



ISSN 0203—0772

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

Известия Бетона

Рекастроуки серия *платен*

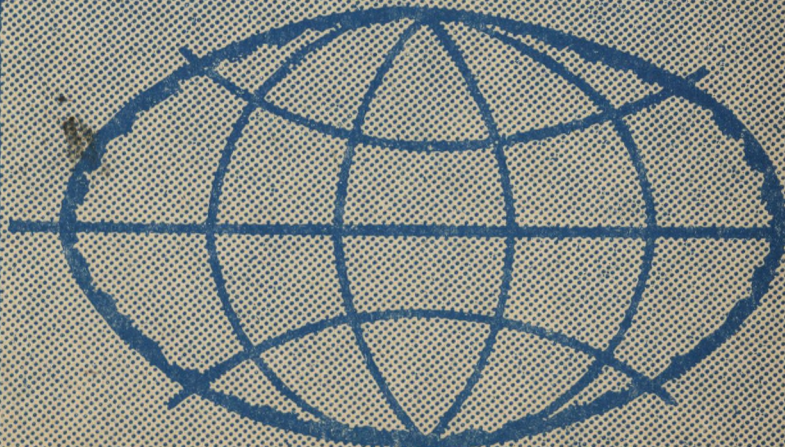
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

ЗА РУБЕЖОМ

Р

выпуск 1

Москва 1987



В серии "Гидроэнергетика за рубежом" публикуются рефераты статей из иностранных журналов, докладов и сообщений на международных конференциях по наиболее актуальным проблемам гидроэнергетики, гидроэнергетического и гидротехнического строительства за рубежом. Освещается современное состояние научно-исследовательских работ, проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта сооружений и оборудования ГЭС, ГАЭС, ПЭС; экономики гидроэнергетического и гидротехнического строительства, охраны окружающей среды.

Серия рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования, строительства и эксплуатации ГЭС, ГАЭС и гидротехнических сооружений.

Периодичность изданий - 12 номеров в год. Указатель рефератов, опубликованных в экспресс-информации за год, помещается в выпуске 12.

Информэнерго выполняет заказы на копии статей из иностранных источников, рефераты которых публикуются в экспресс-информации. При оформлении заказа необходимо указывать источник информации (серию, год и номер выпуска). Заказ должен быть оформлен гарантийным письмом. Стоимость одной страницы 10 коп.

РУБРИКАТОР

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ И ГИДРОУЗЛЫ

СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И ГИДРОУЗЛОВ

СПИСОК

сокращений и условных обозначений в экспресс-информации
серии "Гидроэнергетика за рубежом"

F	- площадь	h	- высота сооружения
W	- объем	l	- длина сооружения
P	- установленная мощность	b	- ширина сооружения
\mathcal{E}	- выработка электроэнергии	d	- диагональная
Q	- расход	ПЛ	- поворотно-лопастная
H	- напор	РО	- радиально-осевая
ВБ	- верхний бьеф	<hr/>	
НБ	- нижний бьеф	В/Ц	- водоцементное отношение

ИНФОРМЭНЕРГО
ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

СЕРИЯ: ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕЖОМ

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

ВЫПУСК 1

ИЗДАЕТСЯ С 1979 ГОДА

ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО

МОСКВА 1987

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

УДК 621.311.21:627.841(728.1)

44.35.29.11.12

I. ДЕРИВАЦИОННАЯ ГЭС ЧИКСОЙ (ГВАТЕМАЛА). Gysel M., Lommatzsch M. Guatemala's Chixoy hydroelectric scheme. - International Water Power and Dam Construction, 1986, 38, № 6, 15-18 (англ.)

В 1972 г. Национальный институт по электрификации приступил к изучению среднего течения р. Чиксой в целях ее энергетического использования.

В апреле 1986 г. крупнейшая ГЭС страны с установленной мощностью 300 МВт в пяти агрегатах была введена в промышленную эксплуатацию.

На участке реки протяженностью 150 км в нескольких створах по геологическим и топографическим условиям можно было расположить сооружения гидроузла. На первом этапе проектно-изыскательских работ необходимо было выявить наиболее перспективные створы, типы и состав необходимых сооружений, на следующем этапе произвести их более тщательное рассмотрение и сравнение. Всего на первом этапе было изучено 32 варианта расположения сооружений. В результате этой ра-

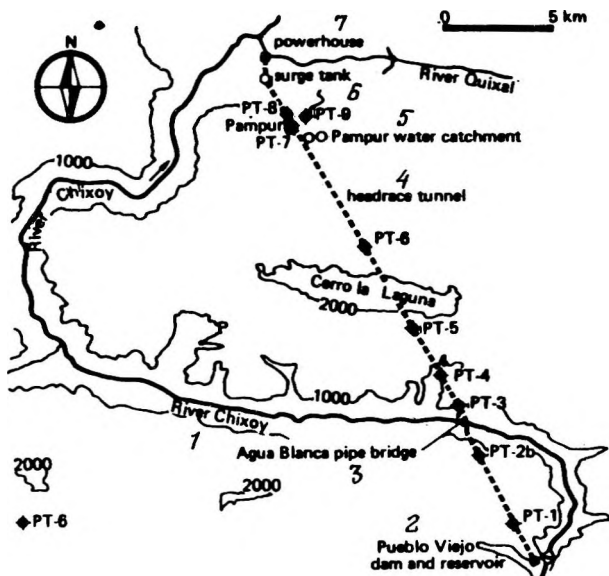


Рис. 1. Схема деривационной ГЭС Чиксой:

1 - русло р. Чиксой; 2 - плотина Пуэбло-Вьехо; 3 - акведук Бланка; 4 - напорная туннельная подводящая деривация; 5 - место врезки боковой приточности в подводящую деривацию; 6 - уравнильный резервуар; 7 - здание ГЭС

боты за основной была принята схема, получившая впоследствии наименование Чиксой. Схема энергетического гидроузла приведена на рис. 1.

Бассейн р. Чиксой расположен в северо-западной и центральной частях страны. Площадь водосбора в месте расположения сооружений гидроузла составляет 6000 км², бассейн реки находится в гористой местности с высокими горами, имеющими вершины на отметках от 300 до 3000 м над уровнем океана, и глубокими ущельями. Русло реки на протяжении около 20 км выше створа плотины проходит в узком каньоне с очень крутыми, местами вертикальными, откосами. Небольшая растительность имеется лишь в районе выше расположенных сооружений гидроузла.

Геологические условия района расположения сооружения представлены метаморфическими породами, перекрытых отложениями конгломератов и наличием карстовых областей. Имеются, расположенные на различных отметках, залежи гравия, песка и глины. Район строительства отличается высокой сейсмичностью, наличием активных тектонических трещин.

Среднегодовая норма осадков составляет 1000 мм, с максимальными осадками в период с июня по сентябрь, в течение которого норма осадков может достигать 50 мм/сут.

Среднее течение р. Чиксой расположено в центральной части страны, примерно в 125 км от столицы страны г. Гватемала. На втором этапе проектирования детально были рассмотрены четыре варианта компоновки и параметров ГЭС с одновременным их сравнением с альтернативными ГЭС. По этим вариантам установленная мощность ГЭС изменялась от 40 МВт со среднегодовой выработкой электроэнергии 115 млн.кВт·ч до 300 МВт со среднегодовой выработкой 1710 млн.кВт·ч.

По всем створам возможного расположения сооружений ГЭС в период с 1973 по 1974 гг. были проведены необходимые геологические, геотехнические, гидрологические и метеорологические исследования.

После выявления оптимального варианта сооружений, створа расположения плотины и трассы напорной подводящей деривации в 1976 г. приступили к сооружению сети подъездных автодорог. Все сооружения комплекса были разбиты на следующие семь участков, к которым прокладывались дороги: плотина с водосбросными сооружениями и отводящими строительными туннелями, подводящая напорная туннельная деривация, турбинные трубопроводы, наземное здание ГЭС, распределительное устройство и трасса линии электропередачи.

Происшедшее в Гватемале в 1976 г. сильное землетрясение привело к необходимости выполнения серии дополнительных расчетов на прочность и устойчивость всех запроектированных сооружений с учетом максимально возможного сейсмического воздействия. При этом учитывалось,, что в районе расположения основных сооружений гидроузла проходит активный геологический сброс.

В изготовлении необходимого гидромеханического, турбинного и электрического оборудования принимали участие фирмы Италии, Японии, Мексики, Португалии, Испании, Швейцарии, ФРГ и США. Общая стоимость строительства гидроузла оценена в 900 млн. американских долл.

Работы по возведению гидроузла были начаты в 1977 г. с сооружения перемычек для ограждения котлована под плотину, строительства отводящих строительных туннелей и напорной туннельной деривации ГЭС. В начале 1983 г. основные строительные-монтажные работы по всем сооружениям были завершены, что позволило уже в начале мая 1983 г. приступить к проведению пусковых испытаний гидроагрегатов.

Однако, в 1983 г. в связи с обнаружившимися значительными фильтрационными утечками воды из туннельной деривации было принято ре-

шение о полной остановке станции и проведении осмотра туннеля, который подтвердил наличие в бетонной облицовке значительных, но ограниченных по протяженности разрушений и необходимости проведения значительных по объему ремонтных работ. На основании проведенного осмотра с учетом геологического строения пород в районе прохождения трассы туннеля было принято решение об устройстве на отдельных участках туннеля металлической облицовки. Эти работы были выполнены в период с 1983 по конец 1985 гг., после чего испытания агрегатов и систем станции были продолжены. К апрелю 1986 г. все пусконаладочные испытания были закончены и станция была передана в промышленную эксплуатацию.

Для пропуска строительных расходов в период возведения плотины на правом и левом берегах реки были сооружены два строительных туннеля, имеющих соответственно длину 480 и 500 м.

Основная плотина комплекса Пуэбло-Вьехо максимальной высотой 130 м и длиной 250 м возведена из зонированной каменной наброски с глиняным ядром, имеющим небольшой наклон в сторону верхнего бьефа. Верховой откос плотины имеет уклон 1:2, низовой - 1:1,75. Полный объем тела плотины составляет 3,2 млн.м³. До начала отсыпки материала в тело плотины под ее основанием была сооружена галерея, из которой для заполнения карстовых полостей и уплотнения скальных пород было произведено бурение более 200 км специальных скважин. Через эти скважины было заинъектировано свыше 20000 т уплотняющего материала.

Материал для тела плотины был в основном получен из полезных скальных выемок строительных туннелей и водосбросных сооружений. Глинистый материал для ядра плотины был получен из специально открытого карьера.

Расположенный на левом берегу катастрофический водосброс (рис. 2) рассчитан на пропуск расхода повторяемостью 0,01%, равный 3900 м³/с. Для гашения энергии сбрасываемых расходов водосброс оснащен специальным трамплином, отбрасывающим струю в сторону нижнего бьефа. На гребне водосброса предусмотрена возможность установки затворов для регулирования величины сбрасываемого расхода. Сооружение водосброса потребовало выполнения около 2,2 млн.м³ скальной выломки и укладки 70 тыс.м³ бетона.

После завершения строительства плотины один из строительных туннелей был закрыт бетонной пробкой, второй туннель был переоборудован с целью использования его в качестве донного водоспуска, для

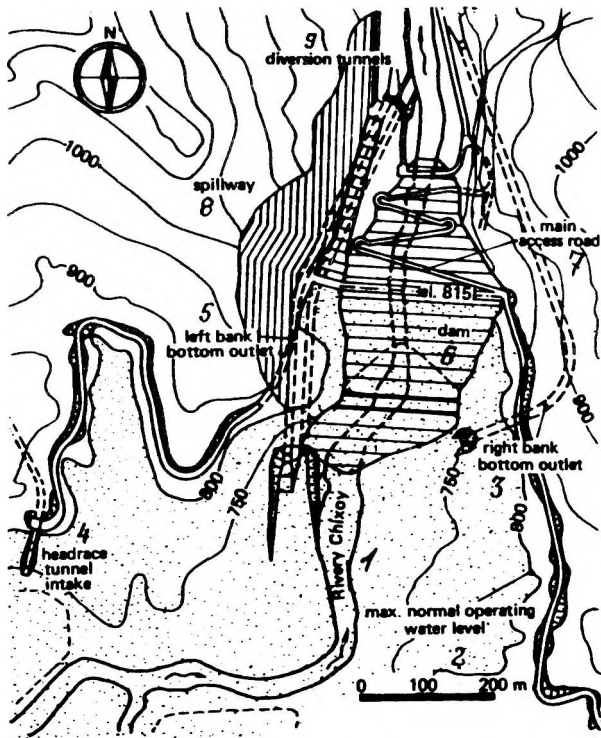


Рис. 2. План головного узла:

1 - русло р. Чиксой; 2 - линия уреза водохранилища при нормальном подпертом уровне; 3 - правобережный донный водовыпуск; 4 - энергетический водоприемник; 5 - левобережный донный водовыпуск; 6 - тело плотины; 7 - главная подъездная автодорога; 8 - водослив; 9 - строительный туннель

чего он был оборудован плоскими скользящими затворами, рассчитанными на пропуск максимального расхода $170 \text{ м}^3/\text{с}$.

На правом берегу реки был запроектирован донный водовыпускной туннель диаметром $7,1 \text{ м}$ и длиной 715 м , рассчитанный на пропуск расхода $460 \text{ м}^3/\text{с}$. Камера затворов туннеля оборудована плоским скользящим и сегментным затворами.

Образуемое плотиной водохранилище с отметкой НПУ 800 м и максимальной сработкой до 766 м имеет длину около 50 км , площадь при отметке НПУ около $13,5 \text{ км}^2$, полный объем 460 млн. м^3 , полезный объем

320 млн.м³. Мертвый объем водохранилища в размере 140 млн.м³ предназначен для аккумуляции поступающих в водохранилище наносов и рассчитан на полное заилиние в течение более чем 50 лет. Ожидается, что после того как выше по реке будут построены новые ГЭС, срок заилиния водохранилища значительно увеличится.

Напорная подводящая туннельная деривация спрямляет один из участков русла реки (см. рис. 1). Водоприемник расположен на расстоянии около 600 м от плотины и оборудован сороудерживающими решетками, плоскими катковыми затворами и ремонтным шандорным заграждением.

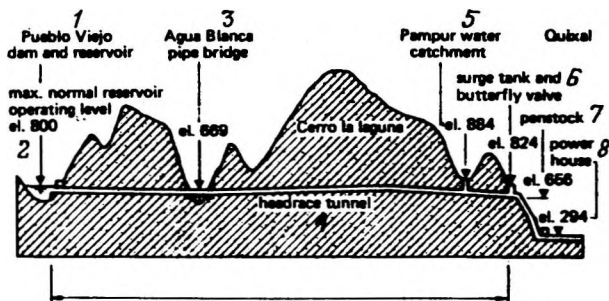


Рис. 3. Продольный профиль подводящих напорных водоводов ГЭС:

1 - плотина Чиксой и созданное водохранилище; 2 - нормальный подпорный горизонт водохранилища; 3 - акведук Бланка; 4 - подводящая напорная деривация; 5 - место приемки боковой приточности; 6 - уравнильный резервуар и камера затворов; 7 - турбинный водовод; 8 - здание ГЭС

Общая длина напорного подводящего туннеля от водоприемника до уравнильного резервуара составляет около 26 км (рис. 3). В месте пересечения трассой деривации геологического разлома сооружен трубчатый акведук, по которому проложен металлический трубопровод диаметром 4350 мм длиной 180 м. От акведука до начала турбинных трубопроводов трасса деривации имеет внутренний диаметр 4,94 м и длину 18 км. На всей длине туннель имеет бетонную облицовку. На отдельных участках, в местах крайне плохих геологических условий, туннель кроме бетонной облицовки имеет еще металлическую облицовку.

Проходка напорного подводящего туннеля осуществлялась тремя проходческими машинами, на отдельных участках - буровзрывным спосо-

бом. В процессе сооружения туннеля встретились значительные трудности, вызванные сложными геологическими условиями. В результате имевшего место обвала была потеряна одна из проходческих машин. Общий объем скальной туннельной выемки составил 730000 м³. В облицовку туннеля было уложено 195 тыс. м³ бетона.

Подводящая деривация заканчивается двухкамерным уравнильным резервуаром без дополнительного сопротивления (рис. 4).

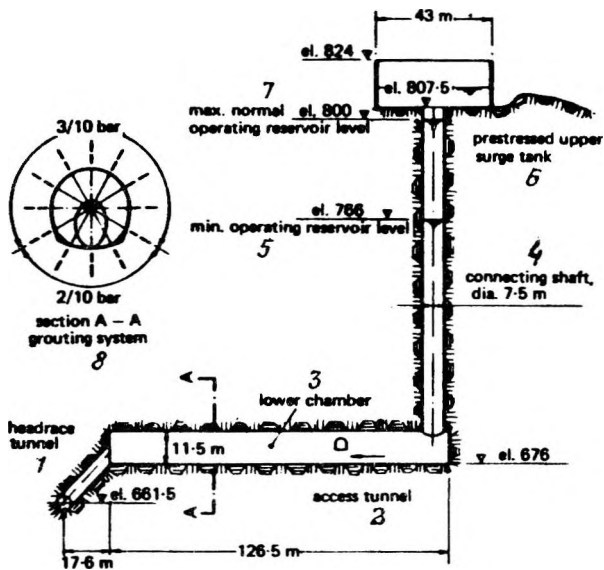


Рис. 4. Сечение уравнильного резервуара:

1 - подводящая напорная туннельная деривация; 2 - транспортный туннель; 3 - нижняя камера уравнильного резервуара; 4 - вертикальная шахта резервуара; 5 - минимальный уровень воды в водохранилище; 6 - верхняя камера резервуара; 7 - нормальный подпорный горизонт в верхнем бьефе; 8 - сечение по системе укрепительной цементации

Верхняя камера уравнильного резервуара выполнена из предварительно напряженного железобетона и расположена на дневной поверхности. Нижняя камера выполнена в виде участка горизонтального туннеля длиной 126,5 м, к одному концу которого присоединена вертикальная шахта уравнильного резервуара, к другому - короткий наклонный участок туннеля, соединяющий нижнюю камеру с напорными водоводами.

В связи с большим притоком грунтовых вод из карстовой зоны на период строительства уравнительного резервуара была сооружена специальная отводящая система, включающая отводящий канал. Для использования этого расхода в период работы ГЭС с целью увеличения ее выработки была пройдена специальная дополнительная вертикальная шахта длиной 200 м, соединенная коротким каналом (400 м) с карстовой зоной. По этому каналу в систему напорных водоводов ГЭС подается дополнительно $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

В конце напорной деривации расположена камера затворов, в которой расположен дисковый затвор диаметром 4350 мм.

Наклонный подводящий водовод длиной 146 м был устроен в скальной траншее, вырубленной в скальном склоне берега реки, которая затем была перекрыта железобетонной плитой. Диаметр водовода уменьшается по длине от 4350 мм на верхнем конце до 3650 мм на нижнем перед развилкой у здания ГЭС.

В здании ГЭС установлены пять агрегатов с единичной мощностью по 60 МВт. При расчетном напоре все агрегаты пропускают максимальный расход, равный $75 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный напор нетто равен 504 м.

Агрегаты оборудованы вертикальными ковшовыми турбинами, каждая из которых имеет шесть сопел. Частота вращения агрегата 360 об./мин. Отметка оси рабочего колеса принята равной 296 м, что на 2 м выше максимального уровня воды в нижнем бьефе. Для обеспечения работы агрегатов при всех значениях уровней в нижнем бьефе с максимальной мощностью здание ГЭС оборудовано специальной системой, отжимающей воду из отводящей камеры турбин, что исключает возможность подпора со стороны нижнего бьефа.

Электрическая часть ГЭС выполнена по блочной схеме с установкой на каждый агрегат одного трехфазного трансформатора, повышающего генераторное напряжение до 230 кВ.

При среднемноголетней выработке ГЭС 1710 млн.кВт·ч гарантированная выработка составляет 1400 млн.кВт·ч.

Отводящий канал ГЭС, соединяющий здание станции с нижним бьефом - руслом реки, имеет длину 500 м. ГЭС соединена с потребителем энергии одной линией электропередачи длиной 125 км. Ил. 8.

М.Ф.Губин

2. САМОЗАКРЫВАЮЩИЕСЯ КОЛЬЦЕВЫЕ (ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ) ПРЕДУРБИННЫЕ ЗАТВОРЫ НА КАНАДСКИХ ГЭС. Hudon P.

Self-closing cylindrical gate improves safety at low cost. - International Water Power and Dam Construction, 1986, 38, № 8, 45-48 (англ.)

На двух ГЭС гидроэнергетического комплекса Ла-Гранд перед турбинами установлены 17 кольцевых (цилиндрических) самозакрывающихся затворов, которые являются одними из крупнейших в мире и имеют диаметры 7845 и 7639 мм. Кольцевой затвор (см. рисунок) представляет собой короткий тонкостенный цилиндр, охватывающий рабочее колесо турбины и перекрывающий проход между направляющим аппаратом и статором. В открытом положении он размещается в нише, образованной статором и верхней крышкой турбины. Электрогидравлическая система обеспечивает ручное или автоматическое управление затвором, связанное с циклом пуска-остановки агрегата. В нормальных условиях затвор закрывается вслед за остановкой турбины, а при пуске подъем затвора предшествует открытию направляющего аппарата. В аварийной ситуации затвор должен закрываться при полном расходе через турбину без использования внешних источников энергии, чем обеспечивается надежность эксплуатации ГЭС (ГАЭС).

Для подъема затвора используется группа гидроцилиндров одностороннего действия, установленных на фланце верхней крышки турбины. При подъеме масло под давлением подается из пневмогидроаккумуляторов в нижнюю полость гидроцилиндра. При команде на опускание распределительный золотник соединяет нижнюю полость со сливной гидролинией и масло выжимается из-под поршня цилиндра под действием сил, обеспечивающих самозакрывание затвора. Для ограничения скорости опускания затвора в случае разрыва маслопровода в каждом гидроцилиндре на сливной магистрали имеется калиброванное отверстие.

Все цилиндры объединены между собой синхронизирующим устройством, предотвращающим горизонтальные смещения и перекосы затвора при асимметричном распределении действующей на него нагрузки. Основу синхронизирующего устройства составляют имеющиеся в гидроцилиндрах винтовые передачи, в которых гайка связана с поршнем, а винт проходит через верхнюю крышку гидроцилиндра и удерживается в вертикальном положении упорным подшипником. При перемещении поршня соответствующий винт вращается. На верхних концах винтов установлены

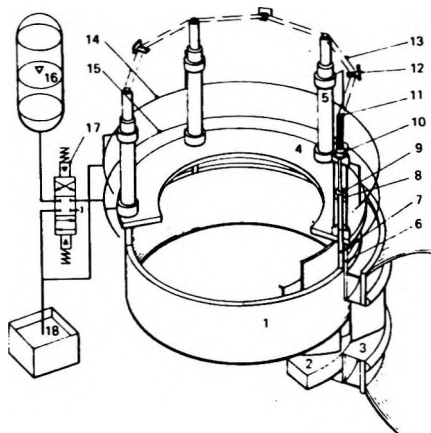


Схема установки кольцевого предтурбинного затвора:

1 - кольцевой затвор; 2 - нижнее кольцо; 3 - статор турбины;
 4 - верхняя крышка; 5 - гидроцилиндр; 6 - камера затвора; 7 - шток;
 8 - поршень; 9 - винтовая передача; 10 - упорный подшипник;
 11 - звездочка; 12 - устройство для натяжения цепи; 13 - замкнутая
 цепь; 14 - верхняя маслонапорная магистраль; 15 - нижняя маслонапор-
 ная магистраль; 16 - резервуар-аккумулятор; 17 - распределительный
 золотник; 18 - сливной бак

звездочки, которые охвачены бесконечной цепью с натяжными устрой-
 ствами. Благодаря этому обеспечивается синхронное движение поршней
 во всех гидроцилиндрах. В случае возникновения недопустимого пере-
 коса срабатывает защитное устройство, которое дает команду на пере-
 мещение распределительного золотника для перекрытия слива масла и
 остановки затвора.

Процесс аварийного опускания затвора под напором изучался на
 модели с регистрацией таких параметров, как расход, перепад давлени-
 я на затворе, при этом выяснялось взаимодействие затвора и направ-
 ляющего аппарата. Результаты экспериментов позволили определить
 гидравлические вертикальные силы, необходимые для проектирования
 привода и установления его рабочих характеристик.

Для надежного опускания затвора в потоке необходимо, чтобы
 сумма массы затвора и силы давления на его верхнюю поверхность все-
 гда была больше, чем сумма силы трения и силы давления снизу на его
 ножевую часть. При вполне определенных значениях массы и сил трения,
 зависящих от конструкции ходовых частей и направляющих, равнове-
 дящая вертикальных сил определяется только гидравлическими на-

грузками на затвор сверху и снизу. Возможности изменения формы нижней части затвора ограничены по условиям обеспечения уплотнения и отрыва потока, потому решающее влияние оказывает давление в камере над затвором. Это давление непосредственно зависит от соотношения пропускной способности верхового и низового зазоров между корпусом затвора и забральной частью камеры. Чем меньше зазор с внутренней стороны, тем выше давление в камере и тем больше создаваемое усилие на посадку затвора. Это позволяет регулировать скорость опускания затвора, изменяя этот зазор по высоте. Для этого на поверхности затвора устраивают специальные канавки переменной ао высоте сечения. Как показывают записи, сделанные в процессе опускания кольцевого затвора на ГЭС Ла-Гранд-4 при пропуске через турбину расхода 284 м³/с при напоре 119,6 м в начале опускания давление в камере над затвором растет медленно, а затем, когда достигнуты треугольные канавки на внутренней поверхности затвора, давление в камере увеличивается, и тем самым обеспечивается надежная посадка затвора в условиях увеличивающихся сил трения. При подходе нижнего уплотнения к порогу резко возрастает давление на низ затвора, и это оказывает тормозящее действие. Верхнее уплотнение размещено с внутренней стороны затвора. Диаметр контура верхнего уплотнения меньше, чем диаметр контура нижнего уплотнения, благодаря этому на закрытый затвор действует вертикальная гидравлическая сила, направленная вниз, способствующая прижатию и герметизации уплотнений. В гидроцилиндре предусмотрено амортизирующее устройство, смягчающее удар при подходе затвора к порогу, действующее на основе ступенчатого изменения диаметра выпускного отверстия.

Как и любой аварийно-ремонтный предтурбинный затвор, кольцевой затвор предотвращает потери энергии, вызванные протечками через направляющий аппарат. Он сводит к минимуму цикличность нагружения трубопровода, связанную с его опорожнением и повторным наполнением, что особенно важно для высоконапорных установок. При групповом питании турбин кольцевой затвор позволяет выполнять ревизии и ремонты турбины, вплоть до демонтажа рабочего колеса, без остановки других агрегатов. Такая остановка требуется только при необходимости ревизии спиральной камеры и направляющего аппарата, но обычно это более редкие операции. Вместе с тем по сравнению с традиционными предтурбинными затворами (шаровыми и дисковыми) кольцевые затворы обладают существенными экономическими преимуществами. Сам кольцевой затвор значительно дешевле, его стоимость с приводом примерно в 2-3 раза меньше, чем у дискового, и примерно в 4 раза меньше, чем у шарового затвора для тех же условий. Кроме того, налицо опреде-

ленные компоновочные преимущества кольцевых затворов, для которых не требуется специальных помещений. Это дает экономию в объеме бетона и выемок, что особенно важно для подземных машинных залов. Сопоставление, выполненное для одной из канадских станций, показало, что замена дисковых предтурбинных затворов кольцевыми позволяет уменьшить объем выемки на 15% и сократить пролет крана на 14%.

Способность кольцевых затворов закрываться в аварийном случае в потоке без внешнего источника энергии повышает эксплуатационную надежность установки и позволяет обойтись без автономных МНУ для питания гидросистемы затвора, что также экономит объем помещений ГЭС.

Кольцевые затвора на установках Ла-Гранд-3 и Ла-Гранд-4 успешно эксплуатируются в течение нескольких лет. Во Франции успешно работают аналогичные затворы различных параметров фирмы "Нейрпик". Сейчас эта фирма производит кольцевые затворы диаметром 8 м для обратимых гидромашин мощностью 73,15 МВт для Португалии.

Рекомендуется, начиная с самых ранних стадий проектирования, рассматривать установку кольцевых затворов на ГЭС с радиально-осевыми или поворотно-лопастными турбинами и на ГАЭС. Ил. 4. Библ. 4.

А.Р.Фрейшист

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ И ГИДРОУЗЛЫ

УДК 627.825.001.5(680)

44.35.31.16.12.12

3. СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ И НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕДЕНИЯ АРОЧНОЙ ПЛОТИНЫ РОДЕ ЭЛЬСБЕРГ (ЮАР). O'Connor J.P.F. Comparison of the observed and predicted behaviour of Roode Elaberg arch dam including the effort of tensile cracking in the concrete. - "15 th International Congress on Large Dams, Lausanne, 24-26 June, 1985, Transactions, vol. 1, Quest. 56", Paris, s.a., R. 40, 763-779 (англ.)

Арочная плотина двоякой кривизны ($h = 72$ м, $l = 272$ м) образует водохранилище для нужд ирригации в провинции Саре в Южной Африке

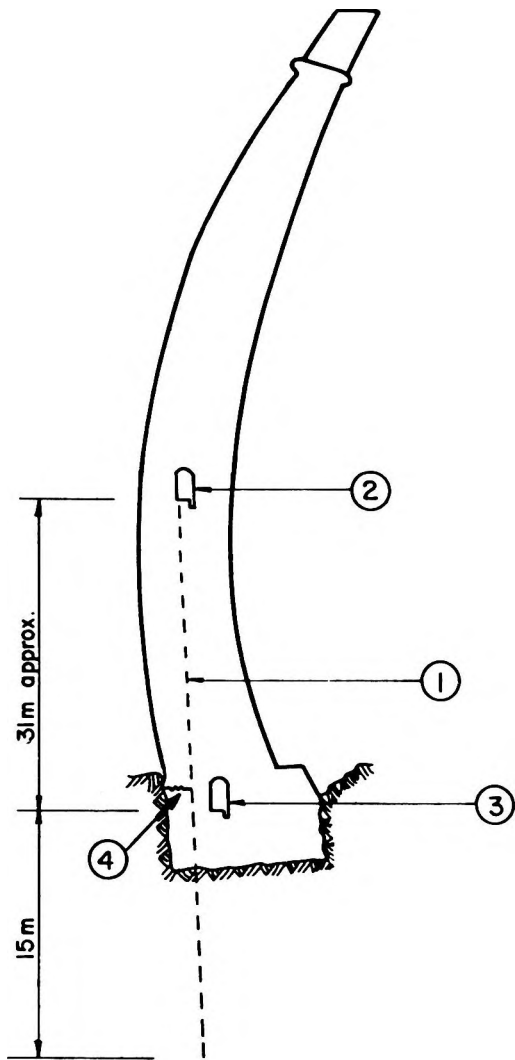


Рис. 1. Разрез по центральной секции (консоли) плотины:
1 - скважина; 2 - верхняя потерна; 3 - нижняя потерна; 4 - возможное расположение трещины

толщиной у гребня - под водосбросом - 3,6 м и 9,1 м на уровне нижней потерны (на уровне естественной поверхности). Толщина сооружения резко возрастает до 12,2 м при переходе к бетонной подушке (рис. 1). Радиус кривизны арок изменяется от 140,5 м до 102 м (сверху вниз). Выполненные в 1978 г. расчеты методом конечных элементов показали наличие больших зон растягивающих напряжений, значения которых превышали допустимые для бетона тела сооружения. Такое напряженно-деформированное состояние указывало на возможность образования трещин по контакту бетон-скала со стороны напорной грани.

Результаты исследований показали необходимость организации натурных наблюдений за смещениями сооружения с целью проверки обоснованности выводов о возможности образования трещин в бетоне. Для этой цели на сооружении были организованы проводившиеся два раза в год геодезические исследования путем наблюдения за горизонтальными смещениями специальных марок. В основании, сложенном кварцитовым песчаником, обнаружены линзы ослабленных пород, скала в правобережном примыкании частично выветрелая, что послужило причиной большего заглубления плотины на этом участке в основание.

Характеристики скалы основания изучались в полевых условиях в специально проходившихся для этой цели штольнях как до, так и после выполнения укрепительных цементационных работ. Значения модуля деформации для бетона составляют 22,5 ГПа, для скалы основания от 2,3 до 29,5 ГПа. Малые значения модуля деформации соответствуют основанию правобережной части сооружения. Большие значения модуля характерны для левобережной и русловой частей сооружения. Эти зоны показаны на рис. 2, где видно, что они отражены и в конечноэлементной разбивке для аналитических исследований работы плотины и основания.

Значение коэффициента Пуассона в расчетах принято постоянным как для скалы основания, так и для бетона плотины и равным 0,2, согласно результатам исследований. Значение модуля сдвига для бетона получено равным 12,5 ГПа. Для скалы основания оно изменяется от 1,1 ГПа до 12,3 ГПа. Изменения температуры, учитывавшиеся при аналитических исследованиях, замерялись датчиками, расположенными в теле сооружения на расстоянии 1,2 м от нижней и верхней граней.

Конечноэлементная сетка, использованная для аналитических исследований, состоит из 5 горизонтальных рядов элементов; по толщине плотина разбита на 2 элемента. Тип элементов: в теле сооружения 20-узловые изопараметрические элементы и 15-узловые клиновидные

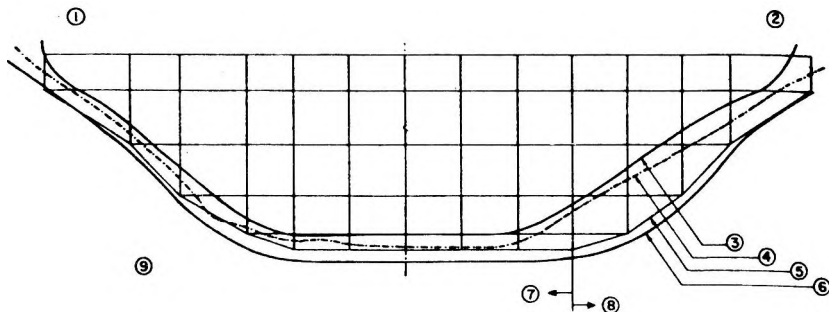


Рис. 2. Арочная плотина Роде Эльсберг:

1 - левый берег; 2 - правый берег; 3 - граница бетонной подушки; 4 - дневная поверхность; 5 - граница конечных элементов в теле плотины; 6 - граница выемки под котлован; 7 - прочная скала; 8 - ослабленная скала; 9 - конечные элементы в зоне основания не показаны

элементы вблизи основания. Непосредственно по контакту сооружение-основание использованы 16-узловые граничные элементы для возможности моделирования образования трещин, то есть моделирования нелинейной работы системы "сооружение-основание". В основании использованы 20 узловых элементов, таких же, как и для бетона плотины.

Основными расчетными случаями при аналитических исследованиях являлись изменения уровня водохранилища при постоянной температуре бетона и изменения температуры бетона сооружения при неизменном уровне водохранилища. В расчетах учитывались изменения температуры, имевшие место в период 1980 и 1981 гг. При этом вода верхнего бьефа достигла отметки НПУ. Изменения температуры были невелики - всего в пределах нескольких градусов.

Характерно, что отличия замеренных в натуре смещений плотины от их теоретических значений не превышали нескольких миллиметров. Результаты натурных и аналитических исследований показывают, что учет только линейной работы системы "сооружение-основание" приводит к меньшим значениям относительных смещений плотины, чем это имеет место в действительности. Таким образом при аналитических исследованиях необходим учет нелинейной работы система. Для правобережного участка плотины данные геодезических исследований показывают большие значения смещений, чем полученные аналитически. Это может быть объяснено тем, что в расчетах для правобережного участка ис-

пользованы значения характеристик скалы основания, превышающие юс реальные значения.

Так как полученные аналитические результаты напряжений в плотине соответствуют наихудшему сочетанию нагрузок и исходных данных и их учет позволяет достаточно достоверно определить место образования трещин, было решено не производить повторные уточненные расчеты напряженно-деформированного состояния сооружения. Анализ результатов исследований показывает, что смещения и напряжения плотины зависят, главным образом, от принятых значений модуля упругости материала, равного 22,5 ГПа, который по результатам исследований и анализа литературных данных представляется достаточно реальным для бетона с заполнителем из дробленого кварцита.

Второй цикл исследований был выполнен при изменении температуры бетона и постоянном уровне верхнего бьефа.

Для определения смещений, вызванных только изменениями температуры, из суммарных значений смещений, полученных при учете собственного веса, гидростатического давления и изменения температур, вычитались значения смещений, обусловленных действием собственного веса и гидростатического давления. В процессе исследований выявились некоторые трудности, обусловленные малым числом использованных клинометров (только 3). Как показывает оценка результатов исследований, оптимальным числом клинометров было бы 5. Однако и при этом числе клинометров достоверность полученных результатов гарантируется тем, что за счет образования трещины - шарнира - в нижней части плотины распределение смещений по высоте сооружения должно иметь линейный характер.

Анализ данных исследований показывает, что смещения, полученные аналитически при учете образования трещины в нижней части сооружения, хорошо согласуются со смещениями, полученными натурными наблюдениями. Кроме того, видно, что температурные смещения независимы от значений модуля упругости бетона тела плотины.

В 1983 г. было принято решение дополнить существующую сеть КИП в плотине скользящими микрометрами, для чего из верхней потерны (см. рис. 1) на глубину 15 м в основание были пройдены 3 скважины: одна в центральной консоли и 2 в береговых секциях. С помощью этих устройств замеряются горизонтальные смещения стенок скважин. В ноябре 1983 г. были пройдены на полную глубину береговые скважины, однако при проходке центральной скважины на уровне нижней потерны между ней и напорной гранью был обнаружен поток напорной воды. В

ВНИМАНИЕ! Обязательное заполнение карт обратной связи установлено решением Минэнерго СССР. О результативности использования информации в отдельных организациях и в целом по отрасли регулярно докладывается руководству Министерства.

КАРТА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Возвратить в течение двух месяцев со дня получения по адресу:
 129041, Москва, проспект Мира, 68, Информэнерго.
 Отдел зарубежной информации (НТИ-II).

Наименование серии экспресс-информации, год, номер выпуска Гидроэнергетика за рубежом, 1987, вып. I	Сведения о подписчике		
	Министерство	Главк	Организация

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИИ

Наименование сообщений	Имеет практическую ценность	Намечена к внедрению (использованию)	Не соответствует направлению деятельности	Информация устарела
I	2	3	4	5
Деривационная ГЭС Чиксой (Гватемала) Самозакрывающиеся кольцевые (цилиндрические) предтурбинные затворы на канадских ГЭС Сопоставление результатов аналитических и натурных исследований поведения арочной плотины Роде Эльсберг (ЮАР) Строительство гравитационной плотины Элк Крик из укатанного бетона (США)				

I	2	3	4	5
Причины образования трещин в бетоне плотин и меры по их предотвращению (Япония) Инъекция химических растворов в фильтрующие трещины в бетоне плотин (США) Обследование и ремонт старых плотин из каменной кладки (ФРГ) Реконструкция плотин Вааль и Лури (ЮАР)				

О чем Вы хотели бы прочитать в следующих выпусках нашей серии:

1. _____
2. _____
3. _____

Главный инженер _____

М.П.

" _____ " _____ 1987 г.

это время водохранилище было полностью заполнено. В связи с этим скважину пришлось законсервировать. В феврале 1984 г. уровень водохранилища был понижен на 28 м и приток воды в скважину прекратился, после чего проходка была завершена на полную глубину. Анализ кернов в зоне притока воды показал разрушение заполнителей бетона, что свидетельствовало о наличии трещины в этой зоне. Подъем уровня воды на 30 м в течение последующих 6 недель вызвал смещение плотины, приведшее к раскрытию трещины на 2,2 мм, причем зона растягивающих напряжений распространилась от верха нижней потерны через плотину в скалу основания. Кольматация трещины наносами и ее последующее закрытие при снижении уровня воды верхнего бьефа и при изменении температуры бетона исключили фильтрацию воды через трещину.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет заключить, что результаты натурных и аналитических исследований хорошо согласуются при учете нелинейной работы системы, обусловленной образованием трещины в нижней части сооружения со стороны напорной грани. Полученные результаты позволяют в последующем надежно оценивать поведение плотины при различных сочетаниях нагрузок и своевременно реагировать на все аномалии в ее работе. Ил. 9. Библ. 5.

Я.И.Натарису

СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И ГИДРОУЗЛОВ

УДК 627.824.7.012.4.05:693.546.4:625.084(73) 67.29.59.25.15

4. СТРОИТЕЛЬСТВО ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ ЭЛК КРИК ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА (США). Reinhardt W.G. Rollcrete dam design evolution. - Engineering News-Record, 1986, 217, № 2, 32-33 (англ.)

В юго-западной части штата Орегон на р. Рог по проекту Корпуса военных инженеров (округ Портленд) начато строительство бетонной гравитационной плотины Элк Крик, которая предназначена для регулирования речного стока с целью предотвращения наводнений. Плотина, после возведения ее до проектных отметок, будет иметь высоту 76 м, длину по гребню 785 м, объем бетона в теле плотины составит около 765 тыс.м³. Эта плотина, которая по проектам Корпуса военных инже-

неров строится из укатанного бетона, однако по своим техническим решениям и технологии возведения будет существенно отличаться от плотины Уиллоу Крик, которая была построена за 125 дней из укатанного бетона в 1982 г.

Следует отметить, что первоначально в выбранном створе предполагалось возвести каменно-набросную плотину, по которой еще в 1975 г. была подготовлена техническая документация для торгов по сдаче подряда на производство строительных работ. Однако, из-за возражений штатных властей по проекту начало строительства было задержано на 7 лет; за это время Портлендским округом Корпуса военных инженеров были подготовлены проекты сооружения из укатанного бетона нескольких небольших плотин и начаты интенсивные инженерные исследования возможности возведения из укатываемой бетонной смеси плотины также в створе Элк Крик. Проектирование этой плотины выполнялось до того, как был разработан проект плотины Уиллоу Крик. В 1982 г. были проведены крупномасштабные исследования новой технологии бетонных работ на двух опытных секциях, рассмотрены 17 различных вариантов используемого строительного оборудования и составов укатываемых бетонных смесей; результаты этих испытаний были тщательно оценены и положены в основу для обоснования принятия новых технических решений.

Одно из основных отличий плотины Элк Крик от плотины Уиллоу Крик состоит в том, что для плотины Элк Крик принят более массивный поперечный профиль; это объясняется тем, что створ плотины находится в зоне высоких сейсмических нагрузок, и поскольку плотина предназначена для образования водохранилища объемом 123 млн.м³ в сильно населенном районе требуется обеспечить более высокую надежность сооружения в процессе его эксплуатации. Было признано необходимым обеспечить такие же эксплуатационные качества плотины из укатанного бетона, какие достигаются в гравитационных плотинах из обычного массивного бетона.

Права на производство строительных работ по плотине Элк Крик получила японская строительная фирма, заявившая на торгах наиболее низкую стоимость строительства. Единичная расценка на укатанный бетон составляла 25,4 долл./м³; при этом расходы были распределены следующим образом: укладка укатываемой бетонной смеси и подстилающего слоя - 18,3 долл., стоимость портландцемента (70 кг/м³) - 5,4 долл., стоимость золы-уноса (33 кг/м³) - 1,46 долл., стоимость добавки для снижения водопотребности и замедления схватывания - 0,39 долл. Работы по подготовке основания плотины уже начались. - Пер-

вые кубометры укатываемой бетонной смеси будут уложены весной 1987 г. для возведения верховой перемычки высотой 12,2 м. Бетонные работы по основной плотине подрядная фирма предполагает начать в ноябре 1987 г., примерно, на два месяца ранее срока, установленного графиком Корпуса военных инженеров. Согласно подрячному договору плотина должна быть построена к июню 1988 г.

Технология бетонных работ по плотине будет несколько отличаться от той, которая была принята для плотины Уиллоу Крик; в технических условиях на производство работ в известной мере учтен опыт строительства плотины Уиллоу Крик. Для опалубливания вертикальной верховой грани плотины намечено использовать металлическую опалубку, за которой из бетона будет формироваться защитная зона толщиной 0,9 м, являющаяся первым противодиффузионным барьером. Во внутренней зоне плотины намечено укладывать укатываемую бетонную смесь с большим содержанием цемента, золы-уноса и воды, чем в смеси, использованной для плотины Уиллоу Крик. Основная цель - обеспечение такой же водонепроницаемости и прочности укатанного бетона, как и обычного массивного бетона.

Чтобы минимизировать опасность образования в укатанном бетоне температурных трещин, укладку бетонной смеси намечено производить только в зимний период. Такой выбор времени бетонирования плотины считается наиболее рациональным с точки зрения обеспечения надлежащих прочностных свойств укатанного бетона. В отличие от многих других плотин, уже построенных в США из укатанного бетона, плотину Элк Крик будут возводить блоками высотой 60 см, при этом распределение бетонной смеси перед уплотнением будет выполняться четырьмя слоями толщиной по 15 см. Для распределения смеси будут использованы гусеничные бульдозеры, которые по мнению специалистов Корпуса военных инженеров при выполнении операции распределения обеспечивают некоторое первоначальное уплотнение бетона, благодаря чему заметно уменьшается вовлечение в бетон воздуха, что способствует снижению образования пор на поверхности блока. Уплотнение бетона будет осуществляться вибрационными катками, которые за 10 проходов могут обеспечить достижение требуемой плотности материала.

При укладке бетонной смеси в новый блок на поверхность предыдущего блока должен укладываться подстилающий слой из жирного цементного раствора с пластичной консистенцией; это должно способствовать предотвращению расслоения укатываемой бетонной смеси и хорошей связи бетонов в швах. Еще одна особенность технологии возве-

дения плотины Элк Крик заключается в том, что предусматривается устройство температурно-деформационных швов, вначале предполагалось всего 4 таких шва, однако позднее, когда выяснилось, что стоимость устройства этих швов невелика (0,76 долл./м³ укатанного бетона) число швов было увеличено до 10.

Плотину Элк Крик намечено бетонировать с высокой интенсивностью: по графику Корпуса военных инженеров в два пиковых месяца работ потребуется укладывать более 9500 м³/сут. По расчетам строителей для того, чтобы обеспечить укладку бетона в установленные сроки (к 30 июня 1988 г.), потребуется непрерывно в течение 6 мес. выполнять бетонные работы с интенсивностью 460 м³/ч, в связи с чем работы будут производиться круглосуточно в три смены.

В настоящее время на строительной площадке заняты 85 рабочих, которые работают в две смены. Ил. 3.

А.Б.Фролов

УЖ 627.824.7.012.4:620.192.46(520) 44.35.31.16.12.12

5. ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В БЕТОНЕ ПЛОТИН И МЕРЫ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ (ЯПОНИЯ). Fuisawa T., Nagayama I. Cause and control of cracks by thermal stress in concrete dams. - "15 th International Congress on Large Dams, Lausanne, 24-26 June, 1985, Transactions, vol. 2, Quest. 57". Paris, s.a., R. 7, 117-142 (англ.)

Образование трещин в бетоне плотин является весьма нежелательным, главным образом потому, что они создают потенциальную опасность нарушения конструктивной целостности сооружения и снижения водонепроницаемости бетона. В связи с этим уже в течение длительного периода времени при возведении бетонных плотин обязательно предусматриваются меры по регулированию температурного режима бетона: в современной практике плотиностроения достаточно четко определялись три основных способа температурного контроля. Первый из них направлен на уменьшение аккумуляции тепла в массе бетона и включает ограничения в части содержания цемента, высоты бетонизируемых блоков, продолжительности перерывов в бетонировании, предусматривает предварительное искусственное охлаждение компонентов бетонной смеси и последующее охлаждение уложенного в сооружение бетона. Второй способ вклю-

чает устройство в плотинах продольных и поперечных температурно-деформационных швов с уплотнениями различных типов и последующей цементацией швов для обеспечения монолитности сооружений. Третий способ предусматривает меры для снижения величины растягивающих напряжений вследствие изменений температуры бетона.

В японской практике плотиностроения мероприятия по регулированию температурного режима бетона начиная с 1954 г. осуществлялись практически при возведении всех крупных бетонных плотин, в т.ч.: плотин Маруяма ($h=98$ м), Нагаси ($h=87$ м), Камишиба ($h=110$ м), Сакума ($h=156$ м) и др.

Обширные исследования термонапряженного состояния бетонных сооружений позволили достаточно тщательно определить основные причины трещинообразования в массивном бетоне, выявить оптимальную технологию температурного контроля в зависимости от характеристик сооружений и условий их возведения. В последние годы подробные исследования были проведены также с целью определения необходимых мер температурного контроля в связи со строительством плотин Симадзигава ($h=89$ м) и Тамагава ($h=100$ м) из укатанного бетона.

Исследования, а также опыт строительства и эксплуатации бетонных сооружений показывают, что трещины в бетоне образуются вследствие того, что температурные напряжения, обусловливаемые изменениями температур бетона и степенью ограничения его объемных изменений, превосходят допустимые. Различают два вида ограничений объемных изменений бетона: внешнее и внутреннее защемление. Внешнее ограничение иногда называют "защемление бетона скальным основанием", но к нему относят также и ограничение объемных изменений вновь уложенного бетона старым, ранее уложенным и уже затвердевшим бетоном. Растягивающие температурные напряжения возникают и в тех случаях, когда при остывании бетона его температура снижается от максимальной до окончательно устойчивой температуры.

Температурные напряжения вследствие внутреннего защемления бетона характеризуются более сложно; внутреннее защемление имеет место в тех случаях, когда температуры разных частей бетонного сооружения изменяются по-разному и поэтому объемные изменения бетона в этих частях оказываются различными. Температурные напряжения вследствие внутреннего защемления бетона возникают на разных стадиях бетонирования: например, когда поверхности граней сооружений и внутренние зоны из свежесуложенного бетона испытывают различный подъем температуры в процессе гидратации вяжущего. Температурные напряже-

ния возникают также вследствие разницы в температурах массы бетона в блоке и бетоне, находящегося в непосредственной близости от труб охлаждающих змеевиков и в тех случаях, когда поверхность бетона в блоке охлаждается в результате воздействия холодной наружной среды. Температурные напряжения вследствие внутреннего защемления бетона определяются не температурными изменениями в рассматриваемой точке, а отношением к изменениям температуры окружающей среды, т.е. растягивающие температурные напряжения могут иметь место и в тех случаях, когда температура окружающей среды оказывается более высокой, чем температура бетона в теле сооружения.

Следует отметить, что оба вида температурного защемления бетона хотя и различаются по своему характеру, но механизм их, по существу, одинаков и разница лишь в подходе к их классификации. Так, ограничение объемных изменений бетонных поверхностей обычно классифицируют, как внутреннее защемление бетона, но его можно отнести и к внешнему защемлению бетона, если рассматривать поверхность бетона, как защемленную нижележащим бетоном. Более того, внешнее защемление бетона скальным основанием может классифицироваться, как внутреннее защемление, если считать, что только бетон испытывает изменения температуры в системе "бетон - скальное основание".

Величина внешнего защемления бетона определяется как отношение температурных напряжений при данном защемлении к тем, которые могли быть при полном защемлении бетона. При определении величины температурных напряжений в массивном бетоне сжимающими напряжениями, которые имеют место в результате повышения температуры в процессе твердения бетона, учитывая малые значения модуля упругости и высокую ползучесть бетона в этот период времени, можно пренебречь. Степень защемления массивного бетона в непосредственной близости от скального основания, вычисленную при использовании метода конечных элементов с учетом соотношения модулей упругости бетона и скалы (E_c/E_R) и соотношения между высотой и длиной блока (H/Z) можно определить по графику, представленному на рис. 1. Поскольку внешнее защемление бетона скальным основанием касается только нижних частей сооружений, примерно, в пределах зон на высоту, равную $1/4-1/3$ высоты сооружений, в верхних частях сооружений может быть допустим большой температурный перепад.

Внутреннее защемление бетона, в основном, не оказывает влияние на конструктивную устойчивость и водонепроницаемость бетонных плотин (за исключением тех случаев, когда имеют место трещины из-за

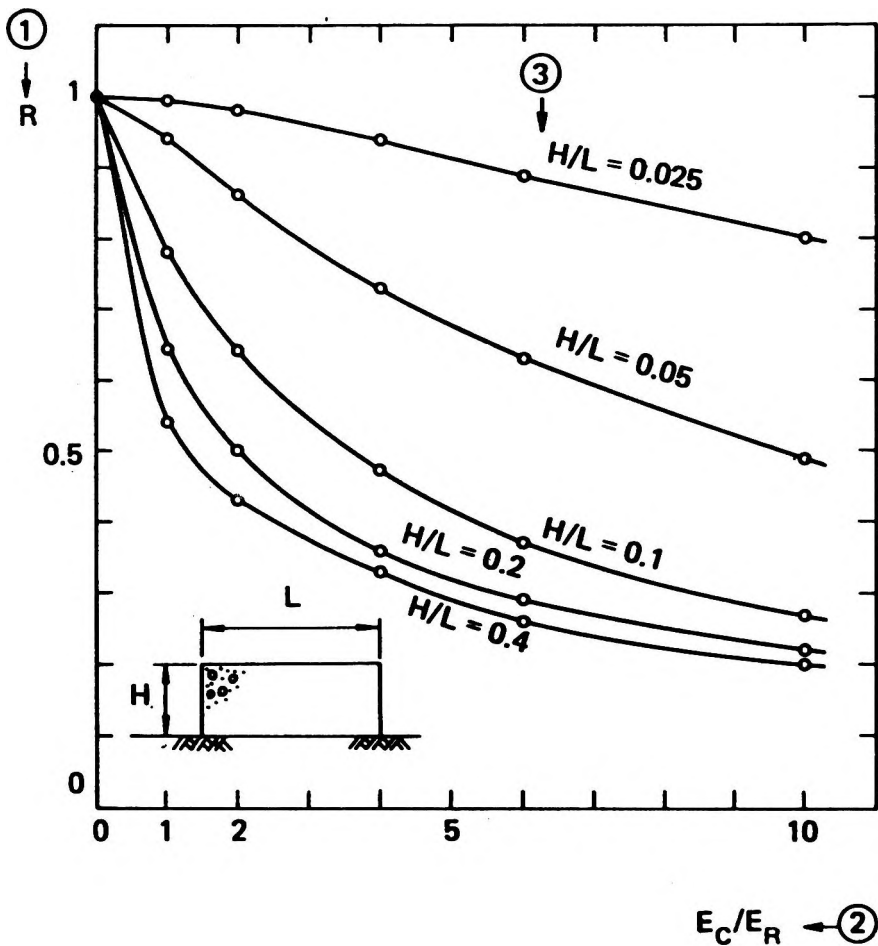


Рис. 1. Зависимость внешнего защемления прискального бетона от соотношения модулей упругости бетона и скального основания:

1 - степень защемления бетона; 2 - соотношение модулей упругости бетона и скального основания; 3 - соотношение между высотой и длиной блока

внешнего защемления), поскольку температурные напряжения вследствие внутреннего защемления имеют местный характер. Внутреннее защемле-

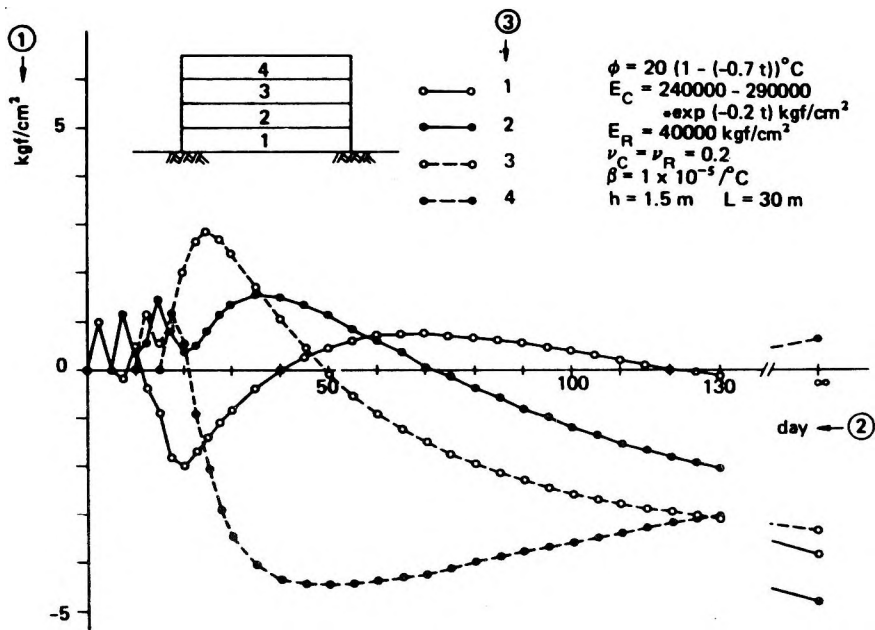


Рис. 2. Зависимость горизонтальных температурных напряжений в центре каждого бетонного блока от продолжительности периода после укладки бетонной смеси:

1 - температурные напряжения (положительные - сжимающие), кг/см²;
 2 - продолжительность периода, дни; 3 - номер блока

ние при подъеме температуры в процессе твердения бетона необязательно оказывается значительным, потому что ползучесть бетона способствует снижению температурных напряжений, как и в случае внешнего заземления бетона. Температурные напряжения вследствие внутреннего заземления имеют более существенное значение, когда масса бетона постепенно охлаждается с поверхности или быстро охлаждается в результате резкого падения температуры наружной среды. Расчеты показывают, что при бетонировании секции длиной 30 м, состоящей из четырех блоков высотой 15 м, укладка смеси в которые произведена с интервалами в 5 дней, растягивающие напряжения появляются на поверхности верхнего блока спустя 5 дней после укладки бетонной смеси или 20 дней после начала бетонирования секции (рис. 2), достигают максимума через 30 дней и затем начинают снижаться.

Как отмечалось, разница между понятиями внутреннего и внешнего защемления бетона может быть объяснена лишь различием точек зрения исследователей, поэтому внутреннее защемление может быть также вызвано внешним защемлением, т.е. ограничением изменений объема бетона в верхнем блоке бетоном нижнего блока. Отсюда можно сделать вывод, что степень внутреннего защемления может быть графически представлена также, как степень внешнего защемления на рис. 1. На рис. 3 приведены графики внутреннего защемления для поверхности бетона; величина температурного перепада H является функцией температуры наружной среды и времени и не зависит от длины блока Z , поэтому внутреннее защемление является более существенным для длинных бетонных блоков. В этом заключается причина того, что именно в длинных блоках обычно обнаруживают большее число трещин, которые, по всей вероятности, являются следствием внутреннего защемления бетона.

Таким образом, два фактора - температурные изменения и ограничение объемных изменений - должны контролироваться для того, чтобы предотвращать образование в бетоне температурных трещин. Повышение содержания цемента с целью повышения прочности бетона при растяжении не является рациональным решением, поскольку дополнительный температурный подъем и повышение модуля упругости не только не исключают, но даже увеличивают опасность трещинообразования. Температурный подъем должен ограничиваться путем применения цемента с малой удельной теплотой гидратации и использования цемента в минимальных количествах; снижение температурного подъема можно достигать также в результате ограничений высоты бетонируемых блоков, искусственного охлаждения бетона, увеличения интервалов в бетонировании смежных блоков и т.д., однако при постоянных высоких темпах укладки бетонной смеси изменение высоты блока может оказывать относительно малое влияние на повышение температуры бетона.

Последующее охлаждение уложенного бетона холодной водой, циркулирующей по заделанным в бетон трубам и предварительное охлаждение составляющих бетонной смеси являются преобладающими в практике способами искусственного охлаждения бетона, но трубное охлаждение не обязательно оказывается эффективным при возведении массивных сооружений длинными блоками. Контроль за максимальной температурой бетона в сооружении может быть эффективно осуществлен благодаря выполнению предварительного охлаждения смеси и охлаждения поверхностей бетонных блоков; только около 60% потенциала предварительного

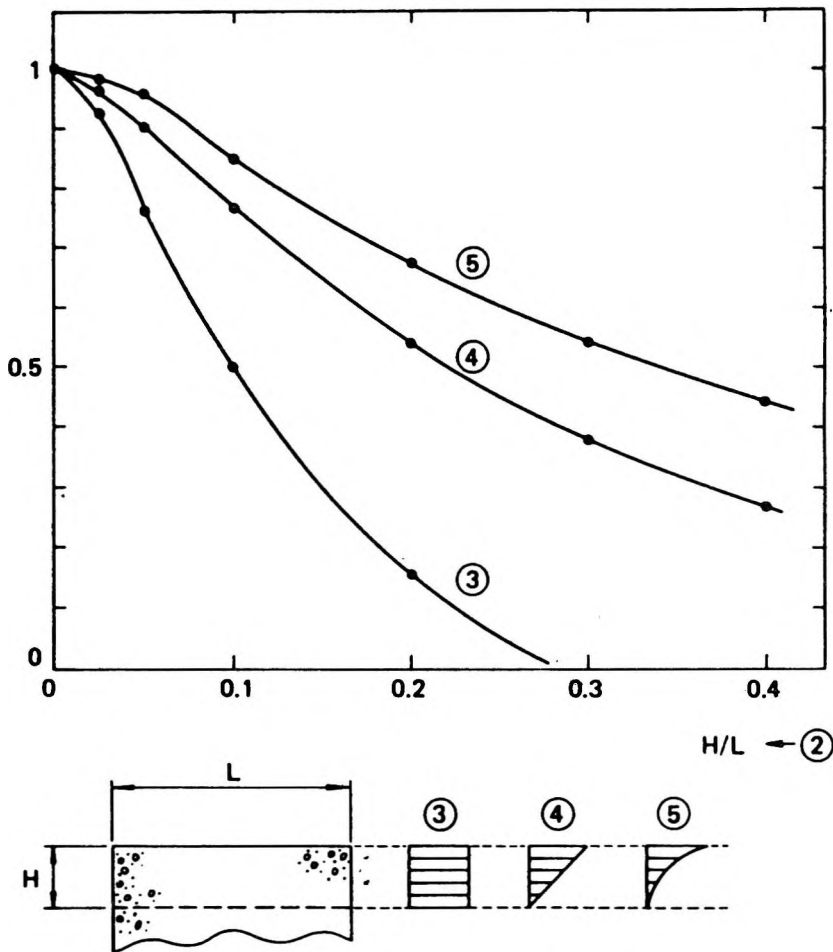


Рис. 3. Зависимость степени внутреннего заземления бетонной поверхности от соотношения глубины изменений температуры к длине бетонного блока:

1 - степень заземления; 2 - соотношение глубины изменений температуры и длины бетонного блока; 3 - прямоугольная эпюра изменений температуры; 4 - треугольная эпюра изменений температуры; 5 - параболическая эпюра изменений температуры

охлаждения считается эффективным для снижения температуры массивного бетона, остальная же часть его (40%) не может быть использована для воздействия на бетон из-за потерь вследствие поступления тепла из наружной среды. Поэтому высокие блоки более предпочтительны, если регулирование температурного режима осуществляется с применением предварительного охлаждения. С другой стороны, благодаря поверхностному охлаждению можно обеспечивать уменьшение температурного подъема только на 40%, и поэтому применение поверхностного охлаждения считается более эффективным в тех случаях, когда бетонирование сооружений ведется длинными блоками.

Внутреннего защемления бетона в результате снижения температуры бетона вблизи от поверхности можно избежать при периодической укладке бетона, которая также предпочтительна и для предотвращения внешнего защемления. Если бетонирование прекращается на длительное время, рассеивание тепла с поверхностей бетона должно быть, по возможности, предотвращено. Более существенное падение температуры бетона, особенно в первый месяц, имеет место вблизи от поверхности.

Внутреннего защемления верхней поверхности бетона при периодическом бетонировании можно избежать, но внутреннего защемления поверхностей верховой и низовой граней избежать невозможно, поскольку грани непрерывно подвергаются воздействию наружной среды. Ввиду этого нельзя обойтись без устройства поперечных температурно-деформационных швов. Трещины могут образовываться вследствие только одних изменений температур среды, если сооружение возводится в районе с суровыми климатическими условиями, причем и в тех случаях, когда устройство поперечных температурно-деформационных швов предусматривается. Влияние изменений суточных температур относительно небольшое, так как на это оказывает свое действие теплоотдача с поверхности бетона, однако влияние изменений среднегодовой температуры наружного воздуха считается существенным. Ил. 18. Библ. 5.

А.Б.Фролов

6. ИНЪЕКЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ В ФИЛЬТРУЮЩИЕ ТРЕЩИНЫ В БЕТОНЕ ПЛОТИН (США). Waring S.T. Chemical grouting of water-bearing cracks. - Concrete International, 1986, 8, № 8, 16-21 (англ.)

В практике строительства и эксплуатации бетонных плотин довольно часто приходится сталкиваться с необходимостью решения проблемы, связанной с прекращением фильтрации воды через трещины в бетоне. Одним из распространенных способов борьбы с этим является инъекция химических растворов в такие трещины. Выбор материала, который должен быть использован при выполнении инъекционных работ, производится с учетом многих факторов, в том числе характера трещинообразования в бетоне и состояния трещин, расхода и скорости фильтрационного потока, напора воды, экологических условий створа плотины и др. Однако по всей вероятности наиболее важным фактором является структура трещин и возможные изменения их раскрытия.

Если раскрытие трещин может изменяться, было бы ошибочным решением применение для инъекции материала с высокой прочностью связи раствора с бетоном сооружения и низким относительным удлинением при разрыве, поскольку даже очень небольшие изменения размеров трещин приводят к значительным удлинениям, если рассматривать их в процентном отношении к первоначальной ширине трещин. Трещина, которая была заинъектирована при ширине 1,27 мм, при увеличении раскрытия на 0,06 мм расширится на 5%, а многие эпоксидные материалы имеют предельные относительные удлинения при разрыве всего от 3 до 6%.

При необходимости изоляции фильтрующих трещин в редких случаях применение эпоксидных материалов является лучшим решением. Более эффективным в этих случаях оказывается использование химических растворов, которые могут насосами закачиваться в фильтрующую трещину под давлением несколько большем, чем напор, под которым вода поступает в эту трещину. Через некоторое время происходят фазовые изменения, и химический раствор превращается в гель, а иногда в эластичную массу. В некоторых случаях в процессе инъекции насосом подают в трещины два компонента, которые после смешивания через определенное время образуют гель. Иногда для инъекции применяют химические вещества, которые вступают в реакцию при соприкосновении

с водой, образуя хорошую связь с влажными поверхностями заполняемых трещин.

Большинство химических растворов не обладают высокими прочностными качествами; их прочность при растяжении, в основном, менее 3,45 МПа. Они не отличаются и высокими прочностями при сжатии и обычно имеют низкие модули упругости. Некоторые инъекционные химические растворы не обладают высоким внутренним сцеплением, хотя часть из них способна развивать приемлемые прочности при растяжении, сдвиге и разрыве. В зависимости от условий применения продолжительность процесса образования геля может оказаться критическим фактором в предотвращении фильтрации. В этом отношении химические растворы могут отличаться один от другого, однако следует иметь в виду, что различные механические способы могут быть использованы для временной заделки трещины, искусственного увеличения времени пребывания раствора в трещине и уменьшения скорости фильтрационного потока. Одним из способов повышения продолжительности нахождения инъекционного раствора в трещине является введение раствора в месте, расположенном как можно ближе к источнику фильтрации.

Достижение эффективного уплотнения трещин возможно также без обеспечения связи раствора с поверхностями трещины. Некоторые инъекционные растворы не имеют связи посредством адгезии, но создают сцепляющее закрепление к поверхностям в результате формирования непрерывной фазы композиционного материала, который заполняет мельчайшие шероховатости поверхности. Несмотря на это слабое прилипание, при котором не обеспечивается надлежащая работа при растяжении, все же можно обеспечить удовлетворительные результаты при сдвиге или сжатии. Это достигается при инъекции химических растворов в широкие трещины. Практика инъекции растворов в этих случаях почти всегда свидетельствует о хороших результатах уплотнения путем обжатия трещины на продолжительный период времени.

Технология инъекционных работ обязательно должна быть тесно увязана с качественной характеристикой применяемого для инъекции материала. Однако выбор типа оборудования и числа машин также во многом зависит от условий выполнения инъекционных работ. Для инъекции растворов в трещины с большими фильтрационными потоками потребуются более мощные насосы; для мелких трещин - насос с более точной подачей. При использовании двухкомпонентных инъекционных растворов необходимы, по крайней мере, два насоса и возможно, дополнительные насосы для предварительного дозирования компонентов. Инъекционное

оборудование, которое обычно используют в дренажных или инъекционных галереях плотин, размещается на транспортных средствах, что позволяет перемещать его вдоль фронта работ. Важное значение имеет правильный выбор мощности насоса; при слабой подаче раствор будет просто вместе с водой удаляться из трещины. Небольшие насосы используются в тех случаях, когда фильтрационный поток существенно уменьшен в результате предпринятых мер для изоляции и уплотнения трещины.

Классическим примером инъекции фильтрующих трещин могут служить инъекционные работы при выполнении ремонта бетонной гравитационной плотины Харриет Лейк. Эта плотина, построенная в 20-х годах, как показали исследования, находилась в таком состоянии (рис. 1), что дальнейшая эксплуатация ее оказалась бы невозможной; было принято решение выполнить реконструкцию, превратив существующую плотину в контрфорсную и использовав существующее бетонное сооружение в качестве оболочки, для чего было признано необходимым произвести ремонт его с заполнением всех трещин цементным раствором.

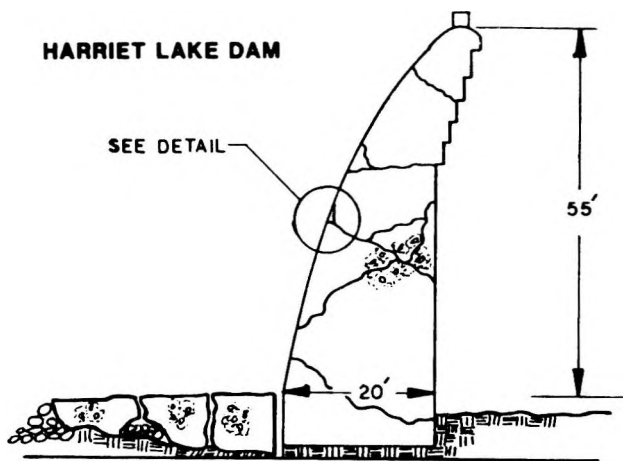


Рис. 1. Поперечное сечение плотины Харриет Лейк

Ремонтные работы были начаты с удаления с поверхности граней вблизи от трещин слабого непрочного бетона и заделки трещин при использовании свинцовой пряхи, просмоленной пеньки и химических растворов. Полная изоляция трещин сопровождалась бурением коротких шпу-

ров небольшого диаметра в трещины, расположенные вблизи от поверхности грани (рис. 2); благодаря инъекции небольшого количества химического раствора через эти шпуры удавалось полностью контролировать фильтрацию воды через трещины. Заделка отверстий трещин на поверхности верховой грани позволила предотвратить утечку цементного раствора при выполнении инъекционных работ. После изоляции трещин для контроля фильтрации были пробурены длинные дренажные скважины, которые закрывались соединительной трубкой с шаровым затвором; через эти скважины осуществлялась затем, инъекция цементного раствора. В результате заполнения трещин цементным раствором фильтрация воды через бетон плотины уменьшилась с 317 л/с до 0,67 л/с.

В важности правильного выбора оборудования и в преимуществе контроля фильтрационного потока можно убедиться при рассмотрении опыта ремонтных работ по шлюзу Лоуэр Монюментал (напор 35 м), построенного в 60-х годах. Стенки камер этого шлюза имели вертикальные трещины, идущие параллельно температурно-деформационным швам и полностью разрезающие секции. Инъекция цементного раствора, принятая с применением насоса с малой подачей, не дала желаемых результатов из-за того, что раствор вымывался из трещин фильтрационным потоком. Более эффективными оказались бы здесь следующие меры:

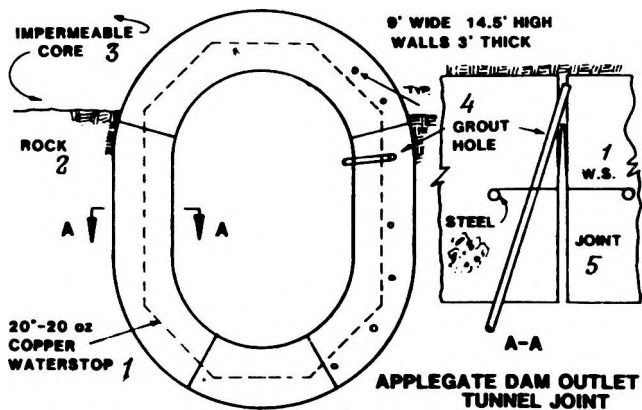


Рис. 3. Деталь шва бетонного водовыпуска плотины Апплигейт (поперечное сечение):

1 - уплотнение из листовой меди; 2 - скала; 3 - водонепроницаемое ядро плотины; 4 - инъекционная скважина; 5 - шов

Основная проблема при выполнении ремонтных работ по плотине Апплигейт заключалась в определении рационального способа восстановления нарушенных уплотнений в бетонном водовыпуске (рис. 3), который

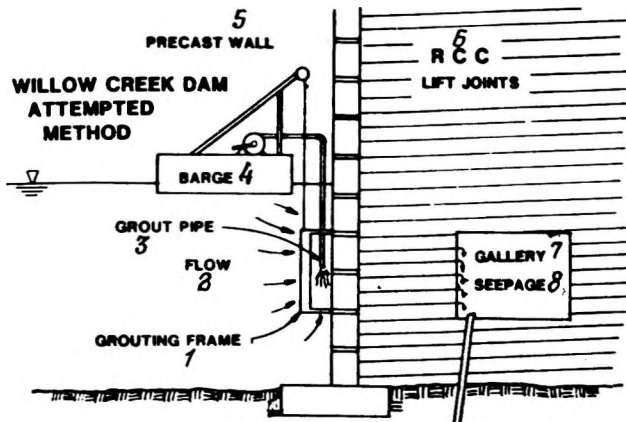


Рис. 4. Схема подачи инъекционного раствора фильтрационным потоком в тело плотины Уиллоу Крик:

- 1 - диафрагма; 2 - поток воды; 3 - инъекционный поток; 4 - баржа;
 5 - панельная опалубка верхней грани; 6 - швы между слоями укатанного бетона; 7 - галерея; 8 - фильтрация воды

предназначался для регулирования температуры воды в водохранилище, поскольку даже небольшое повышение температуры могло пагубно сказаться на состоянии находящейся в водохранилище рыбы. Это же обстоятельство оказывало неблагоприятное влияние и на выполнение инъекционных работ: биологи разрешали опорожнять водовыпуск только на несколько дней. Для бурения инъекционных шпуров были использованы электрические молотковые перфораторы; уплотнения заделывались в бетон на глубину 0,6 м.

После первого заполнения водохранилища, образуемого плотиной Уиллоу Крик, которая, как известно, возведена по новой технологии из укатанного тонкими слоями бетона, была обнаружена фильтрация воды в галерею, расположенную на большом расстоянии от верхней грани. Это объясняется тем, что в порядке эксперимента в процессе бетонирования не принималось каких-либо мер для повышения водонепроницаемости в строительных швах между горизонтальными слоями тощего укатанного бетона. При очень коротких путях фильтрации, несмотря на относительно небольшой приток воды, общий расход воды, поступающей в галерею длиной 610 м, составлял более 63 л/с.

Вначале предполагалось, что наиболее простым способом, позволяющим быстро снизить фильтрацию воды по швам, является инъекция

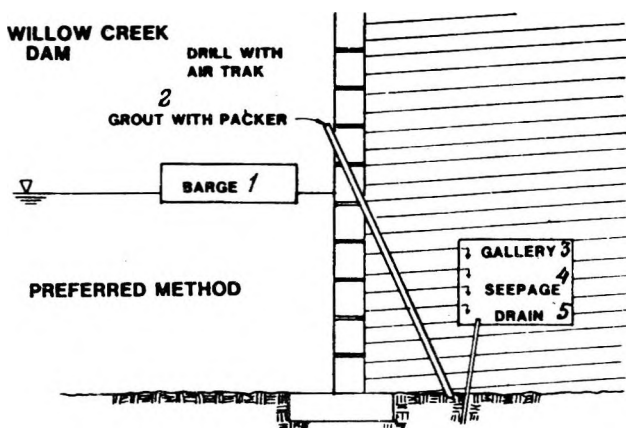


Рис. 5. Схема инъекции швов через наклонные скважины плотины Уиллоу Крик:

1 - баржа; 2 - инъекционный раствор с уплотнителем; 3 - галерея;
4 - фильтрация воды; 5 - дрена

раствора в воду перед верховой гранью плотины и направление его вместе с водой в трещины, где происходило бы его осаждение (рис. 4).

Для направления раствора в бетон в непосредственной близости от верховой грани устанавливали диафрагму ограниченной проницаемости, и подача раствора в воду на участке между диафрагмой и гранью должна была обеспечивать высокую концентрацию раствора непосредственно перед горизонтальными швами в бетоне. Однако концентрированный раствор быстро вымывался из участка в пределах диафрагмы, в связи с чем быстро твердеющие растворы в требуемое время не могли направляться в швы из-за небольшой скорости фильтрационного потока. И хотя небольшое уменьшение фильтрации воды все же было достигнуто, из-за высокой стоимости работ от этого способа впоследствии отказались. Для предотвращения фильтрации была успешно осуществлена инъекция цементного раствора под давлением через наклонные скважины (рис. 5), пробуренные с использованием бурового оборудования, размещенного на барже. Ил. 9.

А.Б.Фролов

7. ОБСЛЕДОВАНИЕ И РЕМОНТ СТАРЫХ ПЛОТИН ИЗ КАМЕННОЙ КЛАДКИ (ФРГ). Salveter G. Grundsätzliche Überlegungen sur Sanierung alter Gewichtsstaumauern. - Wasser und Boden, 1986, 38, № 9 , 440-443 (нем.)

В период с 1891 г. по 1913 г. на территории современной ФРГ было построено 20 однотипных; плотин гравитационного профиля из каменной кладки на растворе; плотины возведены без деформационных швов и имеют арочное очертание в плане. Верховая грань плотин защищена против фильтрации цементной штукатуркой, а в нижней части профиля - отсыпкой клина из глинистого материала, служащего своего рода понуром. На некотором расстоянии от напорной грани в теле сооружения на всю высоту профиля устроена дренажная завеса. Противофильтрационные или укрепительные мероприятия в основании плотин не упоминаются.

Натурное обследование семи плотин, проведенное с 1978 г. до 1983 г. с бурением 50 скважин, показало, что противодавление по подошвенному шву по верховой грани соответствует в среднем напору ВБ, а в некоторых случаях и превышает его, что является следствием особенностей геологического строения основания (разгрузка в подошвенный шов трещинных напорных вод). Также отмечено, что вследствие выщелачивания фильтрационным потоком из раствора кладки свободной извести содержание ее уменьшалось до 30% первоначальной величины. Благодаря высокому содержанию вяжущего в растворе, прочность его при сжатии в настоящее время оказалась все же выше требуемой по статическому и прочностному расчету сооружения. В связи с этим рассматриваются два вопроса - противодавление по подошвенному шву и в горизонтальных швах, появляющееся, например, при раскрытии шва или трещины вследствие развития растягивающих напряжений, а также коррозия раствора кладки тела плотины, проявляющаяся как следствие выщелачивания свободной извести под воздействием фильтрационного потока. Другие граничные условия, влияющие на эксплуатационное состояние сооружения, - состояние основания, изменение его гидрогеологического режима и др., не рассматриваются.

На некоторых из изучавшихся плотин из каменной кладки в процессе эксплуатации наблюдалась значительная фильтрация через тело сооружения. Это могло быть следствием как упоминавшегося разрушения

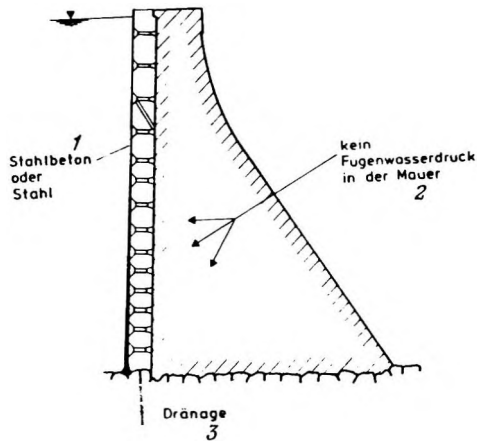


Рис. 1. Схема защитной противофильтрационной стенки в ВБ с воздушной полостью между стенкой и напорной гранью плотины:
 1 - железобетон или сталь; 2 - швы каменной кладки освобождены от всякого давления воды; 3 - дренаж

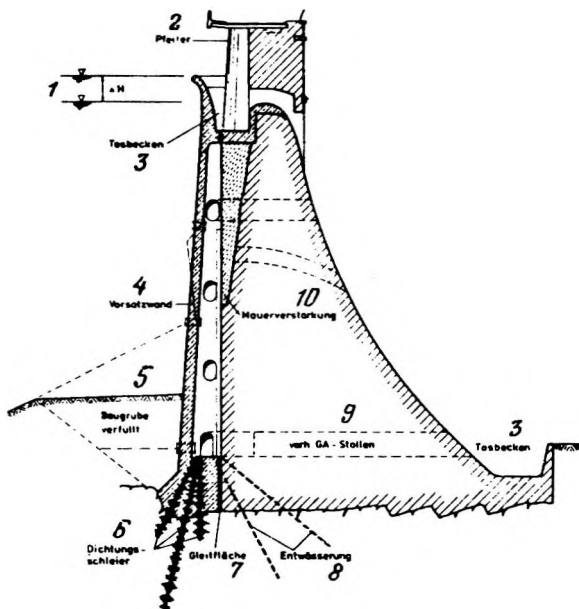


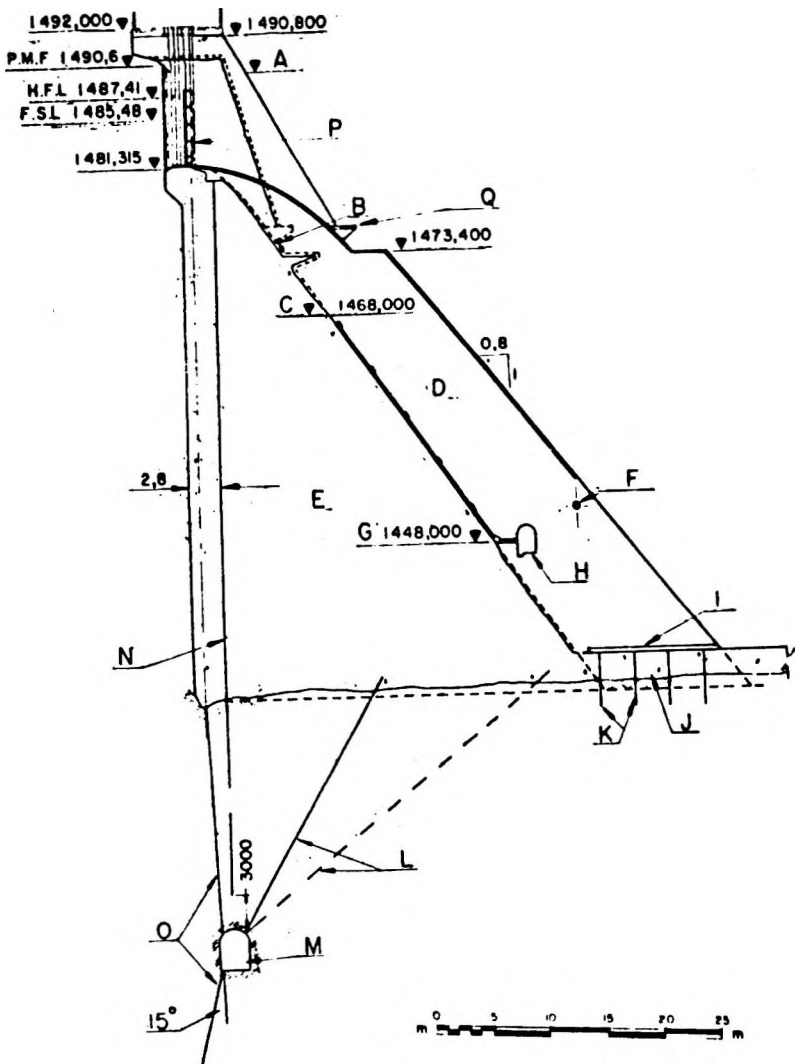
Рис. 2. Конструкция защитной противофильтрационной стенки с воздушной полостью между стенкой и напорной гранью плотины (предложение для ремонта плотины Эннепе с повышением НПУ):
 1 - ДН - повышение НПУ; 2 - бычок; 3 - водобойный колодец; 4 - противофильтрационная стенка; 5 - обратная засыпка котлована; 6 - противофильтрационная завеса в основании; 7 - деформационный шов; 8 - дренажные скважины; 9 - ранее существовавшая галерея; 10 - усиление профиля плотины

раствора кладки, так и зарастания дренажных скважин. В ходе ремонтных работ тело плотины цементировали через скважины, проходимые с ее гребня, уплотняли дефектные швы кладки по низовой грани плотины. Эффект этих работ был лишь ограниченным во времени, через некоторое - часто краткое - время фильтрация развивалась вновь. Для радикального ремонта плотин разработано конструктивное решение в виде сооружения противофильтрационной стенки в ВБ, опирающейся через несущую конструкцию на напорную грань плотины; между этой стенкой и напорной гранью плотины остается воздушная полость, в которую выведен также дренаж основания (рис. 1).

Также приведены два интересных примера конструкций противофильтрационной стенки: для плотины Эннепе (рис. 2), в которой одновре-

менно с ремонтом старой плотины предусмотрено повышение ее НПУ на 2,7 м (благодаря чему полезная емкость водохранилища возрастает на 2,5 млн.м³) и для плотины без повышения НПУ. Во втором случае воздушная полость за защитной противofильтрационной стенкой устраивается лишь на высоту сильно проницаемой зоны плотины (в данном случае у основания плотины, рис. 3, в виде контрольной галереи), выше которой снижение фильтрации достигается путем устройства дополнительной защиты, прилегающей к напорной грани сооружения. Ил. 7. Библ. 18.

С.С.Обрезков



Поперечное сечение плотины Вааль:

A - отметка существующего моста; *B* - зачищенная поверхность; *C* - верх скользящего шва; *D* - дополнительно уложенный бетон; *E* - существующий бетон; *F* - водоснабжение измерительной станции; *G* - низ скользящего шва; *H* - дренажная галерея; *I* - полосы неотделанного бетона для дренажа; *J* - существующий бетонный флютбет; *K, L* - дренажные скважины диаметром 76 мм; *M* - дренажный туннель; *N* - анкерные канаты; *O* - соединительные скважины диаметром 38 мм; *P* - затвор; *Q* - рассеиватель энергии (расщепитель потока)

обеспечить пропуск через сооружение расчетного паводка 25000 м³/с. Таким образом потребовалось значительное укрепление плотины и серьезные меры для повышения надежности пропуска паводка.

Одновременно с повышением гребня плотины на 3,05 м были установлены новые затворы и осуществлено наращивание существующих закладных частей. Это позволило поднять отметку воды в водохранилище на 1,95 м для увеличения его емкости на 0,65 км³ и одновременно получить дополнительный запас 1,1 м для расчетного паводка. Этот запас необходим для возможности подъема уровня в процессе выполнения операций с многочисленными затворами. При увеличении высоты закладных частей затворов они были выполнены с увеличенными допусками, учитывающими возможные отклонения от прямолинейности при приварке новых секций затворов к существующим. В процессе реконструкции затворов возникли сомнения в надежности связи между закладными частями и бетоном после нескольких десятков лет их эксплуатации. Качество контакта проверялось акустическим способом: если удар по рельсу вызывал в нем незатухающие волны, это свидетельствовало о наличии пустоты под подошвой. Затухающая волна показывала хорошее качество контакте. Таким способом удалось быстро и надежно проверить 240 опорных рельсов длиной по 12 м.

В основании под подошвой плотины на глубине 10-20 м был проложен дренажный туннель и пробурены дренажные скважины для снижения фильтрационного напора на подошву плотины. Дополнительные меры, повышающие устойчивость плотины против опрокидывания и сдвига, заключались в развитии профиля плотины и анкеровке ее к основанию при помощи анкерных тяжей. Между новым бетоном и низовой гранью существующей плотины на протяжении около 30 м устроен антифрикционный шов, который обеспечивает относительное скольжение на границе старой и новой кладки. Это позволяет снизить температурные напряжения в бетоне, связанные с гидратацией цемента. Повышение температуры нового цемента по сравнению с существующим принято всего 6°C. Для уменьшения гидратации используется цемент с добавлением большого количества доменного шлака.

Поскольку укладка дополнительного бетона на низовую грань плотины производится в условиях, когда плотина находится под действием гидростатической нагрузки, влияние этого бетона на общую устойчивость и напряженное состояние плотины ограничено, что подтверждается расчетами, выполненными по методу конечных элементов. Поэтому

потребовалось дополнительно применить анкерные тязи с последующим натяжением, расположенные на расстоянии 2,8 м от верховой грани.

Верхние концы тяжелой закреплены на гребне водослива между бычками. Глубина заделки канатов в основании плотины примерно на 3 м меньше заложения дренажного туннеля. Каждый анкерный тяз с разрывным усилием 7,2 МН натягивают примерно на 70% его прочности, рабочая нагрузка принята около 4,2 МН.

Расчетный анализ напряженного состояния под нагрузкой плотины показал, что в ее нижней части на напорной грани действуют растягивающие напряжения 0,6-0,7 МПа, однако после натяжения тяжелой эти напряжения снижаются до 0,2-0,5 МПа. В горизонтальной плоскости наибольшие расчетные касательные напряжения в самых экстремальных условиях составили 1,5 МПа. Рассмотрены были также напряжения, которые могут возникать при сейсмических воздействиях (район водохранилища имеет сейсмичность 6 баллов по шкале Рихтера). Результаты этих расчетов показали, что надежность плотины в целом не вызывает опасений.

Реконструкция плотины сопровождалась расширением и укреплением успокоительного бассейна в нижнем бьефе, в котором происходит гашение энергии воды, сбрасываемой через водослив. В период выполнения работ по реконструкции плотины был также построен новый водовыпуск, для которого под защитой перемычек в водохранилище соорудили башню водоприемника, а под основанием плотины были пройдены туннели. Оборудование водовыпуске обеспечивает его автоматическое перекрытие в случае разрушения нижележащего трубопровода и повышения скоростей течения воды в нем. На случай нарушения энергоснабжения предусмотрены аварийные гидроцилиндры с приводом на основе жидкого азота.

Плотина Лури высотой 20 м из грунтовых материалов построена в 1971 г. Верховой откос плотины защищен от волновых воздействий покрытием из сборных бетонных блоков. Для пропуска паводка имеется береговой траншейный водослив.

Глубинный водозабор осуществляется водоприемником башенного типа, откуда вода поступает в отводящий туннель подковообразного сечения высотой 5 м и длиной 310 м. Расчетный расход водослива 730 м³/с, максимальный паводковый расход 1130 м³/с. Это значение дважды (в 1977 и 1981 гг.) было превышено в периоды сильных ливней, когда расходы достигали 1800 м³/с, что привело к переливу воды че-

рез плотину и вызвало разрушения на гребне и низовом откосе. Расчетный паводковый расход был пересмотрен и установлен равным $2400 \text{ м}^3/\text{с}$, что потребовало увеличить пропускную способность водосборных сооружений. При некотором увеличении расчетной отметки водохранилища береговой водослив может пропустить $1500 \text{ м}^3/\text{с}$; для оставшихся $900 \text{ м}^3/\text{с}$ по оси плотины был сооружен водослив шириной 60 м через грунтовую плотину в виде железобетонной облицовки гребня и низовой грани толщиной $0,5 \text{ м}$, с носком-аэратором на выходе.

Водослив на плотине, порог которого расположен на 1 м выше порога берегового водослива, вступает в работу при расходе $170 \text{ м}^3/\text{с}$, пропускаемом через береговой водослив. На гребне грунтовой части плотины установлен парапет высотой $1,8 \text{ м}$ для защиты от ветровых волн.
Ил. 4. Библ. 4.

А.Р.Фрейшист

СОДЕРЖАНИЕ

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1. Деривационная ГЭС Чиксой (Гватемала)..... 1
2. Самозакрывающиеся кольцевые (цилиндрические) предтурбинные затворы на канадских ГЭС..... 9

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ И ГИДРОУЗЛЫ

3. Сопоставление результатов аналитических и натуральных исследований поведения арочной плотины Роде Эльсберг (ЮАР)..... 12

СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И ГИДРОУЗЛОВ

4. Строительство гравитационной плотины Элк Крик из укатанного бетона (США)..... 17
5. Причины образования трещин в бетоне плотин и меры по их предотвращению (Япония)..... 20
6. Инъекция химических растворов в фильтрующие трещины в бетоне плотин (США)..... 28
7. Обследование и ремонт старых плотин из каменной кладки (ФРГ)..... 35
8. Реконструкция плотин Вааль и Лури (ЮАР)..... 38

Редактор серии:
Губин Максимилиан Федорович

Экспресс-информация серии

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕКОМ

Выпуск I

Ответственный за выпуск - Н.Г.Крамаренко

Технический редактор - Л.В.Наумова
Корректор - Л.А.Журавлёва

Подписано в печать 10.12.86 Формат 60x84¹/16
Печать офсетная Усл.печ.л. 2,91
Уч.-изд.л. 2,70 Тираж 500 Заказ 1312 Цена 54 коп

Центр научно-технической информации по энергетике и электрификации Минэнерго СССР, Москва, проспект Мира, д.68, тел. 280-13-98

Типография Информэнерго, Москва, I-й Переяславский пер., д.5

Цена 54 коп.

Индекс 58456

Энергетика и электрификация, Сер. Гидроэнергетика за рубежом.
Экспресс-информ., 1987, вып. 1, с. 1-44.