопроводе оказались на 25—50% меньше.

Намыв производился из труб, уложенных вдоль боковых призм. По бровкам боковых призм устраивалось обвалование из намытого грунта боковых призм высотой 1,5 м. Отсыпалось оно драглайном. Ярусы намыва были приняты высотой 1,5 м.

В целях предупреждения заиления низовой гравийной призмы при намыве и тем самым сохранения ее дренажных свойств внутренней откос призмы, был перед намывом прикрыт отсыпанным насухо защитным слоем.

Выпуск гидросмеси из трубопроводов производился на деревянные столы, служащие для равномерного распределения ее по внутреннему откосу боковой призмы и защиты его от чрезмерного размыва. Уклон внутренних откосов боковых призм был равен 0,02.

Глубина воды в прудке-отстойнике колебалась от 0,6 до 1,8 м. Урез воды прудка-отстойника удерживался шире границ отложения мелких фракций у границ ядра; практиковались работа с широким прудком в течение 5—6 дней и затем резкое сокращение ширины прудка.

При намыве береговых участков плотины регулирование горизонта отстойного прудка производилось путем сброса воды из него через водосливы. Всего было устроено два водослива на свайном основании, по одному на каждом берегу, в виде ступенчатых перепадов шириной 24 м и с

высотой перепада 1,5 м. Расположены они были со стороны реки на откосах песчаных торцовых насыпных дамб.

При намыве плотины на высоких отметках были построены постоянные водосливы.

Объем твердого материала, сброшенного через водосливы и представленного целиком очень мелкими частицами, составлял 3,7—7,2%.

Режим работы гидромеханизации характеризуется прилагаемым типовым ежедневным рапортом о выработке.

Разведка карьеров для намыва плотины была произведена очень подробно. При бурении образцы отбирались через каждые 1,5 м и даже чаще для отображения всех наиболее существенных изменений геологии. Образцы подвергались в лаборатории механическому анализу комбинированным методом, т. е. ситовым и отмучиванием. Анализы проводились до выделения частиц диаметром 0.001 мм. На основании этих анализов для каждой скважины был составлен график гранулометрического состава, отображающий процентное содержание гравия, ила и глины на различных глубинах. На графике изменения процентного содержания фракций были представлены пучком кривых гранулометрического состава. Эти кривые оперативно использовались при производстве работ по намыву плотины (рис. 27).

Помимо геологических разрезов по скважинам и графиков гранулометрического состава грунтов, результаты бурения были изображены в планах и на профилях. Для этого были составлены геологические карты через каждые 3 м по глубине.

В случаях резкого изменения геологии составлялись дополнительные геологические карты через каждые 1,5 м по глубине.

Такое подробное освещение геологии карьеров позволяло, зная местонахождение землесосного снаряда, определить тип намываемого в тело плотины грунта и тип грунта, намеченного к разработке в следующую за ним очередь. В результате, если для возведения плотины требовалось усилить подачу ила или глины в ядро или, наоборот, уменьшить подачу мелкого материала, землесосный снаряд перебрасывался на участок карьера с соответствующим содержанием этих грунтов.

Не менее тщательный контроль за ходом намыва был установлен на плотине.

Особые скоростные станции были организованы для

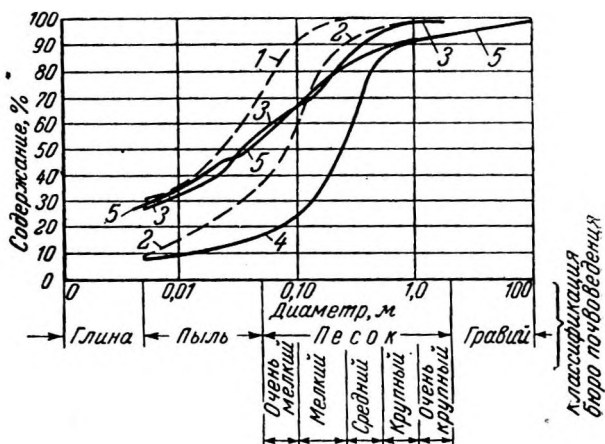


Рис. 27. График гранулометрического состава грунтов карьеров, использованных для намыва плотины Форт Пек, и граничные кривые грунтов ядра.

1 — верхняя граница грунта ядра; 2 — нижняя граница грунта ядра; 3 — глинистый материал карьера правого берега; 4 — песчаный материал карьера в верхнем бьефе; 5 — гляциальные отложения на берегах.

постоянного замера скорости в прудке-отстойнике и определения процента отмываемой мелочи.

Ядро плотины, как показали результаты исследований, состоит из тонкого ила и глины с наибольшим действующим диаметром 0,0054 мм (рис. 28).

Контроль за уплотнением ядра показал, что ядро уплотняется быстро. Заостренный шест, залавливаемый с лодки, встречал сопротивление намывного грунта в ядре на глубине 1,2 м и задерживался на глубине 3 м.

Контрольные образцы грунта брались с различных глубин и мест ядра для точного учета материала, укладываемого в него, в привязке ко времени и объему материала в состоянии неполной консолидации.

Контрольные образцы подвергались двум основным лабораторным испытаниям: механическому анализу и определению процентного содержания влажности. Механический анализ доводился до определения частиц диаметром 0,004 мм.

В ядре, кроме контрольных образцов, регулярно отбирались образцы грунта через 1,5 м по глубине на поперечни-

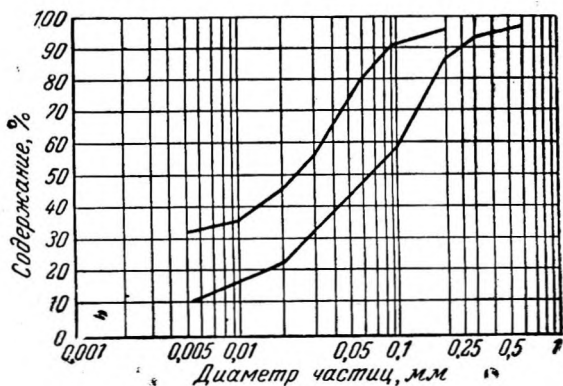


Рис. 28. График гранулометрического состава грунта ядра плотины Форт Пек.

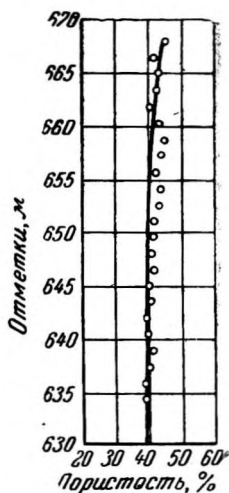


Рис. 29. График изменения пористости намывтого грунта в плотине Форт Пек в зависимости от ее высоты.

ках, разбитых через 15 м и расположенных на расстоянии 30 м друг от друга.

Систематически брались образцы с достаточно больших глубин в частично уплотненном материале ядра с целью получения уверенности, что грунт в нем не подвержен дальнейшим изменениям.

Точно так же систематически через короткие промежутки времени материал ядра подвергался лабораторным испытаниям на срез, консолидацию и определение пористости (рис. 29).

Из боковых призм отбирались регулярно образцы через каждые 1,5 м по высоте, 61 м по длине и 30,5 м по ширине. Эти образцы подвергались лабораторному определению гранулометрического состава.

По окончании постройки плотины в ней на створах были заложены осадочные марки и установлены пьезометры (рис. 30).

22 сентября 1936 г., когда плотина была намыта до отметки 686,41 м (на 6 м ниже гребня), произошла авария, в результате которой оползло 4 млн. м<sup>3</sup> грунта (рис. 31).

Специальной комиссией были произведены обширные исследования, показавшие, что тело плотины было возведено без отступлений от проекта и имело достаточную прочность.



Для реконструкции участка плотины, пострадавшего от оползня, Комиссия рекомендовала сооружение узкого ядра, отсыпанного из водонепроницаемой валунной глины и окруженного с обеих сторон призмами, возводимыми либо намывом, либо сухим способом, с пологими откосами, имеющими уклон 1 : 3,4—1 : 23.

Сопряжение нового насыпного ядра со старым намывным ядром произведено посредством забивки шпунтового ряда; (рис. 32).

Части плотины, не затронутые оползнем, рекомендовалось усилить пригрузочной верховой призмой из материала, аналогичного или более крупного, чем боковые призмы плотины. Укладываемый материал должен уплотняться. В развитие этого Комиссия рекомендовала, чтобы при сооружении намывным способом пригрузочной призмы на верховом откосе плотины пляжи этой призмы ближе к прудку-отстойнику уплотнялись трактором, что по мнению Комиссии обеспечивало максимальную степень уплотнения. Рекомендовалось применять тракторы столько времени, сколько окажется необходимым для того, чтобы удостовериться, достигается ли таким путем дополнительное уплотнение.

При перепроектировании плотины были произведены контрольные расчеты устойчивости по методу теории упругости, разработанному на Форт Пек, и методу статического скольжения (как был рассчитан первый профиль плотины)

В первоначальных расчетах не была принята во внимание прочность материала. Слабый материал имелся в основании, и разрушение началось именно в нем, распространяясь далее в материал плотины, т. е. разрушение материала тела плотины было следствием разрушения материала основания.

## 9. Плотина Кингсли (Kingsley Dam)

(1938—1940 гг.)

Плотина расположена на р. Норте Плейтт в 13 км от г. Агалола в штате Небраска.

Строительство плотины началось несколькими годами позднее строительства плотины Форт Пек. Это обстоятельство позволило строителям широко использовать опыт возведения последней.

После оползня на верховом откосе плотины Форт Пек проект плотины Кингсли подвергся значительному измене-



пию в части верхового откоса, который между отметками 963,0 и 970,0 м был выполнен значительно более пологим.

Плотина предназначена для создания водохранилища целью ирригации и использования водной энергии.

Водохранилище, созданное плотиной, известно под названием оз. Мак Конофи; оно занимает площадь около 13 тыс. га и имеет ширину 6,4 км. Подпор распространяется на 368 км. Объем водохранилища 2,5 млрд. м<sup>3</sup>.

Плотина состоит из двух частей: главной плотины, построенной в долине реки, и ее продолжения в виде дамбы, удлиняющей плотину к северу на 1 600 м.

Плотина возведена намывным способом и имеет ядро (рис. 33). Высота плотины 49 м и объем 20,5 млн. м<sup>3</sup>. Длина главной плотины около 3 250 м и дамбы 1 600 м.

Ядро плотины составляет 11% ее объема. Во время намыва для повышения водонепроницаемости ядра грунт в него подавался дополнительно по отдельному трубопроводу.

В основании верхового откоса на песчано-гравелистый грунт ложа реки был уложен сухим способом понур из лесса. Этот понур имеет толщину 0,9 м (на рис. 33 не показано).

При намыве строго выдерживались внутренние границы профиля: боковых призм, промежуточных зон и ядра. Ширина промежуточных зон была около 12,2 м.

Средняя глубина прудка-отстойника поддерживалась равной 1,2 м.

Следует особо остановиться на креплении верхового откоса плотины. В связи с большой длиной водохранилища (больше 360 км) и преобладающим направлением наиболее сильных ветров вдоль него мероприятия по защите напорного откоса от действия волн имели немаловажное значение.

Вследствие отсутствия в районе строительства крупного гравия и камня, который мог бы быть использован для крепления откоса, и дороговизны доставки этих материалов, так как ближайший карьер камня находился от строительства на расстоянии 320 км, защита напорного откоса вначале была выполнена в виде кладки из бетонных блоков, связанных между собой металлическими стержнями (рис. 34, а).

Строители полагали, что такой тип одежды обладает гибкостью, позволяющей ей следовать за деформациями откоса во время осадки плотины. Вместе с тем они считали, что одежда откоса, выполненная из бетонных блоков, достаточно надежна для того, чтобы защищать откос плотины от действия волн и льда.

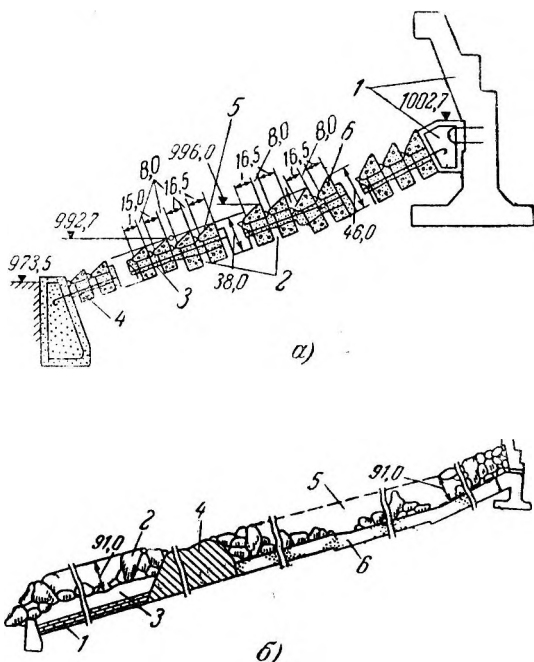


Рис. 34. Вид разрушившейся одежды напорного откоса плотины Кингсли и ее реконструкция.  
*а* — разрушившаяся одежда: 1 — массивный бетонный парапет; 2 — отсортированный гравий; 3 — металлические прутья 0 10 мм, расположенные приблизительно через 69 см; 4 — бетонный блок толщиной 30,5 см; 5 — бетонный блок толщиной 38,0 см; 6 — бетонный блок толщиной 46,0 см.

*б* — реконструкция одежды: 1 — ранее осуществленное и неудаленное покрытие из бетонных блоков толщиной 30,5 см; 2 — подводная каменная наброска толщиной 91,0 см; 3 — обратный фильтр толщиной 38 см, отсыпанный под воду; 4 — ранее отремонтированный участок одежды; 5 — надводная каменная наброска толщиной 91,0 см, включающая раздробленные бетонные блоки; 6 — подводная часть обратного фильтра толщиной 38 см.

Предполагалось, что при намыве плотины на внешней грани ее напорного откоса отложится достаточно крупный материал, для того чтобы сделать ненужным устройство специальной подготовки под устройство одежды. По техни-

ческим условиям она должна была иметь толщину 60 см и состоять из отсортированного крупного материала.

Бетонные блоки заготавливались предварительно секциями длиной 1,36 м. Высота блоков менялась от 30,5 до 46,0 см. Ширина их равнялась 15,0—16,5 см. Вес блоков колебался от 17,0 до 280 кг.

Блоки имели отверстия для металлических стержней, которыми они соединялись. Стержни были сделаны из сварного железа и имели диаметр 10 мм. Расстояние между осями стержней примерно равнялось 69 см. На верхнем конце стержни, соединяющие блоки, были закреплены в стенке парапета волнолома и на другом конце — в основании ее одежды в ее упорной бетонной стенке.

Принятию для осуществления описанного выше типа крепления откоса предшествовали обширные исследования. Эти исследования состояли в определении воздействия волн на блоки, укладываемые на слой подготовки, состоящей из различных соотношений гравия и песка, причем промежутки между блоками заполнялись таким же материалом.

Всего было изготовлено и уложено 376 тыс. м<sup>2</sup> бетонных блоков.

Во время возведения плотины оказалось, что грунт, поступающий из карьеров, не содержал такого количества крупного материала, как это предполагалось по данным исследований, выполненных перед началом строительства. Напорная [рань верхового откоса состояла из грунта, содержавшего незначительное количество крупнозернистого материала. Бетонные блоки укладывались на грунт, состоявший из песка с очень небольшим процентом мелкого гравия.

Наполнение водохранилища было начато в феврале 1941 г., и к концу марта 1942 г. горизонт воды достиг отметки 976,0 м, т. е. он был на 2,5 м выше подошвы одежды (рис. 33).

В этот период высокие волны вызвали незначительную осадку блоков (0,6 м) выше горизонта, подверженного воздействию волн. Место одежды, где произошла осадка, было немедленно отремонтировано посредством заполнения углубления гравием. Вслед за этой осадкой в результате такого же волнения последовало новое разрушение одежды откоса, образовавшее ее осадку до 1,5 м в районе воздействия волн на откос. Исследованиями, произведенными в местах разрушений, было установлено, что гравийная подготовка под блоки была настолько мелкозернистой, что она вымывалась

при волнении. Решено было образовавшиеся под блоками пустоты заполнить отсортированным гравием достаточно крупных размеров с тем, чтобы он не мог вымываться. Кроме того, намечено было швы параллельно оси плотины между блоками по всей поверхности зацементировать с удалением из них гравия и песка на глубину 15 см. Все повреждения в зоне откоса, имевшие глубину более 0,6 м, решено было также зацементировать, предварительно заполнив их камнем.

В зоне цементации в местах соединительных швов были предусмотрены дренажные отверстия с расстоянием между их центрами 30—60 см. Все указанные выше ремонтные работы были выполнены, но тем не менее в декабре 1942 г., в то время когда уровень водохранилища находился на отметке 983,0 м, в результате сильного урагана, вызвавшего волны высотой 2,5—2,7 м, одежда откоса была вновь разрушена (рис. 34, а). Разрушению подвергся откос и в местах, отремонтированных ранее. Одежда откоса была приведена в негодность на протяжении 1070 м между отметками 983,9 и 987,6 м.

В результате последних разрушений окончательно была выявлена непригодность выполненного типа одежды откоса, что повлекло за собой ее полную переделку.

Подмытые бетонные блоки были раздроблены, и образовавшиеся промежутки были заполнены кусками камня размерами до 380 мм. Поверх них была уложена каменная наброска слоем толщиной 91 см. Все эти работы были произведены на откосе до отметки 984,5 м (рис. 34, б).

Дополнительно были разработаны технические условия на переделку одежды откоса. Этими техническими условиями предусматривалось все существующие бетонные блоки, за исключением блоков, расположенных ниже отметки 978,0 м, удалить и раздробить. Раздробленные блоки вместе с камнем должны были составить новый материал для одежды, выполняемой в виде каменной наброски толщиной 91 см, укладываемой на специальной подготовке толщиной 38 см из гравия. Камень для наброски должен был быть получен из карьера. Вес отдельных камней мог достигать 459 кг при объеме 0,17 м<sup>3</sup>.

Такого вида покрытие намечено было выполнить в пределах волновых воздействий при наименьших и наибольших колебаниях горизонта воды в водохранилище приблизительно между отметками 976,0 и 1 002,8 м. Ниже отметки 978,0 м

это покрытие откоса должно быть произведено подводным способом. В 1945 г. подводные работы не были начаты, и существующие бетонные блоки в подводной части откоса не удалялись.

В основании плотины залегают гравелисто-песчаные грунты, подстилаемые глиноподобным водонепроницаемым грунтом (Brule). Для сопряжения тела плотины с основанием вдоль ее оси была вырыта траншея глубиной 3—6 см с шириной по дну 3,4 м, по верху— 15—9 м и уклоном откосов 1 : 1. В траншее забит металлический шпунт; его нижний конец заглублен в водонепроницаемый грунт основания, а верх сопрягается с намывным ядром плотины. Шпунтовый ряд протяжением 2 960 м забит на глубину 13—15 м. Южный конец шпунтового ряда сопрягается вблизи двух выпускных трубопроводов с бетонным зубом, простирающимся далее на юг до встречи с бетонной шпорой, упирающейся в отвесный берег, к которому плотина и примыкает. Траншея заполнена уплотненным грунтом (рис. 35).

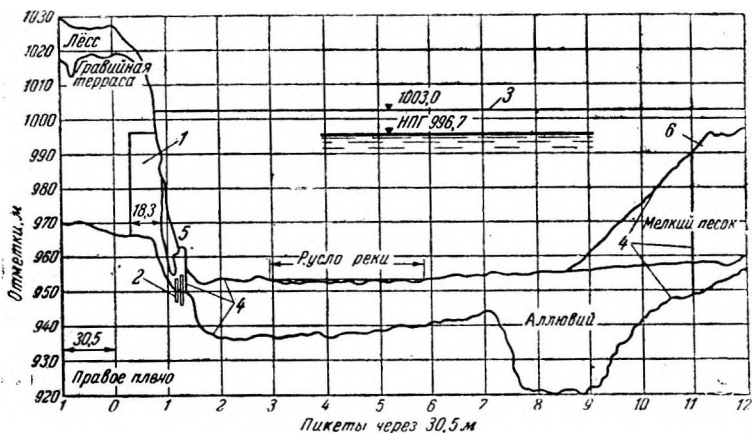


Рис. 35. Продольный профиль по оси плотины Кингсли.

1 бетонная шпора; 2— водослив и водосброс; 3— гребень плотины; 4—металлический шпунт; 5 — бетонный зуб; 6- левобережное примыкание плотины.

Для намыва боковых призм плотины и частично ядра были использованы два карьера: один — в верхнем и другой — в нижнем бьефах. Карьеры имеют ширину около 300 м и располагаются параллельно плотине, простираясь через всю долину реки. Пригодность грунтов карьера к намыву оценивалась сопоставлением кривых гранулометри-

ческого состава с кривыми материала 14 выстроенных плотин.

Было намечено уложить в боковые призмы смесь гравелисто-песчаного материала с поверхностным слоем грунта, а в ядро — смесь лесса и глины.

Сравнение принятого в проекте гранулометрического состава материала ядра с составом материала ядер 27 ранее выстроенных плотин показало, что он несколько крупнее средней крупности материала ядер этих плотин.

Из участков карьеров, расположенных в пойме, по предварительным подсчетам можно было получить около 30% пригодного для ядра материала. Остальной материал для ядра с достаточным количеством мелких фракций и по своему характеру совпадающий с материалом пойменных участков карьеров, был найден в верхней части южного склона долины у примыкания плотины (рис. 36).

Исследования, проведенные с этим материалом, показали, что при действии на него воды он очень быстро уплотнялся. Это служило гарантией получения из него вполне устойчивого и водонепроницаемого ядра.

Работы по намыву плотины начались с возведения верховой и низовой перемычек в виде земляных дамб. Затем пространство между ними было осушено, очищено от ила до слоя песчанистого гравия и начались работы по забивке шпунта. После возведения перемычек пропуск строительных расходов осуществлялся по деривационному каналу к сбросной башне и водосливу, выстроенным под защитой деревянной ряжевой перемычки.

Гравелисто-песчаный грунт для тела плотины добывался в русле реки непосредственно за верховой и низовой земляными перемычками двумя плавучими электрическими землесосами с разрыхлителями. Каждый снаряд состоял из 760-мм землесоса, приводившегося в движение 5 000-сильным асинхронным двигателем.

Вначале при намыве нижних ярусов плотины производительность каждого землесоса по грунту превышала 1 550 м<sup>3</sup>/ч. В среднем она была равна около 1 150 м<sup>3</sup>/ч по грунту.

Вспомогательные землесосы, когда они применялись, приводились в движение 2 500-сильным двигателем.

Гидросмесь поступала в 760-мм трубопроводы, уложенные с верховой и низовой сторон плотины на боковых призмах. Трубопроводы прокладывались на эстакадах и перекладывались по мере намыва плотины (рис. 37).

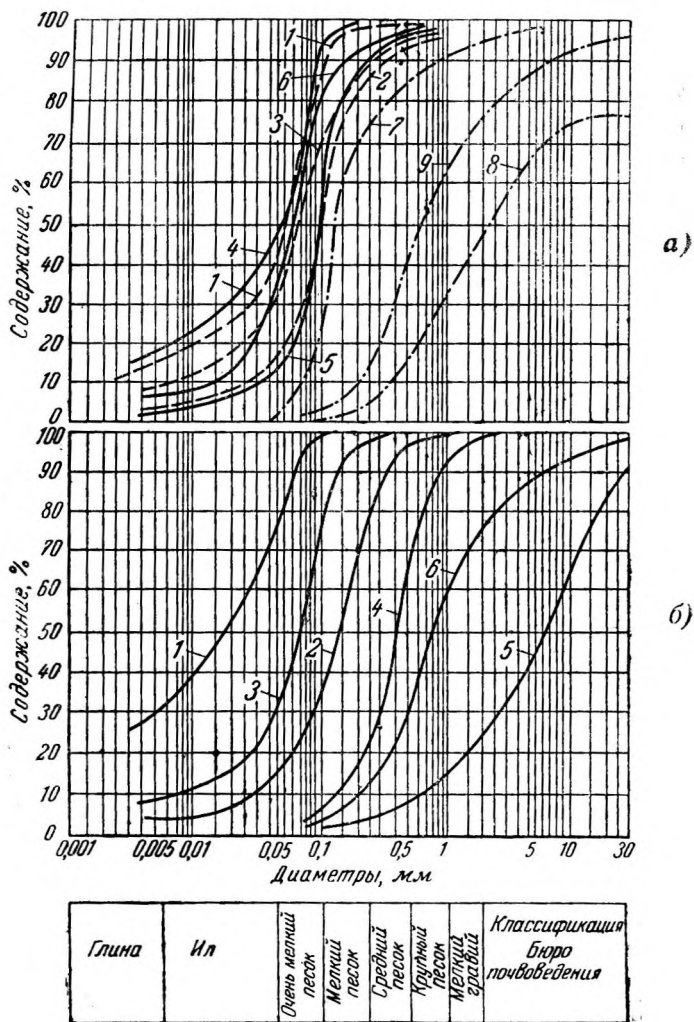


Рис. 36. Графики гранулометрического состава материала карьеров и тела плотины Кингсли.

а — пойменные участки карьеров для боковых призм, 1 — минимальная крупность; 2 — максимальная крупность; 3 — средняя крупность.

Карьер для ядра: 4 — минимальная крупность; 5 — максимальная крупность; 6 — средняя крупность. Речные карьеры для боковых призм: 7 — минимальная крупность; 8 — максимальная крупность; 9 — средняя крупность.

б — материал ядра: 1 — минимальная крупность; 2 — максимальная крупность; 3 — средняя крупность. Материал боковых призм: 4 — минимальная крупность; 5 — максимальная крупность, б — средняя крупность.

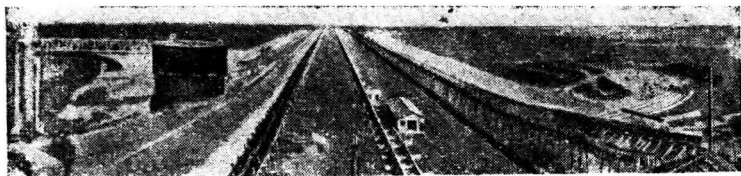


Рис. 37. Вид на плотину Кингсли в момент завершения намыва.

В целях увеличения водонепроницаемости ядра, как указывалось выше, в прудок по отдельной трубе подавался лессовый грунт.

Материал для ядра разрабатывался в карьере, расположенном на расстоянии 350 м от южного примыкания плотины на высоких отметках (67 м выше основания плотины), тремя скреперами с емкостью ковшей 18,4 м<sup>3</sup> и подавался к бункеру-смесителю при средней дальности возки 1,5 км. Материал сбрасывался в верхнюю часть бункера-смесителя, в которой были устроены два отверстия, а под ними установлены качающиеся грохоты. С грохотов материал поступал в нижнюю часть бункера-смесителя, где он размывался двумя мощными струями воды. Бункер-смеситель имел размеры: ширину — 3 м, длину — 6,10 м и глубину — 3 м. Водовод входил в бункер-смеситель в его нижней части и оканчивался тройником, из двух отверстий которого двумя мощными струями с большим напором выходила вода. Гидросмесь стекала к противоположному концу бункера и с помощью 18" землесоса подавался к плотине. Землесос приводился в движение от электродвигателя с переменным числом оборотов мощностью 800 л. с. На расстоянии 100 м от первого землесоса был установлен второй перекачивающий землесос той же мощности, который и подавал гидросмесь в ядро.

В начале работы полагали, что при хорошем размыве грунта в бункере-смесителе производительность по грунту не будет превышать 460 м<sup>3</sup>/ч, однако спустя некоторое время производительность по грунту достигла 900 м<sup>3</sup>/ч. При начальной производительности напор, развиваемый одним землесосом, был вполне достаточен для подачи гидросмеси через всю плотину, к ее северному примыканию. С увеличением производительности до 900 м<sup>3</sup>/ч консистенция гидросмеси значительно повысилась, потери напора возросли и пришлось установить упомянутый выше перекачивающий землесос.

Напорный трубопровод для подачи материала ядра имел диаметр 508 мм и был расположен по оси плотины на поплавах. Он состоял из звеньев длиной 15,24 м. Каждое звено имело два выпуска в нижней своей части. Эти выпуски имели размеры 152X129 мм. Через выпуски гидросмесь стекала в прудок-отстойник. Выпуски могли легко открываться и закрываться. Материал, подаваемый из выпусков, укладывался по направлению к промежуточным зонам с уклоном откоса 1 : 12. Ядро на 70% было образовано из дополнительно подаваемого лессового материала (см. рис. 37).

Осветленная вода из прудка-отстойника, содержащая некоторый процент мелких частиц, отводилась сбросными колодцами, представляющими собой звеньевые трубы, выполненные из гофрированного железа. На трубы в горячем виде наносился слой асфальта. Сбросные трубчатые колодцы, устья труб которых имели отметку ниже, чем отметка уровня воды в прудке-отстойнике, в основании плотины соединялись посредством колен со сбросными трубами диаметром 1 219 мм, заложенными горизонтально. Последние отводили осветленную воду к основанию верхового откоса плотины, откуда она лотками отводилась дальше за пределы насухо уложенного понура. Сбросные колодцы были установлены в десяти местах по оси плотины и расположены в среднем через 292 м друг от друга.

Для улучшения условий водоотдачи в период намыва в низовом клине плотины был заложен горизонтальный трубчатый дренаж.

Этот дренаж расположен параллельно осп плотины на расстоянии 75 м от основания откоса. Дренаж представляет собой перфорированную трубу, уложенную в заполненную гравием траншею. Дренажная труба имеет поперечные отводы, расположенные на расстоянии 90 м друг от друга. Диаметр дренажной трубы равен 610 мм. Диаметр отводов 910 мм. Уклоны отводов 1 : 1 000. При выходе на откос каждый поперечный отвод имеет железобетонный оголовок.

Описанная дренажная система функционировала в течение всего периода намыва и оставлена в плотине в качестве постоянного дренажа.

В процессе намыва велся тщательный контроль. Лабораторные испытания состояли в определении гранулометрического состава намытого грунта, установлении его плотности и влажности.

Содержание глины в ядре колебалось от 3 до 30%. В процессе намыва уплотнение ядра шло вполне удовлетворительно, что полностью соответствовало предварительным исследованиям, проведенным над материалом карьера.

## 10. Плотина Найтвил (Knightville Dam)

(1940—1941 гг.)

Намывная плотина Найтвил расположена в узкой долине р. Вестфильд в 80 км севернее г. Хантингтон штата Массачусетс.

Плотина построена в целях регулирования расходов р. Коннектикут, для чего она создает водохранилище и имеет водослив, рассчитанный на пропуск расхода 2050 м<sup>3</sup>/сек, превышающий на 50% расход максимального паводка (рис. 38).

Плотина является первой законченной плотиной из намеченных к осуществлению и строящихся плотин для регулирования расходов р. Коннектикут. На момент ее окончания в стадии возведения находились плотины Брич Хилл и Сарри Маунтэн. Последние строились насыпным способом.

Максимальная высота плотины 48,8 м, длина по гребню 366 м и объем 1 012 млн. м<sup>3</sup>, из которых 920 тыс. м<sup>3</sup> выполнены намывным способом и 92 тыс. м<sup>3</sup> отсыпаны.

Плотина возведена на скальном основании, местами перекрытом ледниковыми отложениями. При этом основание восточной части плотины характеризуется плотными глинами ледникового происхождения с включением гравия, мелких и крупных валунов, залегающими непосредственно на скале. Толщина этих глин колеблется от нескольких метров в русле реки до 49 м вблизи восточного примыкания. Основание западной части створа местами представлено трещиноватой скалой, кровлей которой служат грунтовые отложения малой мощности (рис. 39).

В связи с трещиноватостью скалы в западной части плотины, имеющей распространение на глубину 3—6 м, по оси плотины выполнена цементационная завеса 6-метровой глубины.

Для намыва плотины были намечены два карьера: карьер, расположенный на высоких отметках у восточного примыкания плотины, и карьер, находящийся в русле реки в верхнем бьефе будущего водохранилища. Грунт первого

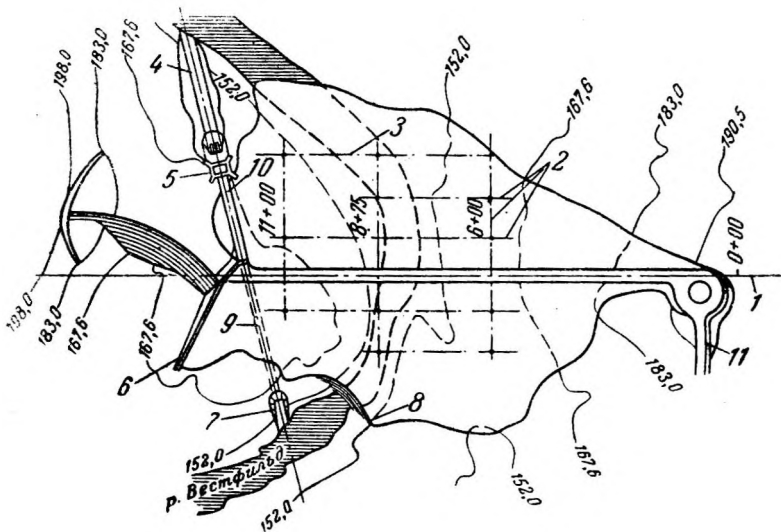


Рис. 38. План сооружения на р. Вестфильд.

1 - ось плотин л; 2 оси реперов, установленных для наблюдений за осадкой; 3 - оси перемычки; 4—водосбросной канал; 5 — водоприемная башня; 6 — подпорная стенка; 7 — выходной портал; 8 — подошва бетонной стс-пки; 9— ту кнель; 10 — служебный мостик; 11—дорога.

карьера был представлен глиной ледникового происхождения с линзами гравия и валунов. Грунты второго карьера характеризовались гравием, песком и илом с включением валунов различной крупности. Предполагалось, что для намыва боковых призм плотины будет использован русловой карьер и для намыва ядра -карьер, расположенный на высоких отметках.



Рис. 39. Разрез по оси плотины Найтвил.

В процессе производства работ выяснилось, что грунты руслового карьера содержат большое количество мелочи и поэтому негодны для намыва боковых призм. Карьер был

использован для образования ядра, а для намыва боковых призм был открыт новый карьер с крупным материалом. Разрабатываемые карьеры содержали около 18% валунов крупностью свыше 152 мм; эти валуны употреблялись для крепления откосов плотины.

Грунт в карьерах разрабатывался экскаваторами прямой лопата: двумя, имевшими ковши емкостью 1,9 м<sup>3</sup>, одним с ковшом емкостью 1,33 м<sup>3</sup> и одним — с ковшом емкостью 1,14 м<sup>3</sup>. От экскаваторов грунт транспортировался тракторными прицепами емкостью 6,2—9,2 м<sup>3</sup> к приемному бункеру, имеющему грубую решетку. Из бункера грунт поступал на ленточный транспортер с шириной ленты 914 мм и производительностью 540 м<sup>3</sup>/ч. Ленточный транспортер подавал материал на качающийся грохот, где отделялись валуны крупнее 152 мм. Отсортированный таким образом материал поступал в бетонный бункер-смеситель, в который под напором подавалась вода. В бункере-смесителе происходило смешивание грунта с водой, и полученная в результате смешивания гидросмесь самотеком транспортировалась в зумпф, из которого она забиралась землесосом и по металлическому фланцевому трубопроводу подавалась на плотину. Трубопровод имел диаметр 457 мм, землесос — 508 мм при мощности электродвигателя 1 200 квт. Схема приема и подачи грунта в плотину помещена на рис. 40.

Крупный материал, задержанный грубой решеткой на качающемся грохоте, транспортировался грузовиками на плотину, где он применялся для укладки на откосах. Как указывалось ранее, этого материала было около 18% от общего его количества, разрабатываемого в карьерах.

Намыв плотины производился безэстакадным торцовым тонкослойным способом и для него применялись металлические трубы диаметром 457 мм на быстроразъемных соединениях. Трубы располагались на пляжах боковых призм. Содержание грунта в гидросмеси, подаваемой на плотину, колебалось от 10 до 18%

При производстве работ особое внимание обращалось на правильное распределение грунта по крупности в поперечном профиле плотины. Обычно это достигалось тем, что при выпуске гидросмеси из трубы старались получить рассредоточенный ее поток на намываемой поверхности. В описываемом случае гидросмесь после выпуска из трубы растекалась достаточно узким потоком и регулирование откладываемой крупности частиц грунта производилось посредством деревянных направляющих щитков.

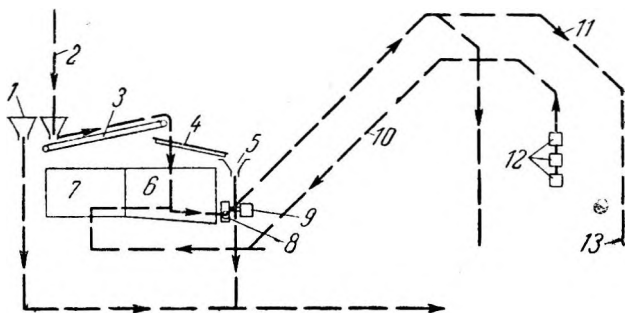


Рис. 40. Схема приема и подачи грунта в плотину Найтвил.

1— приемный бункер для камня; 2 - - приемный бункер для грунта; 3— транспортер с металлической лентой шириной 914 мм; 4 — качающийся грохот; 5 — бункер для камня; 6 — бетонный бункер-смеситель; 7 — резервуар; 8 — землесос; 9 — электродвигатель; 10 — трубопровод оборотной воды  $\varnothing$  610 мм; 11 — грунтопровод  $\varnothing$  457 мм; 12 — насосы; 13 — ядро плотины.

Несмотря на то, что гидросмесь имела сосредоточенный поток, крупный материал откладывался сразу у выпуска из трубы. Это происходило вследствие того, что в гидросмеси вообще имелось достаточно большое количество крупного материала (рис. 41).

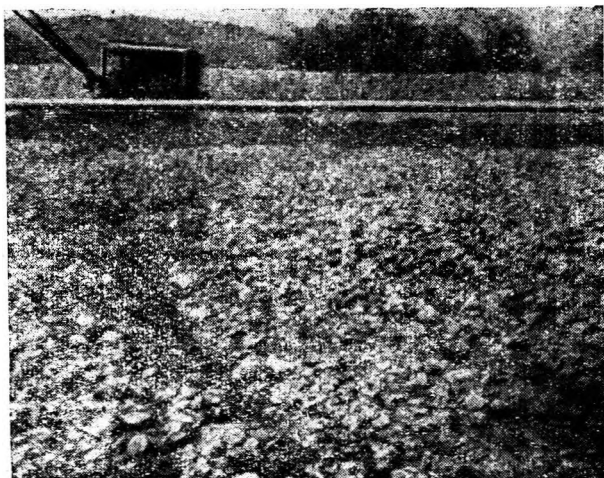
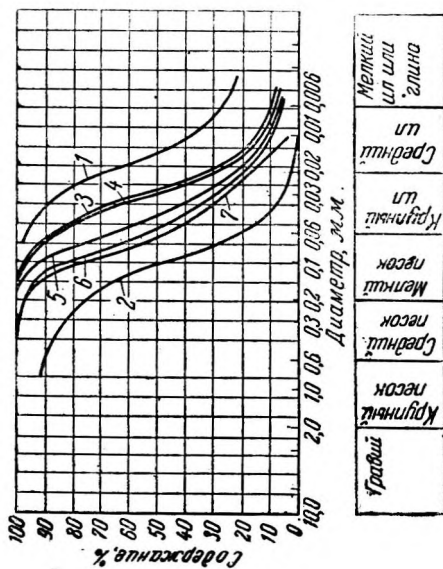


Рис. 41. Пляж намыва плотины Найтвил.

При намыве все усилия были направлены на то, чтобы промежуточная зона была неширокой. Для этой цели параллельно оси прудка-отстойника на расстоянии 4,5 м ряд отряда были установлены деревянные направляющие щитки. Первый ряд этих щитков был установлен на расстоянии 3,0 м от теоретической границы ядра. Посредством этих щитков крупный материал задерживался в промежуточной зоне и не допускался в ядро. Поток гидросмеси на своем пути в направлении к ядру, встретив препятствие в виде щитков, терял скорость и откладывал большой процент мелкого песка. Остальная часть материала достигала прудка-отстойника (в том случае, когда прудок-отстойник имел минимальную назначенную ширину), а следовательно, и ядра плотины. В прудке-отстойнике поток гидросмеси окончательно терял свою скорость, даже при небольших глубинах прудка, и самый мелкий материал осаждался в ядре. Сброс мелкого материала из прудка отсутствовал. При таком способе укладки мелкого материала он перекрывал границу ядра на 20%, и, следовательно, на 60%-ной ширине ядра всегда откладывался материал, соответствующий принятому проектом. Но вследствие того, что во время производства работ обычно прудок-отстойник имел минимальную ширину, большую, нежели это намечалось в проекте, ядро на 80% своей ширины не имеет в своем составе песка (рис. 42).

Возведение плотины производилось по схеме двустороннего намыва, но с попеременным выпуском гидросмеси на боковые призмы сооружения. Звеньевые трубопроводы были проложены по обоим боковым призмам плотины. Выпуск гидросмеси производился вначале на одной боковой призме сооружения, а затем на другой. Намыв начинали у одного из примыканий плотины и продолжали до того момента, пока в этом месте ширина прудка-отстойника не уменьшалась до своей минимальной величины. Затем в последовательном порядке путем уменьшения или увеличения количества звеньев трубопровода выпускали гидросмесь в тех местах, где прудок-отстойник имел максимальную ширину. Таким способом доводили ширину прудка-отстойника до минимальной на всей длине плотины. После этого уровень прудка-отстойника повышался до таких отметок, чтобы он снова получил максимальную ширину, перемещаясь при этом в сторону, противоположную намываемой. Затем делался обратный ход вдоль всей плотины по той же самой

I



II

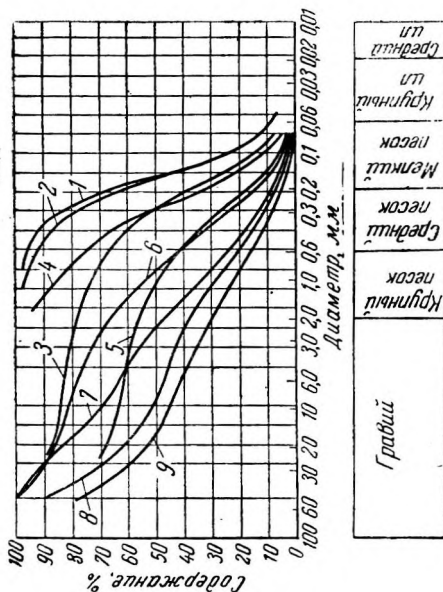


Рис. 42. Кривые гранулометрического состава ядра и боковых призм плотины Найвил.  
 I — граничные теоретические кривые гранулометрического состава грунта ядра (1—2) и типовые кривые гранулометрического состава грунта, намывтого в ядро (3—7) на отметке 170,0 м: 1 — верхняя граница крупности; 2 — нижняя граница крупности; 3 — ось крупности; 4 —  $H = 4,0$  м; 5 —  $B = 4,0$  м; 6 —  $H = 8$  м; 7 —  $B = 8$  м. ( $H$  — нижний бьеф и  $B$  — верхний бьеф).  
 II — кривые гранулометрического состава пробы грунта, отобранной на пляже намыва верховой боковой призмы: 1 —  $B = 40,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,3 м; 2 —  $B = 23,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,3 м; 3 —  $B = 26,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,4 м; 4 —  $B = 29,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,5 м; 5 —  $B = 32,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,5 м; 6 —  $B = 35,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,6 м; 7 —  $B = 38,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,7 м; 8 —  $B = 41,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,7 м; 9 —  $B = 45,0$  м;  $\blacktriangledown$  163,9 м. ( $B$  — верхний бьеф).

боковой призме до тех пор, пока ширина прудка-отстойника не становилась опять минимальной.

По окончании этой операции гидросмесь подавалась по трубопроводу, расположенному на противоположной боковой призме плотины, где производился намыв в том же порядке.

Намыв велся на оборотной воде. Для возмещения потери воды на фильтрацию через тело плотины из реки вспомогательным насосом производительностью  $680 \text{ м}^3/\text{ч}$  вода подавалась в бетонный бункер-смеситель.

Регулировка расхода воды в прудке-отстойнике осуществлялась тремя насосами производительностью  $3300 \text{ м}^3/\text{ч}$  каждый с напором  $36,6 \text{ м}$ . Насосы имели диаметр  $508 \text{ мм}$ . Осветленная вода ими подавалась в бетонный бункер-смеситель по трубопроводу диаметром  $610 \text{ мм}$  с гибкими соединениями.

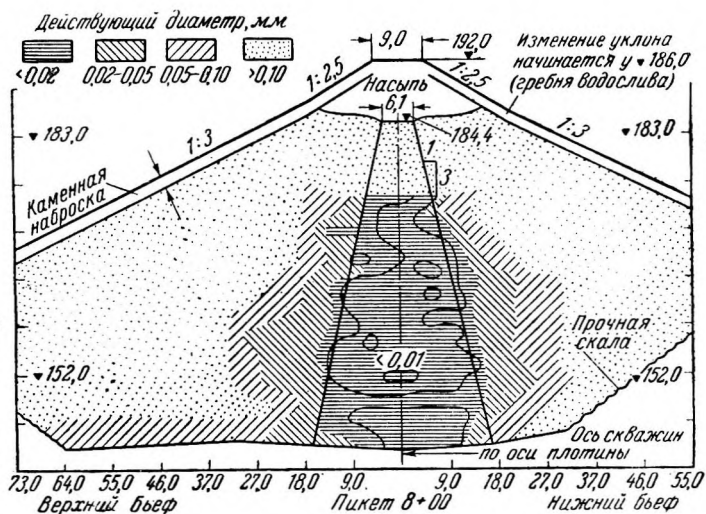
Дамбочки обвалования сооружались с помощью драглайнов и уплотнялись посредством трактора мощностью  $90 \text{ л. с.}$

В результате исследований и расчетов, произведенных при проектировании плотины, было установлено, что ее водонепроницаемость может быть обеспечена при ядре, грунт которого имеет действующий диаметр  $0,02 \text{ мм}$ . На рис. 42 представлены кривые, характеризующие верхнюю и нижнюю границы материала, пригодного для ядра плотины, а также даны кривые материала, уложенного в ядро.

При максимальном действующем диаметре  $0,02 \text{ мм}$  для ядра плотины была сделана попытка получить материал для боковых призм со средним значением действующего диаметра  $0,2 \text{ мм}$  или несколько больше. Намеченное соотношение в значениях действующего диаметра обеспечивало необходимый уклон кривой депрессии и тем самым большую устойчивость сооружения (рис. 43).

Боковые призмы плотины намыты из материала крупностью от фракций размерами  $152 \text{ мм}$  до мелкого песка. Мелкий песок в количестве почти  $100\%$  материала плотины расположен в узкой промежуточной зоне. Боковая призма состоит из гравия крупностью до  $51 \text{ мм}$  и крупнозернистого песка. В ней нет участков, где бы имелся только чистый гравий, везде он перемешан с крупным песком. Присутствие песка в гравии значительно уменьшает действующий диаметр материала боковой призмы.

Промежуточная зона имеет материал с действующим диаметром  $0,1 \text{ мм}$ , средняя часть боковых призм характеризуется материалом с действующим диаметром  $0,2 \text{ мм}$  и



Фиг. 43. Распределение намывного грунта в теле плотины Найтвил.

наружная часть — 0,4 мм. Это дает для боковых призм среднее значение действующего диаметра 0,233 мм (рис. 43).

Недостаток крупного материала в карьерах заставил принять специфические меры для обеспечения укладки в боковые призмы этого материала. Специальные меры принимались также и для того, чтобы мелкий материал вымывался из смеси и откладывался в ядре и во внутренней части промежуточной зоны.

Линзы мелкого материала, отложившегося в боковых призмах, удалялись с помощью драглайна, если толщина этих линз была более 30 см и ширина более половины ширины ядра за пределами его теоретической границы.

Урез воды в прудке-отстойнике при минимальной его ширине находился на расстоянии от теоретической границы ядра, определяемом по формуле  $3d - 5$ , где  $d$  — глубина прудка-отстойника в футах (рис. 44).

При назначении ширины прудка-отстойника принимали, что находящийся в потоке гидросмеси песок откладывается при встрече его спокойной воды с уклоном 1 : 3. Уменьшение на величину 5 футов было сделано из тех соображений, что небольшой перемык ядра будет компенсироваться таким же небольшим образованием карманов.

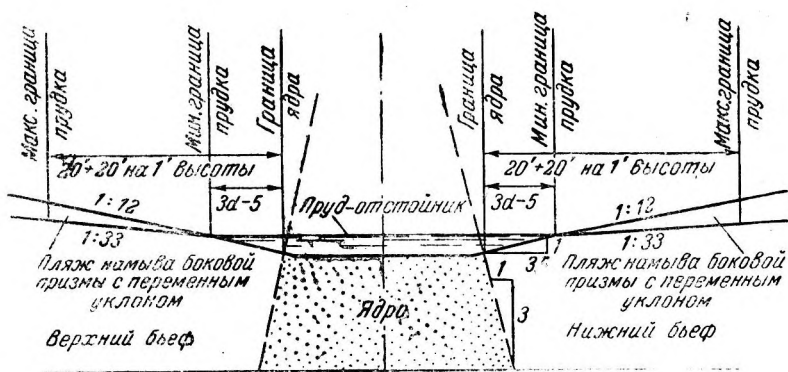


Рис. 44. Метод контроля и регулирования размеров ядра при намыве плотины Найтвил.

Граница максимальной ширины прудка-отстойника по отношению к границе его минимальной ширины устанавливалась с таким расчетом, чтобы в процессе намыва во время уменьшения прудка-отстойника материал ядра не отложился на пляжах боковых призм. Граница максимальной ширины прудка-отстойника в начале производства работ начиналась на расстоянии 15,2 м от расчетной границы ядра, а позднее это расстояние уменьшили до 12,2—10,6 м.

При возведении плотины производился очень тщательный и хорошо организованный контроль.

После каждой операции по укладке материала в ядро плотины специальные инспекторы производили зондировку ядра алюминиевой трубкой с целью определения того, отложился ли там песок или нет. Этим способом очень легко можно было определить наличие в ядре песчаных слоев: во-первых, по цвету материала, во-вторых, по его поведению при растирании между пальцами и, в-третьих, по тому сопротивлению, которое оказывает материал ядра при погружении в него алюминиевой трубки для зондирования. Несколько линз песчаного материала, проникнувшего в ядро на расстоянии до 25% его ширины, было удалено посредством драглайна, работавшего на боковых призмах.

Каждое утро в прудок-отстойник опускалась гирилка весом 1,36 кг и диаметром 7,6 см. Увеличение или понижение глубины погружения гирилки указывало на увеличение или уменьшение процента твердого материала в массе ядра за истекшие сутки. Эти исследования были также полезны

при установлении границы минимальной ширины прудка-отстойника.

Глубина воды в прудке-отстойнике колебалась от 0,92 до 0,46 м за исключением редких случаев, когда на короткой длине и на очень непродолжительное время глубина воды возрастала до 1,5 м. Было, желательно иметь равномерную глубину воды в прудке-отстойнике равную 1,5 м, но вследствие излишка мелкого материала эта глубина редко поддерживалась.

Контроль велся также в карьерах, где следили за соответствием грунта, подаваемого в бетонный бункер-смеситель и далее в тело плотины, проектному. Необходимость контроля в карьерах подтверждалась характером образцов, которые отбирались в ядре и боковых призмах плотины.

Образцы намытого материала в боковых призмах брались через каждые 30,5 м на расстоянии 15,20 м в направлении верхнего и нижнего бьефов, считая от оси плотины. Образцы отбирались в следующем порядке: один образец при увеличении высоты плотины на 3,05 м на каждом пикете при расстоянии между пикетами 30,5 м; один образец в шахматном порядке при увеличении высоты плотины на 0,305 м через десять пикетов (305 м). В результате один образец приходился на 690 м<sup>3</sup> материала, намытого в боковую призму плотины.

Кроме того, отбирались специальные образцы для определения степени плотности материала боковых призм, уплотняемых трактором. Эти образцы отбирались до и после проходки трактора.

Образцы в ядре брались на каждом пикете при расстоянии между пикетами 30,5 м по оси плотины на четвертных расстояниях и на теоретических границах. Образцы отбирались в следующей последовательности: один образец на каждом пикете при увеличении высоты на 1,52 м; кроме того, через каждые пять пикетов (152,5 м) образцы брались в шахматном порядке при увеличении высоты плотины на 0,305 м.

Таким образом, каждый отобранный образец в ядре приходился примерно на 306 м<sup>3</sup> намытого материала.

Кроме указанного выше отбора образцов, отбирались специальные образцы для определения степени уплотнения на расстоянии трех пикетов (91,5 м) и по высоте через каждые 3,05 м. При этом с увеличением высоты плотины они брались на одних и тех же отметках несколько раз, что давало возможность более тщательно определить плотность намытого

материала. Степень плотности в этих образцах определялась по влажности. Кроме того, степень уплотнения материала ядра определялась погружением в него чугунного шара диаметром 152 мм и весом 15,2 кг.

Инспекторам, работавшим на плотине, были вменены следующие обязанности: наблюдать за тем, чтобы в ядро и боковые призмы укладывался материал, соответствующий заданному; обнаруживать и удалять линзы материала, уложившегося не в предназначенном ему месте; непрерывно вести контроль за годностью разрабатываемого в карьерах и укладываемого в плотину материала; наблюдать за правильностью наброски камня на откосах и удалением мусора из ядра и боковых призм и за тем, чтобы всем элементам сооружения придавали нужные очертания, размеры и уклон.

Разворот работ по подготовке к сооружению плотины начался в сентябре 1939 г.; работы по возведению плотины начались в июне 1940 г. и были закончены в июле 1941 г. Все строительные работы по сооружению водозаборных и водосливных сооружений закончены были в ноябре 1941 г.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица основных показателей высоких намывных и полунамывных плотин США

Наименование плотин	Место постройки	Год постройки	Тип плотины	Высо- та, м	Объем, млн. м <sup>3</sup>
Калаверас	Штат Калифорния	1914—1925	Полуна- мывной	73,2	—
Салюда	Штат Южная Каролина	1927—1930	»	70,1	8,41
Александр	Гавайский архипелаг	1928—1930	Намыв- ной	38,1	0,444
Коббл- Маунтэн	Штат Массачусетс	1927—1932	»	80,2	1,07
Эль-Каптэн	Штат Калифорния	1933—1934	Полуна- мывной	73,8	2,50
Сердис	Штат Теннеси	1935	Намыв- ной	35,7	12,72
Квеббин	Штат Массачусетс	1935—1938	»	50,0	2,70
Форт Пек	Штат Монтана	1933—1939	»	73,8	76,50
Кингсли	Штат Небраска	1938—1940	»	49,0	20,50
Найтвил	Штат Массачусетс	1940—1941	»	48,8	1,012

Типовой ежедневный рапорт о выработке

Наименование	Землесосы				Среднее
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Скорость в прудке-отстойнике, м/сек . . . . .	0,55	0,55	0,25	0,25	0,4
Процент грунта в сбросной воде . . . . .	0,93	0,93	0,54	0,54	0,74
Отмытый материал, %:					
песок . . . . .	7,3	7,3	7,0	7,0	7,2
пыль . . . . .	26,8	26,8	23,0	23,00	25,3
глина . . . . .	65,9	65,9	70,0	70,0	67,5
Объем грунта, разработанного земснарядами, м <sup>3</sup> . . . . .	25,200	26,300	33 500	25 800	28 450
Время чистой работы в сутки, ч . . . . .	20,53	22,16	22,27	23,40	22,19
Средняя производительность, м <sup>3</sup> /ч работы . . . . .	1 227	1 050	1 503	1 156	1 234
Средняя скорость в трубопроводах, м/сек . . . . .	6,4	5,9	6,0	6,6	6,3
грунта в гидросмеси . . . . .	13,5	14,0	17,3	11,5	14
отмытого к поданному . . . . .	7,2	6,3	4,1	3,7	5,2
Состав грунта, поданного земснарядом:					
гравий . . . . .	1	23	0	4	6,6
песок . . . . .	83	63	91	88	81,8
пыль . . . . .	8	6	3	3	4,9
глина . . . . .	8	8	6	5	6,7
Состав грунта, оставшегося в плотине:					
гравий . . . . .	13,1		1,9		7,0
песок . . . . .	77,5		92,9		85,8
ил . . . . .	5,6		2,2		3,8
глина . . . . .	3,8		3,0		3,4

## ЛИТЕРАТУРА

Engineering News Record.  
Proceedings of the American Society of Civil Engineers.  
Engineering Contracting.  
Western Construction News.  
Construction Methods.  
The Engineering.  
Civil Engineering.  
Proceedings Minnesota International Hydraulics.  
La Technique des Travaux.

2р. 50к.

с 1.1-1981 г.

1982 г. - 3.28.2.