



ISSN 0203—0772

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

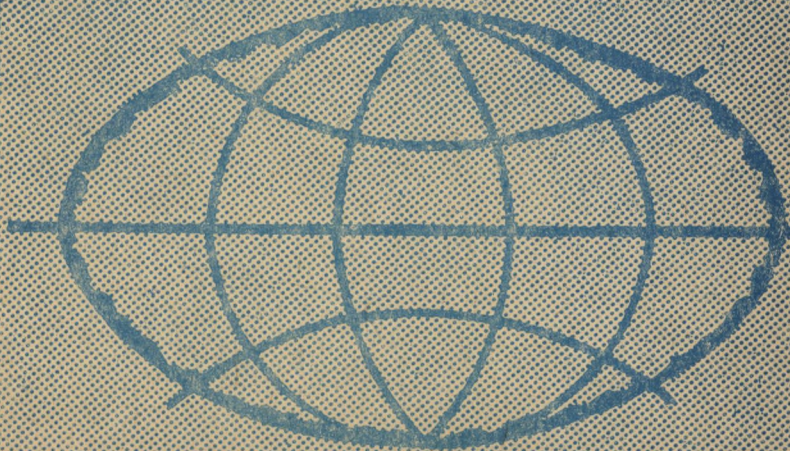
ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

серия

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА  
ЗА РУБЕЖОМ

выпуск 9

*Р.*  
Давыдов  
Васильев  
Павлов  
МОСКВА 1986



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР  
ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

СЕРИЯ

# ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕЖОМ

ВЫПУСК 9

ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО

ИЗДАЕТСЯ С 1979 ГОДА

МОСКВА 1986

---

Редактор серии Губин М. Ф.

---

### ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

УДК 621.311.21:69.032.4(430.1)

73. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАЛЫХ ГЭС (ФРГ). Kunz P. et al. -  
Bestand und wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten von Klein-  
wasserkraftanlagen in der Bundesrepublik Deutschland. -  
Wasserwirtschaft, 1985, № 75, 12, 537-543 (нем.)

В ФРГ проводятся исследования экономического потенциала возобновляемых энергоресурсов страны. В рамках этих исследований был определен состав действующих малых ГЭС (МГЭС) и других силовых установок, дана оценка их эффективности на уровнях 1983, 1990 и 2000 гг.

В 1982 г. в ФРГ было выработано 19,6 млрд. кВт·ч гидроэнергии (5,4 % от общего производства энергии), из них 84% на ГЭС при непосредственном использовании речного стока, а остальное на ГАЭС и путем пусков из аккумулирующих водохранилищ. Государственные гидроэлектростанции выработали в 1982 г. 17,2 млрд.кВт·ч электро-

энергии. Всего в государственной энергосистеме действовало 610 ГЭС и ГАЭС общей установленной мощностью 6,0 млн.кВт. Из них 320 малых ГЭС (52% от общего количества) с гарантированной мощностью менее 1 МВт каждая имели суммарную гарантированную мощность 75 МВт; 206 ГЭС с гарантированной мощностью 1—10 МВт обеспечивали в сумме гарантированную мощность 776 МВт.

Согласно проведенным исследованиям вероятное число МГЭС и других гидросиловых установок (мельниц, лесопилок) составило в 1984 г. 6500 единиц со средней гарантированной мощностью одной МГЭС - 50 кВт. Основная часть этих установок находится в частном владении, примерно 20% работают непосредственно на механический привод. Более 90% МГЭС оборудованы только 1 гидроагрегатом, так что во время ремонта сток рек сбрасывается вхолостую. Около 30% МГЭС не отдают избыточную энергию в систему, либо снабжают изолированных потребителей.

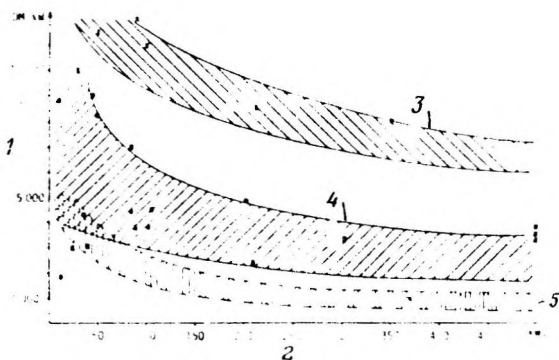


График удельных капитальных вложений в строительство, реконструкцию и приобретение гидросилового оборудования МГЭС в зависимости от установленной мощности:

1 - марки ФРГ/кВт; 2 - кВт; 3 - новостройки; 4 - реконструкция;  
5 - стоимость оборудования

Экономическая эффективность МГЭС определялась исходя из двух вариантов конъюнктурного развития:

неблагоприятного, с ежегодным удорожанием электроэнергии на 2% при высокой учетной ставке на капитал (4,5 % в год);

благоприятного, с ежегодным удорожанием электроэнергии на 3,5 % при низкой учетной ставке на капитал ( 0,5 % в год ).

Сроки окупаемости капитальных вложений рассматривались также в двух предположениях: при изолированной работе ГЭС; при частичном использовании энергии ГЭС в системе. В этих расчетах учитывались фактические коммерческие условия купли-продажи электроэнергии в ФРГ, сроки амортизации МГЭС (от 40 до 80 лет). Удельные капиталовложения на строительство, реконструкцию МГЭС и на их гидросиловое оборудование приведены на рисунке.

Расчеты показали, что в "благоприятном" случае развития экономики и при изолированном электроснабжении потребителей для всех мощностей МГЭС и на всех рассматриваемых уровнях их строительство характеризуется сроками окупаемости дополнительных капиталовложений менее 10 лет. В варианте работы в энергосистеме эти сроки возрастают до 20 лет.

В случае "неблагоприятного" развития экономики и при изолированном электроснабжении сроки окупаемости менее 10 лет сохраняются. При работе в энергосистему сроки окупаемости превосходят в настоящее время 40 лет и в перспективе 2000 года могут снизиться до 30 лет. Это свидетельствует об отсутствии экономической эффективности. Наиболее эффективным остаются во всех случаях реконструкция и строительство МГЭС при существующих подпорных сооружениях. В ФРГ имеются потенциальные возможности сооружения еще около 6000 МГЭС. Ил. 4, табл. 5. Библ. 17.

Л.Б.Шейнман

УДК 621.224.621.311.21:69.032.4

**74. КАПСУЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ С ВЫНЕСЕННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ МАЛЫХ ГЭС.** Hydro power born anew. All power is local. - ASEA STAL . LAVAL. Small power systems division.

Technical Specifications for ASEA STAL small hydropower systems.

В настоящее время для ГЭС малой мощности существует несколько различных типов рекомендуемых компоновок гидроагрегатов. Шведская турбиностроительная фирма "АСЕА-СТАЛЬ" рекомендует применение в диапазоне напоров 3-15 м и мощностей агрегата от 100 до 5000 кВт капсульные агрегаты с вынесенными из проточного тракта гидрогенераторами, детали для которых фирма поставляет в полном комплекте, включая сборные подводящие и отводящие трубопроводы, затворы и другое оборудование.

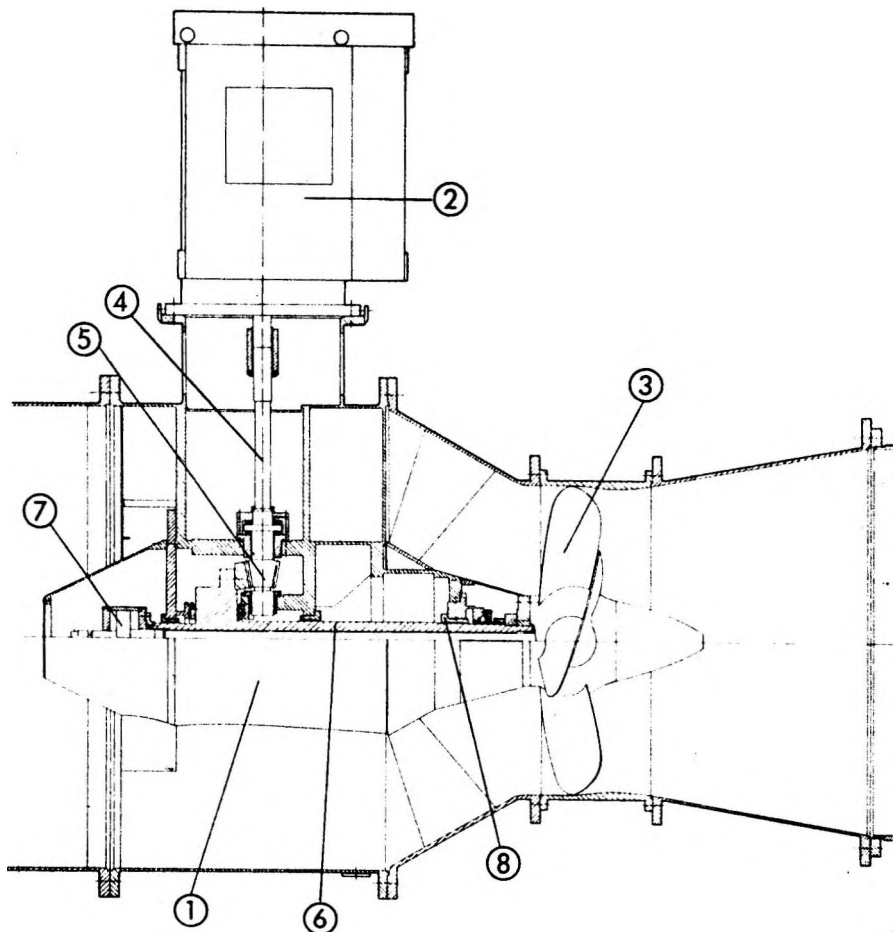


Рис.1. Продольный разрез агрегата:

1 — капсула агрегата; 2 — синхронный или индуктивный генератор на напряжением 480 или 4160 В с частотой 50 или 60 Гц; 3 — рабочее колесо ПЛ турбины (лопасти турбины могут поворачиваться от регулятора или вручную); 4 — вал генератора; 5 — конический мультипликатор; 6 — полый вал турбины; 7 — сервомотор рабочего колеса; 8 — направляющий подшипник турбины

Фирма изготавливает серию подобных агрегатов с диаметром рабочих колес от 810 до 4010 мм. Рабочее колесо с поворотными лопастями (рис.1) располагается за капсулой, в которой находятся направляющий и упорный подшипники вала агрегата и пара конических шестерен, передающая вращение на вал вертикального генератора. В целях повышения КПД установки за счет увеличения частоты вращения

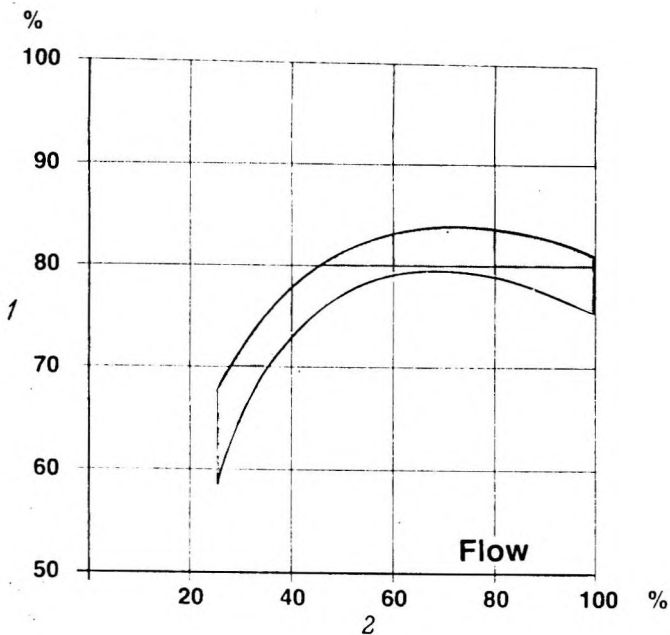


Рис. 2. Линейные характеристики полного КПД агрегата: 1 — значения полного КПД агрегата; 2 — значения расхода в % от максимального

ротора генератора коническая передача изготавливается из шестерен различного диаметра. Соответствующим подбором передаточного отношения конических шестерен может быть обеспечена возможность применения ограниченного числа разнотипных генераторов.

Передача рассчитана на весьма длительный срок эксплуатации.

Турбина имеет систему радиальных неподвижных лопаток направляющего аппарата, обеспечивающих необходимую закрутку потока перед рабочим колесом. За рабочим колесом турбины располагается прямоосная отсасывающая труба конического типа. Лопатки рабочего колеса поворачиваются от гидравлического сервомотора, располагаемого в головной части вала турбины, который в свою очередь управляется поставляемым фирмой микропроцессором. Это позволяет обеспечить в диапазоне мощностей от 43 до 100 % (см. рис. 2) значение полного КПД агрегата выше 80 %.

Для агрегатов подобного типа фирма рекомендует применять синхронные, а при большой мощности индуктивные генераторы.

Фирма изготавливает восемь типоразмеров подобной компоновки агрегатов. Каждый из этих типоразмеров предназначен для работы в определенном диапазоне напоров и мощностей. На рис.3 приведены области применения агрегатов. Параметры турбин и генераторов подобраны таким образом, что они полностью покрывают зону напоров в пределах от 3 до 15 м и диапазон мощностей от 0,1 до 5,0 МВт.

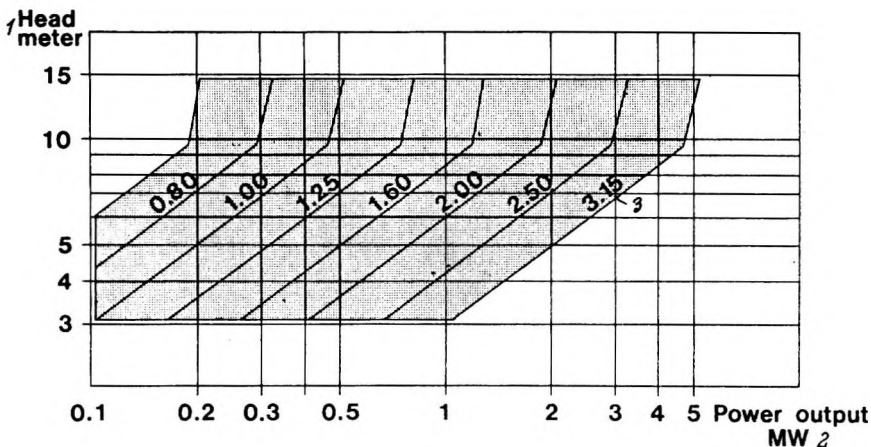


Рис.3. Области применения горизонтальных осевых агрегатов с вынесенными генераторами:

1 — напор, м; 2 — установленная мощность, МВт; 3 — типоразмер агрегата

В таблице даны основные размеры агрегатного блока, устанавливаемого в водопроводящем тракте (рис.4, размеры в см).

Таблица

Типоразмер	0,8	1,0	1,25	1.6	2,0	2,5	3,15	4,0
$D_1$ , мм	810	1020	1240	1550	2000	2510	3200	4010
$L$	228	287	358	458	575	718	909	1143
$A$	81	102	124	160	200	251	320	402
$B$	119	150	188	238	300	377	478	600
$C$	215	261	338	433	541	677	863	1081
$E$	119	150	188	239	300	377	478	600

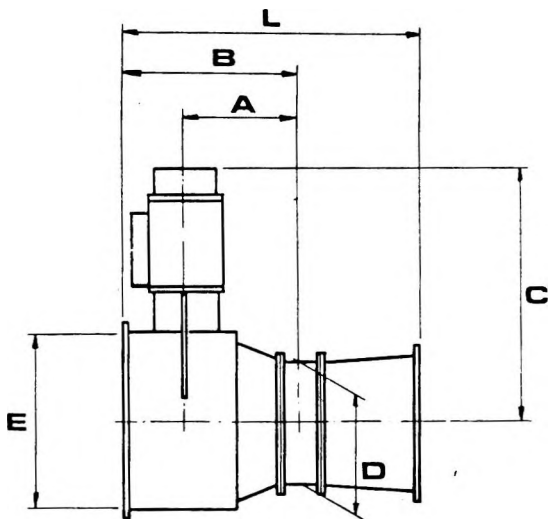


Рис. 4. Основные размеры агрегата с вынесенным из проточной части генератором

Конструкция агрегата допускает его установку с наклонной осью вращения.

В качестве предтурбинного затвора рекомендуется применение простейших типов дисковых затворов, устанавливаемых непосредственно перед турбиной.

На рис. 5 изображены мощностные характеристики восьми типоразмеров рассматриваемых агрегатов в зависимости от напора и расхода.

Схема установки агрегата на ГЭС зависит от местных топографических и геологических условий. Наиболее удобными для их размещения являются участки реки, на которых имеются резкие повороты, или те места, на которых уже построены какие-либо плотины для целей ирригации или водоснабжения. Как правило, для этих целей сооружаются грунтовые плотины небольшой высоты. В тех случаях, когда прокладка подводящего трубопровода к зданию станции невозможна, целесообразно применение сифонных компоновок с пропуском подводящего трубопровода через гребень плотины. Водоприемник раструбного типа опущен входным сечением под минимальный уровень верхнего бьефа. При такой компоновке водозаборного сооружения обеспечивается забор на агрегаты станции наиболее чистой воды и в значительной степени отпадают затруднения



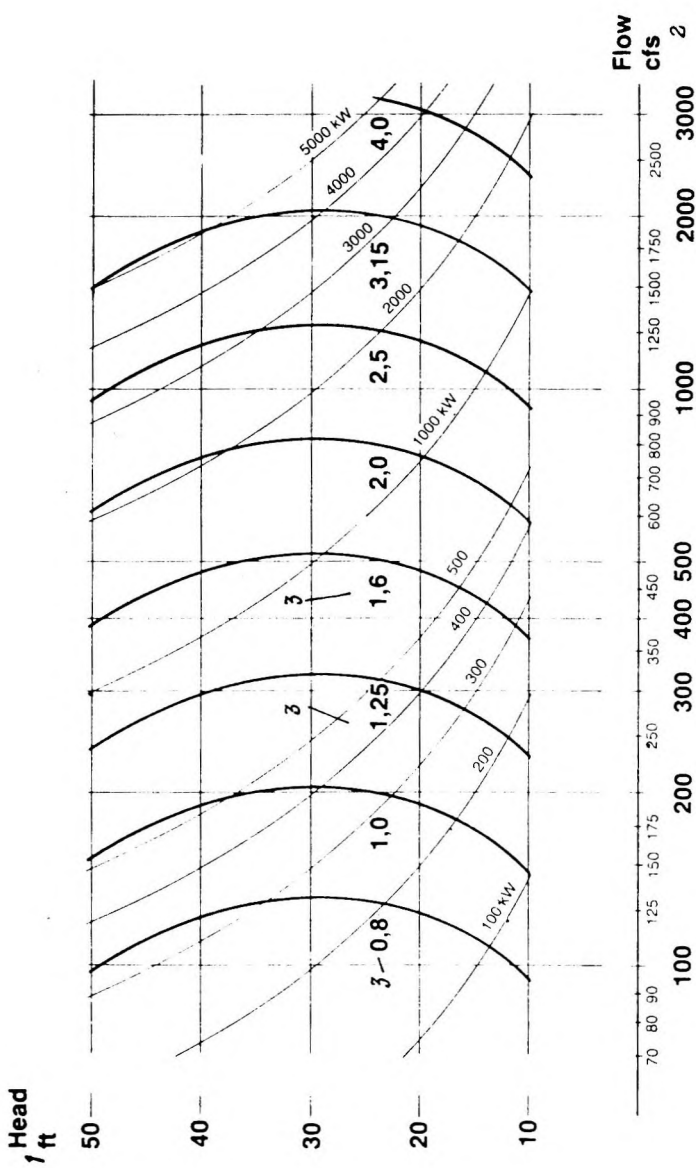


Рис. 5. Мощностные характеристики изготавливаемых агрегатов в зависимости от напора и расхода:

1 — значение напора, фут (1 фут = 0,304 м); 2 — значение расхода агрегата, куб.фут/с (1 куб.фут/с равен 0,028 м<sup>3</sup>/с); 3 — типоразмер агрегата

по очистке водоприемника от сора. Для удаления воздуха из трубопровода при сифонной компоновке должен применяться вакуумный насос. В этом случае отпадает необходимость установки ремонтного загораживания на входном участке трубопровода, так как прекращение поступления воды к агрегату осуществляется простым срывом вакуума, для чего должен быть открыт воздушный клапан.

Подводящий и отводящий (за отсасывающей трубой агрегата) участки трубопровода изготавливаются фирмой в виде готовых секций, состоящих из предварительно изготовленных железобетонных, металлических или деревянных элементов, стягиваемых металлическими бандажками. Стыки между элементами уплотняются до стягивания бандажки в целях устранения протечек. Ориентировочный срок службы таких сборных водоводов оценивается в 70 лет.

Строительно-монтажные работы по сооружению ГЭС подобного типа могут быть осуществлены с применением простейшей строительной техники. Монтаж готового агрегата может быть произведен автокраном. Ил.13, табл.1.

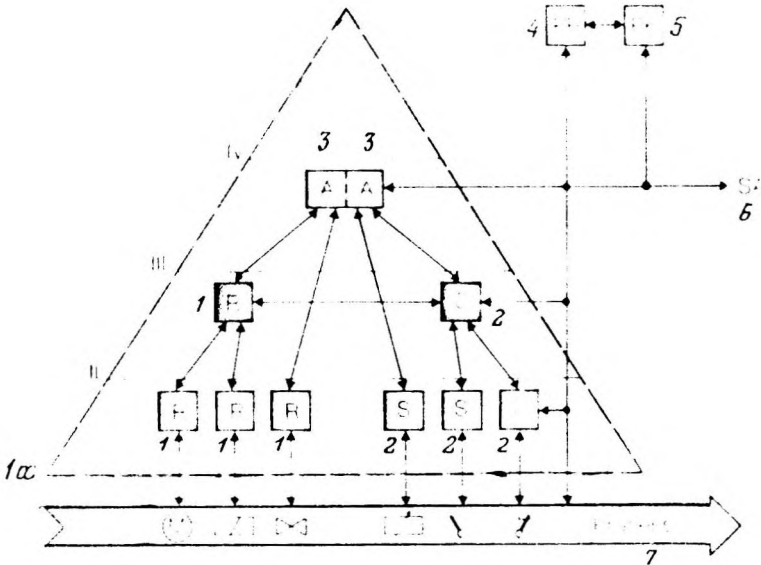
М.Ф.Губин

УДК 621.311.21:62-519(728.7)

75. УПРАВЛЕНИЕ ГЭС ЛА ФОРТУНА (ПАНАМА). Pantli W. Leittechnische Anlagen des Wasserkraftwerkes la Fortuna, Panama. - Brown Boveri Technik, 1986, № 3, 128-132 (нем.)

Подземная ГЭС, расположенная на западе Панамы, недалеко от границы с Коста-Рикой, в 50 км севернее г. Давид, построена в соответствии с программой преимущественного развития гидроэнергетики. Установленная мощность станции 255 МВт. Оборудование и устройства управления поставлялись фирмой "Браун Бовери". Пуско-наладочные работы на ГЭС были проведены с июля 1984 г. по июль 1985 г. В июле 1985 г. ГЭС была официально введена в эксплуатацию. На ГЭС установлены 3 вертикальных агрегата, состоящих из активной турбины и гидрогенератора мощностью 94,5 МВ•А, соединенных однофазными герметизированными линиями с трехфазными блок-трансформаторами водяного охлаждения мощностью по 100 МВ•А, 138/230 кВ. От блок-трансформатора электрическая энергия передается по однофазным маслонаполненным кабелям напряжением 230 кВ через вертикальную кабельную шахту ( $h = 400$  м) к ОРУ 230 кВ, оснащенный элегазовыми выключателями

типа ELF. Недалеко от ОРУ 230 кВ расположен пункт телеуправления агрегатами ГЭС и аппаратами ОРУ 230 кВ. Предусмотрена возможность в дальнейшем телеуправления из диспетчерского пункта в столице Панама г. Панама.



**Децентрализованная иерархическая система управления:**

1 – регулирование; 2 – управление; 3 – автоматика управления; 4 – вычислительное устройство; 5 – коммутирующее устройство; 6 – канал обмена информацией с другими системами; 7 – процесс;

- Ia - ступень управления агрегатом (управление, регулирование, контроль);
- II - ступень управления группой агрегатов (управление, регулирование, контроль);
- III - ступень управления процессом (управление, контроль, обслуживание и наблюдение);
- IV - ступень управления режимом (управление, оптимизация/ЭВМ, протоколирование/регистрация, обслуживание и наблюдение)

На рисунке представлена упрощенная иерархическая схема управления, разделенная на отдельные ступени. Выделены ступени управления агрегатом, группой агрегатов, ведение технологических процессов. Благодаря модульной структуре три последние ступени схемы при неисправностях или плановых отключениях сохраняют работоспособность

и продолжают функционировать автономно. Управление группой агрегатов осуществляется вручную или автоматически с соответствующего агрегатного щита. Управление и контроль за работой всей ГЭС, агрегатов и ОРУ 230 кВ может выполняться телемеханически с пункта управления. Особое внимание уделено телеконтролю и телесигнализации. Функции телеконтроля неисправностей осуществляют электронные приборы, связанные с системой сигнализации. Это позволяет дежурному персоналу быстро локализовать и устранить неисправность. Информация для дежурного персонала выводится на дисплей или щит. Светодиоды, установленные на торцах печатных плат приборов, могут указывать место повреждения.

Щит управления агрегатом расположен в машинном зале и имеет восемь панелей. На них расположены: электронная защита генератора, измерительные приборы, аварийная сигнализация, приборы регистрации температуры, регистрирующие самописцы активной и реактивной мощностей, счетчики энергии, электронные приборы автоматики пуска, останова и регулирования (ступень управления процессом); электронные приборы управления агрегатами и группой агрегатов; автоматические устройства синхронизации и включения агрегатов и щит переключений.

Для защиты каждого блока генератор-трансформатор предусмотрены полностью электронные системы защиты GSX5e. С помощью клавиатуры, вынесенной на щит агрегата, возможна проверка агрегата во всех режимах, ручной пуск и остановка. Возможна ручная синхронизация и включение агрегата в сеть.

На панель аварийной сигнализации выводится информация о всех местных повреждениях в виде оптических и акустических сигналов. Для наблюдения за температурой турбины и генератора предусмотрен многоканальный самописец, соединенный с датчиками граничных температур. На этой же панели установлены самописцы мгновенных значений активных и реактивных мощностей, передаваемых по ВЛ, и счетчики активных и реактивных мощностей. Каждый агрегат снабжен автоматикой пуска и остановки агрегата с запрограммированной последовательностью операций. Имеется возможность быстрого изменения программ. Готовность к работе каждого агрегата передается с помощью телемеханики и высвечивается на местном щите. Информация о технологических процессах, ступенях пуска или остановки выводится на панель автоматики с помощью световых табло или цифровых приборов. Установлены автоматические устройства, которые при появлении электрических повреждений или механико-гидравлических нарушений в работе агрегатов оста-

навливают турбину и отключают генератор от сети. Автоматика агрегата останавливает агрегат при возникновении неисправностей в любом режиме, место повреждения запоминается, что облегчает и ускоряет поиск и устранение неисправностей.

На щит управления станцией, состоящий из трех секций, выводится информация о суммарной активной и реактивной мощностях трех генераторов, там же установлены самопишущие приборы активных и реактивных мощностей ВЛ 230 кВ, самопишущие счетчики суммарной активной и реактивной энергий, самописцы уровней воды в водохранилище и отводящем канале. Для управления работой ГЭС и передачи информации о состоянии ГЭС и ОРУ 230 кВ используется комбинированная система телемеханики. Для обработки будущего потока информации между диспетчерским пунктом в г. Панама и ГЭС уже сегодня предусмотрено приемо-передающее устройство, выполненное на базе ЭВМ. Установлено дублированное вычислительное устройство, при этом, когда одно из них непосредственно управляет режимом, другое готово к работе или занято другими расчетами. Каждое вычислительное устройство снабжено памятью, выполненной на магнитных платах.

Все сигналы о состоянии ГЭС выводятся на цветные дисплеи. Это – графическая схема ОРУ 239 кВ с указанием состояния выключателей и разъединителей; графические схемы различных контролируемых систем ГЭС, например, системы охлаждения масла; различные сообщения и аварийная информация; величины измерений в цифровой или аналоговой форме. Для лучшего восприятия информации об объектах используются изменяющиеся символы, изменения комбинаций окраски и др.

На рабочем месте дежурного инженера ГЭС предусмотрено две консоли управления. Объекты управления могут вызываться на дисплеи, установленные рядом с консолями. Клавиатура консолей позволяет обслуживающему персоналу вызывать схемы, протоколы, информационные таблицы или передавать приказы управляемым объектам. Для ведения протокола служат переключаемые устройства печати. Выделяются два вида протокола: режимный, в котором общие регулярные и разовые сообщения заносятся в порядке их появления, и заданный директивный протокол, в котором печатаются сообщения по выбору дежурного в заданное время. Два устройства печати имеют управляемую схему подключения к консоли управления.

Значение ГЭС Ла Фортуна определяется тем, что она покрывает около 60% общего энергопотребления в стране. Опыт ее эксплуатации показал, что по надежности и удобству эксплуатации устройства уп-

равления полностью отвечают современным требованиям. В устройствах управления во все возрастающем объеме применяются цифровые децентрализованные системы управления, обмен информацией у которых осуществляется по коаксиальному кабелю. Фирмой "Браун Бовери" на нескольких ГЭС уже установлена система управления BBC-PROCONTROL. Подобные системы отличаются лёгкостью изменения программ, высокой надежностью и удобством эксплуатации. Ил.6. Библ.2.

В.А.Седлер

УДК 627.84

**76. ПОПЛАВКОВЫЙ ВОДОПРИЕМНИК ДЛЯ ВЫСОКОГОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ.**  
Bezinge A. et al. Schwimmende Wasserfassung zur Förderung von Gletscherwasser. – Wasser, Energie, Luft, 1986, 78, № 1/2, 13–16 (нем.)

В целях забора осветленной воды из высокогорных водохранилищ-отстойников на каскаде Гран-Диксанс (Швейцария) разработана, установлена и успешно действует оригинальная конструкция поплавкового водоприемника взамен ранее действовавшего стационарного водоприемника глубинного типа.

Поплавковый водоприемник установлен на высокогорном водохранилище Цмутт, образованном арочной плотиной высотой около 75 м (рис.1). Полезный объем водохранилища 670 тыс.м<sup>3</sup>. В средний по водности год в него поступает 85 млн.м<sup>3</sup> воды (в том числе 75 млн.м<sup>3</sup> из-под ледников остальное - по туннелям). 90 % стока подлежит насосной перекачке в основное водохранилище каскада Гран-Диксанс.

Ледниковые воды значительно загрязнены наносами, состоящими из частиц преимущественно кремнистого состава. Примерно 30% частиц диаметром свыше 0,2 мм удается осадить в песколовках и отстойниках, входящих в системы сооружения по захвату и переброске стока. Более мелкие частицы в количестве от 20 до 35 тыс.м<sup>3</sup> ежегодно оседают в водохранилище Цмутт, откуда они удаляются промывом. Оставшаяся часть - около одной трети всего объема наносов - до последнего времени попадала вместе с водой в насосы системы перекачки. Всего на насосной станции Цмутт установлены два двухступенчатых центробежных насоса, мощностью по 30 МВт с высотой подачи 470 м и расходом 5,7 м<sup>3</sup>/с.

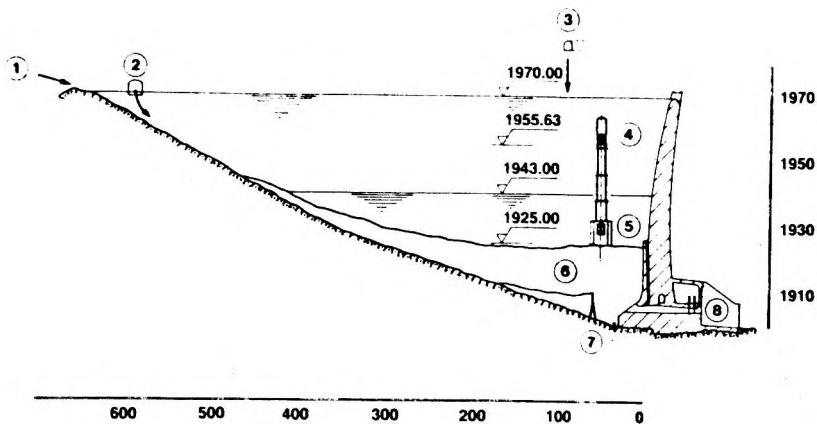


Рис. 1. Продольный разрез по водохранилищу-отстойнику (максимальный подпорный уровень - 1970,0 м, минимальный эксплуатационный уровень - 1943,0 м):

1 – среднегодовая приточность ручья Цмуттбах около 10 млн.м<sup>3</sup> (максимальный расход 8 м<sup>3</sup>/с); 2 – среднегодовая приточность системы переброски стока ледника Горнер около 70 млн.м (максимальный расход 26 м<sup>3</sup>/с); 3 – среднегодовая приточность системы переброски стока Бодмен 2-4 млн.м<sup>3</sup> (максимальный расход 8 м<sup>3</sup>/с); 4 – поплавокый водоприемник в верхнем положении (отметка порога заборных отверстий 1955,63 м); 5 – первоначальный водоприемник (отметка порога заборных отверстий 1925,0 м принята по максимальному уровню отложения наносов); 6 – годовой объем заиления водохранилища; 7 – перемычка для задержки крупных фракций наносов; 8 – глубинный водовыпуск

Эти насосы подвергались значительному износу и каждую зиму должны были капитально ремонтироваться. Ежегодные расходы на ремонт насосного оборудования достигали 400 тыс. швейцарских франков.

Замерами в водохранилище было установлено, что концентрация в воде взвешанных наносов на отметке 1955 м (15 м под уровнем НПУ) ниже их концентрации на отметке 1925 м (глубинный водоприемник) в 4-7 раз, в зависимости от расхода воды через водохранилище. Соответственно максимальный размер 90 % взвешанных частиц по мере заглубления также снижается с 150 до 40 мкм.

Поскольку интенсивность износа гидравлических машин прямо пропорциональна объему транспортируемых ими наносов и взвешанных частиц (т.е. 3-й степени их диаметра), напрашивалось решение построить поплавокый водоприемник, обеспечивающий забор воды на перекачку из поверхностных слоев водохранилища (рис. 2).

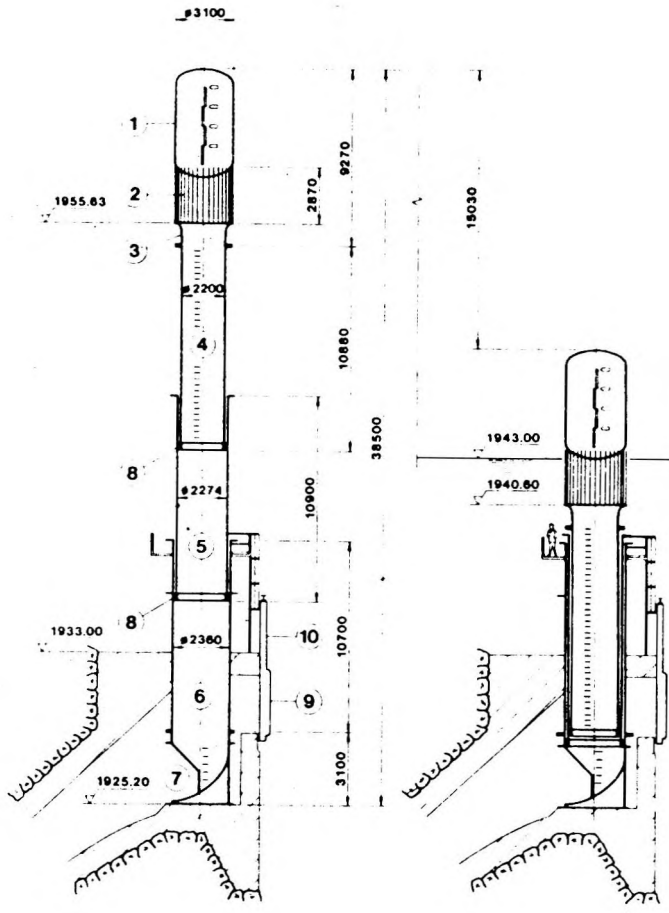


Рис.2. Поплавковый водоприемник в верхнем и нижнем положении:  
 1 – поплавок; 2 – заборное устройство; 3 – воронка; 4 – верхняя выдвигающая обечайка; 5 – средняя выдвигающая обечайка; 6 – нижняя обечайка; 7 – опорная конструкция; 8 – внутренние радиально-кольцевые распорки; 9 – аварийный плоский затвор; 10 – гидропривод аварийного затвора

Поплавковый водоприемник представляет собой телескопическую выдвигающую металлическую конструкцию, установленную на железобетонном



оголовке существующего глубинного водоприемника. В летний период эксплуатации водоприемник под действием поплавка поднимается до отметки водозабора 1955, 63-1958, 50 м. При этом верхушка поплавка остается примерно на 7,0 м ниже поверхности воды. В зимний период по мере опорожнения водохранилища, конструкция опускается на 15,0 м, причем поплавок полностью выступает из воды.

В качестве конструкционного материала для изготовления водоприемника рассматривались варианты алюминиие-марганцово-магниевого сплава и нержавеющей стали.

По условию обеспечения надежной кинематики механизма водоприемника (исключения опасности заедания при движении труб) был принят вариант из нержавеющей стали с бронзовыми направляющими элементами. Конструкция водоприемника показана на рисунке. Жесткость труб обеспечивается системой внутренних радиальных и кольцевых распорок, направляющими кольцами и наружными ребрами. При максимальном подъеме отдельные обечайки водоприемника перекрывают друг друга по высоте на 3 м. Направляющие кольца одновременно выполняют функции уплотнения между обечайками.

Поплавок объемом 38 м<sup>3</sup> представляет собой замкнутый цилиндрический сосуд. Плотность швов при его изготовлении проверялась спектрографической установкой.

Все элементы конструкции, воспринимающие динамические усилия потока, запроектированы с учетом возможных резонансных явлений.

Заборные отверстия водоприемника перекрыты 6 стационарными решетками, опирающимися на стойки, соединяющие верхнюю обечайку с поплавком. Скорость воды на решетках возрастает от 0,2 м/с (верх решеток) до 2,5 м/с (низ решеток), Скорости внутри труб достигают 4 м/с. Прутья решеток опираются на поперечные балки (расстояние между ними увеличивается снизу вверх от 0,45 до 0,9 м) и систему диагональных раскосов.

На случай возможного отказа при заедании телескопической конструкции одно из отверстий в бетонном оголовке существующего водоприемника переоборудовано в качестве аварийного и снабжено плоским затвором с гидроподъемником.

Готовая конструкция водоприемника успешно прошла заводские испытания и осенью 1984 г. смонтирована с помощью кабель-крана грузоподъемностью 15 т, пролетом 200 м. Максимальные габариты монтажного элемента 11 x 3,1 м, масса 13 т.

Стоимость описанного поплавоквого водоприемника 1,4 млн.швейцарских франков.

В настоящее время разрабатываются аналогичные конструкции на расходы воды до 200 м<sup>3</sup>/с. Ил.5.

Л.Б.Шейнман

---

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ И ГИДРОУЗЛЫ

УДК 627.82.004.67

### **77.РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛОТИН С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗОПАСНОСТИ.** Lafitte R. Rehabilitation of dams to ensure

safety. - "15 th International Congress on Large Dams, Lausanne, 24-26 June, 1985, Transactions, vol. 4, Quest. 59",

Paris, s.a., General Report, 929 - 1003 (англ., франц.);

15 th International Congress on Large Dams. - International

Water Power and Dam Construction, 1985, 37, № 10, 59 - 62 (англ.)

Последним из четырех вопросов, обсуждавшихся на XV Международном конгрессе по большим плотинам, был вопрос 59: "Ремонт и восстановление плотин с целью обеспечения их безопасности". По этому вопросу было представлено 57 докладов от специалистов 30 стран, в том числе по 7 докладов от США, ФРГ, Бразилии, Швейцарии, Швеции, Испании и Португалии.

В генеральном докладе по этому вопросу выделены следующие основные причины реконструкции плотин:

Ремонт вследствие повреждения плотины.

Изменение критериев безопасности (надежности) плотин.

Изменение назначения водохранилища.

Изменение экологических условий окружающей среды выше и ниже гидроузла.

Старение плотины, приводящее к износу ее материалов.

Более половины докладов по этому вопросу было посвящено реконструкции водосбросных сооружений в основном в связи с уточнением (повышением) их расчетной пропускной способности. Большой интерес представил ряд докладов, посвященных саморазмывающимся водосбросам типа "плавкая вставка" и переливным грунтовыми плотинам.

Широкое применение переливные грунтовые плотины и саморазмывающиеся грунтовые вставки получили в КНР, Австралии, Новой Зеландии, США, ЮАР и некоторых других странах. Например, в КНР построены и успешно эксплуатируются 9 переливных грунтовых плотин с различ-

ным креплением низовых откосов, в том числе сборным железобетонным, монолитным бетонным и асфальтобетонным. Последний тип крепления применяется в КНР с 1970 г. и по мнению китайских специалистов является наиболее эффективным, так как наилучшим образом воспринимает неравномерные осадки низовой призмы при сбросе паводка.

В Австралии успешно эксплуатируются три саморазмывающихся грунтовых водосброса на крупных гидроузлах Опталмиа, Кулманда и Ниллакути. На последнем гидроузле длина грунтовой "плавкой вставки" составила 60 м при ее высоте 2 м над порогом необлицованного скального лотка водослива-быстротока. Применение саморазмывающейся грунтовой вставки на этом гидроузле позволило на 30 % увеличить общую пропускную способность водосбросов. За 18-летний период эксплуатации гидроузла Ниллакути лишь однажды уровень водохранилища поднялся на 1,9 м выше НПУ или порога "плавкой вставки", что привело лишь к незначительному (3 % по объему) размыву грунтовой вставки без заметного повреждения низового откоса, засаженного травами.

По опыту Бюро Мелиорации США можно сформулировать следующие основные положения проектирования грунтовых "плавких вставок":

1. Грунтовая вставка проектируется как обычная земляная плотина, устойчивая при действии всех видов нагрузок и при всех уровнях водохранилища ниже или равных НПУ.

2. При расчетном катастрофическом паводке обеспеченностью не более 1 %, когда уровень водохранилища достигает ФПУ, грунтовая "плавкая вставка" постепенно размывается при постоянной скорости распространения размыва по ее длине.

3. Размыв грунтовой вставки начинается с ее середины, где расположена пионерная прорезь, несколько заглубленная ниже гребня вставки.

Почетный президент Международной комиссии по большим плотинам П. Лонде (Франция) в дискуссии по вопросу 59 представил на рассмотрение недавно запатентованное собственное изобретение, относящееся к ячеистым габионным конструкциям переливных грунтовых плотин (рис. 1). Предлагаемая конструкция представляет собой систему треугольных стальных ячеек без днищ и крышек, собираемых на месте строительства, куда они могут доставляться автотранспортом или по реке. В последнем случае ячейки заполняются резиновыми баллонами с воздухом. На месте установки наплавных ячеек воздух из баллонов выпускается и в ячейки засыпают горную массу или гравий. Последовательно устанавливая ячейки по ярусам, можно получить требуемую высоту переливной перемычки или плотины. Верховой ряд ячеек может

быть заполнен глинистым материалом с целью предотвращения контактной фильтрации между ярусами ячеек.

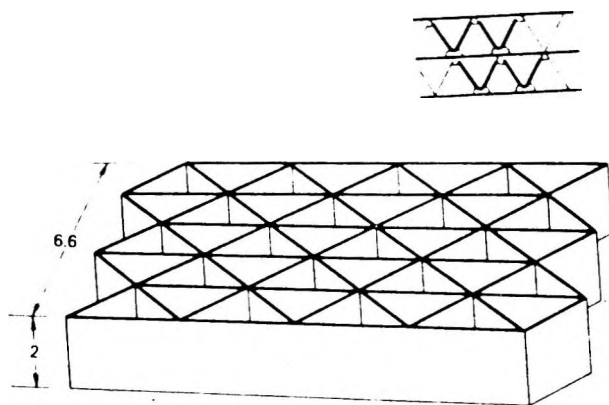


Рис. 1. Схематическое изображение ячеистой конструкции плотины П. Лонде

К настоящему времени разработан проект постоянного водослива ячеистой конструкции высотой 10 м. Коррозионная стойкость предлагаемой конструкции обеспечивается в результате применения нержавеющей стали, увеличения толщины стенок, ячеек из прокатной стали или перехода на тонкостенные железобетонные конструкции ячеек. По мнению П.Лонде предлагаемая конструкция достаточно надежна (имеет высокую статическую и фильтрационную устойчивость) и весьма экономична - снижение стоимости до 50 % по сравнению с обычными переливными грунтовыми плотинами.

В дискуссии были также обсуждены вопросы ремонта и восстановления грунтовых плотин. Представитель Франции сообщил о применении геотекстильной пленки на верховом откосе каменно-земляной плотины Рошен высотой 60 м для прекращения фильтрации через тело плотины. Стоимость пленки площадью 14 тыс.м<sup>2</sup> составила 225 тыс. долл., а с учетом склеивания ее полос при установке - 335 тыс. долл. Отмечается возможность применения геотекстильных пленок для ремонта вертикальных бетонных поверхностей плотин, построенных в суровых климатических условиях. Возможные в этом случае протечки пленки могут быть легко ликвидированы, как это показал опыт ее применения на одной из бетонных плотин, построенной во Французских Альпах.

В дискуссии по вопросу ремонта и восстановления бетонных плотин было отмечено, что во Франции для обеспечения водонепроницаемости и долговечности верхних граней бетонных плотин широко применяют синтетические составы на основе эпоксидного клея, а также алюминатно - цементные растворы с добавкой поливинилового ацетата.

Для обработки межблочных строительных швов или трещин использовались различные составы, содержащие силиконы, этиловые полисульфиры, полиуретановые смолы и полиуретаны. Однако наилучшие результаты были получены при применении в первом случае составов на основе эпоксидных клеев, а во втором - полиуретановых смол. Представитель

Австралии отметил, что в жарких климатических условиях эпоксидные составы оказались недостаточно эффективным защитным покрытием бетона верхних граней плотин и высокоскоростных водосбросов. В

последнем случае наилучшим противокавитационным покрытием оказалось покрытие на основе поливинилового ацетата.

Эффективным средством повышения устойчивости и усиления бетонных плотин является их анкеровка в скальное основание напрягаемыми канатами из высокопрочной прядевой арматуры. Подобное усиление гравитационной плотины Сид Идрис (Франция) высотой 42,5 м было выполнено в связи с тем, что после выемки котлована в основании плотины были обнаружены глинистые прослойки с пониженными сдвиговыми характеристиками. Для обеспечения расчетной устойчивости плотины на сдвиг из нижних галерей в теле плотины в ее скальное основание были пробурены 26 скважин, в которых были установлены канаты прядевой арматуры, которые затем были напряжены (растянуты) до 65 % предела прочности стали на разрыв и зацементированы. Подчеркивается важность обеспечения тщательной и плотной цементации

напряженных канатов при полном отсутствии образования каких-либо газовых и воздушных пузырьков в затвердевшем цементном растворе. В связи с этим рекомендуется с большой осторожностью применять в растворах добавки-пластификаторы.

В дискуссии по вопросу обеспечения безопасности плотин в связи с недостаточной пропускной способностью водосбросных сооружений отмечалась важность обеспечения безотказной работы рабочих затворов при сбросе паводка. В связи с этим была отмечена необходимость дублирования независимых автоматических систем маневрирования этими затворами.

Повышение гребня существующей грунтовой плотины в случае недостаточности пропускной способности водосброса и повышения его напора может быть экономично осуществлено в результате строительства на гребне плотины подпорной стенки из армированного грунта, как это было выполнено на каменно-земляной плотине Лейк Шербурн высотой 26 м в США.

Деформации (усадки, ползучести) бетона и породы, гидростатических нагрузок, температурных влияний и т.д. Процесс разуплотнения наиболее активно развивался в зимнее время при наполненном водохранилище, а также в донных участках долины, где велики нагрузки от плотины. Явление разуплотнения обнаруживалось разными путями: при подводном визуальном осмотре сооружения, по увеличению притока воды в буровые скважины, проходившихся для цементации или с другой целью, по показаниям контрольно-измерительной аппаратуры, в особенности пьезометров, по увеличению дренажных расходов и т.д.

В большинстве случаев трещинообразование в основании верховой части плотины не грозит опасностью для самого сооружения, хотя существует мнение, что оно могло быть одной из причин аварии на плотине Мальпассе. Тем не менее, во избежание непредвиденных последствий трещинообразования проводят соответствующие укрепительные и конструктивные мероприятия. Цементация в этих случаях может временно заметно улучшить положение, но действие ее во времени не надежно. Перенос дренажной системы дальше в сторону НБ уменьшает фильтрационный расход, но не влияет на уменьшение противодавления в верховой части опирания плотины. Наиболее радикальным решением этого вопроса является устройство водонепроницаемого понура, прочно связанного с основанием и сочлененным с плотиной гибким швом. Возведение такого понура в условиях эксплуатируемого сооружения имеет свои специфические трудности, к которым можно отнести борьбу с усадкой бетона,

конструирование достаточно гибкого и герметичного соединительного шва, устройство подходов к месту укладки понура, производство всех работ в очень сжатые сроки и т.д.

В процессе эксплуатации арочно-контрфорсной плотины Розеланд в зоне сопряжения ее левобережной контрфорсной части с центральной аркой, в основании напорной грани сооружении раскрылся шов, и в скальном массиве возникла трещина, образовавшая вместе с раскрытым швом разрывное нарушение, так называемую "активную трещину", раскрывавшуюся и сжимавшуюся при каждом цикле опорожнения и наполнения водохранилища. Через эту "активную трещину", при горизонте ВБ 1542 м (отметка НПУ 1557 м) возникла фильтрация с расходом 6,6 л/с, увеличившаяся до 10 л/с с повышением уровня ВБ до 1553 м. В связи с этим, было принято решение уложить с верховой стороны плотины водонепроницаемый железобетонный понур, который свел бы к минимуму фильтрацию по "активной трещине" и зоне разуплотнения в скальном основании. Понур минимальной трещины 1,5 м, шириной (по течению реки) 12 м и длиной в несколько сот метров был уложен и прианкерован к совершенно сохранной скальной породе и прочно связан с ней путем инъекции раствора синтетической смолы. Взамен старой цементационной завесы, пришедшей в негодное состояние в процессе разуплотнения свального массива, с верховой стороны понура была заложена новая цементационная завеса глубиной около 25 м. Понур сопряжен с бетоном плотины гибким водонепроницаемым швом, допускающим упругие деформации порядка 1,0 см в горизонтальном направлении и 0,5 см - в вертикальном. После устройства понура (1972–1974 гг.) фильтрационный расход уменьшился до 5 л/с, а после инъекции раствора синтетической смолы (1974 – 1975 гг.) он снизился до 1 л/с. Однако, в 1977 г. при горизонте водохранилища 1557 м был зарегистрирован расход порядка 1,5 л/с, а дистанционный щелемер показал упругие деформации в пределах 3 мм.

Начиная с 1975 г. прогрессирующее, хотя и очень незначительное по абсолютной величине (1,5 л/с), увеличение фильтрационного расхода было зафиксировано в основании правобережной части плотины. Выяснение причин этого явления усложнилось присутствием в основании тектонической зоны, зацементированной в 1957–1960 гг. Для предотвращения дальнейшего развития фильтрации на участке длиной 60 м, на сохранную скальную породу был уложен и прианкерован к ней железобетонный понур шириной 5,5 м с гибким сопрягающим швом. Шов с резиновым уплотнением был рассчитан на упругие деформации, не превышающие 2 см, для наблюдений за которыми были установлены дистанци-

онные щелемеры. В результате всех осуществленных мероприятий фильтрационные расходы сначала уменьшились, а затем стабилизировались, при этом деформации остались в пределах до 0,5 см.

Понуры, подобные описанным выше, были также устроены в основании плотин Бар-Лез-Орг и Кольбрайн. Ил.8.

Р.Р.Тиздель

УДК 627.825(45)

**79.ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ АРОЧНОЙ ПЛОТИНЫ РИДРАКОЛИ (ИТАЛИЯ).**

Piccinelli F. et al. Ridracoli dam: test and data acquisition. – "15 th International Congress on Large Dams, Lausanne, 24–26 June, 1985, Transactions, vol. 1, Quest. 56", Paris, s.a., R.73, 1415-1438 (англ.)

Плотина расположена в Апеннинах в 50 км южнее г.Форли. Строительство намечено выполнять пятью очередями. Плотина относится к первой очереди: она была завершена в апреле 1984 г. Арочно-гравитационная плотина (рис.1) максимальной высотой 103,5 м, длиной по гребню 432 м возведена в 1984 г. Основные показатели выполненных объемов работ: выемка грунта под плотину - 610 тыс.м<sup>3</sup>, под вспомогательные сооружения - 150 тыс.м<sup>3</sup>, объем бетона в теле плотины и во вспомогательные сооружения - 680 тыс.м<sup>3</sup> (объем бетона непосредственно в теле плотины составляет 590 тыс.м<sup>3</sup>), среднее содержание цемента в бетоне принято равным 210 кг/м<sup>3</sup>, максимальная крупность заполнителей 120 мм; цементационные работы выполнены на площади 60 тыс.м<sup>2</sup>, дренажные работы в скальном основании - 6800 пог.м скважин, в бетоне - 5000 м; омоноличивание швов плотины на первой очереди потребовало 1,37 кг цемента на 1 м<sup>2</sup>, и на второй очереди – 0,37 кг цемента на 1 м<sup>2</sup>.

Стоимость всего проекта составила около 200 млн.долл. Строительство осуществлено под наблюдением миланского института "Электроконсульт".

Створ плотины находится в широкой U-образной долине в месте слияния рек Биденте и Челлуце. Основанием сооружения служат мергели и песчаники, толща которых достигает нескольких километров. Породы основания нарушены тектоническими трещинами, район характеризуется высокой сейсмичностью – до 10 баллов по 12–балльной шкале Меркалли. В 1918 г. здесь произошло землетрясение интенсивностью свыше 9 баллов, в 1957 г. – интенсивностью 7 баллов.



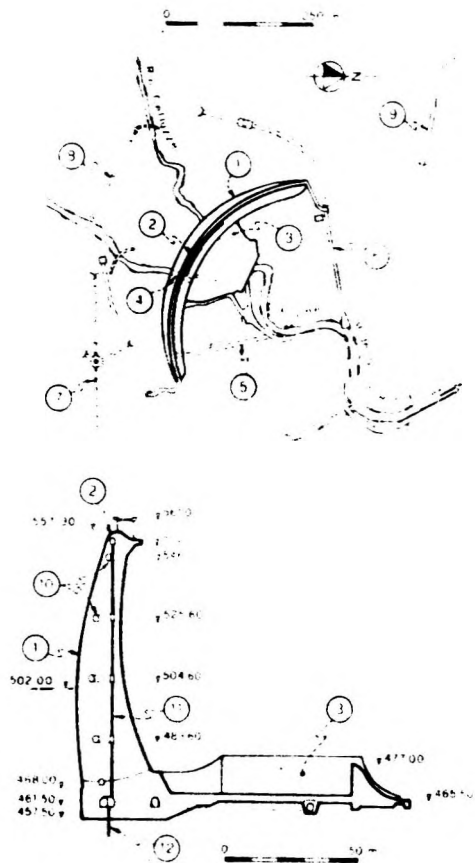


Рис. 1. План и разрез по плотине:

1 – плотина; 2 – водосброс; 3 – водобойный колодец; 4 – донный водовыпуск; 5 – водовыпуск при низком уровне водохранилища; 6 – водовыпуск при среднем уровне водохранилища; 7 – водозабор и отводящий туннель; 8 – отводящий туннель; 9 – дорога; 10 – потери; 11 – прямой маятник (отвес); 12 – обратный отвес

Геологические исследования в створе включали бурение разведочных скважин глубиной до 80 м. Таким путем удалось установить расположение основных тектонических нарушений. Характеристики скального основания определены лабораторным путем. Плотность пород составляет  $2,7 \text{ т/м}^3$ , прочность при одноосном сжатии изменяется в диапазоне от 450 до 1450  $\text{кг/см}^2$ , модуль упругости – от 800000 до 2600000  $\text{т/м}^2$ .

Сдвиговая прочность скалы основания определена испытаниями в натуре и оказалась равной по углу внутреннего трения от 13 до 35°. В мерзле сцепление оказалось равным от 0 до 1,2 кг/см<sup>2</sup>. Значение модуля упругости по данным натурных исследований оказалось равным от 600000 до 1400000 т/м<sup>2</sup>. Скорость продольных волн в материале основания получена равной от 4 до 5 км/с. Водопроницаемость пород основания изменяется в пределах от 4·10<sup>-7</sup> до 10<sup>-7</sup> м/с.

Напряженно-деформированное состояние плотины исследовалось как на модели в масштабе 1:100, так и аналитически методом конечных элементов. При основном сочетании нагрузок максимальное смещение гребня составляет от 60 до 90 мм. При этом значения максимальных напряжений в бетоне тела плотины составляют: консольные – от 22 до 33 кг/см<sup>2</sup>, арочные от 40 до 52 кг/см<sup>2</sup>. Максимальные напряжения в скале основания составляют от 16 до 29 кг/см<sup>2</sup>.

Расчеты динамической работы плотины при расчетном землетрясении выполнены псевдостатическим методом согласно итальянским нормам (при статическом задании сейсмического воздействия). Результаты расчетов показали наличие у сооружения большого запаса прочности. Динамическая работа плотины при переменном во времени воздействии, имитировавшимся с помощью вибростола, изучалась на упругих и хрупких моделях в масштабах 1:100 и 1:150. Образование первых трещин в модели было зафиксировано при достижении ускорениями колебаний значений порядка 0,85  $\delta$ . Гидравлические исследования ставили своей задачей уточнение пропускной способности с водосброса.

Результаты всего комплекса исследований, проведенных на гидроузле, выявили достаточно высокую надежность конструкции и показали важность изучения деформационных свойств скалы основания, существенно влияющих на поведение сооружения при нагрузках всех сочетаний. В связи с этим контрольно-измерительная аппаратура, предназначенная для фиксации поведения сооружения при статических и динамических нагрузках, была расположена как непосредственно на плотине, так и в основании. Аппаратурой фиксируются изменения температуры бетона плотины, воды верхнего бьефа и наружного воздуха. Для этих измерений (рис.2) в бетоне плотины установлено 49 термометров, 2 термометра для измерения температуры воды в водохранилище и 3 – для замеров температуры воздуха. Замеры напряжений в бетоне плотины производятся с помощью тензометрических датчиков, объединенных в 3 группы по 6 датчиков в каждой. Одна группа расположена у подошвы в центральной секции сооружения, две другие – у подошвы в крайних береговых секциях. 3 датчика из каждой группы располо-

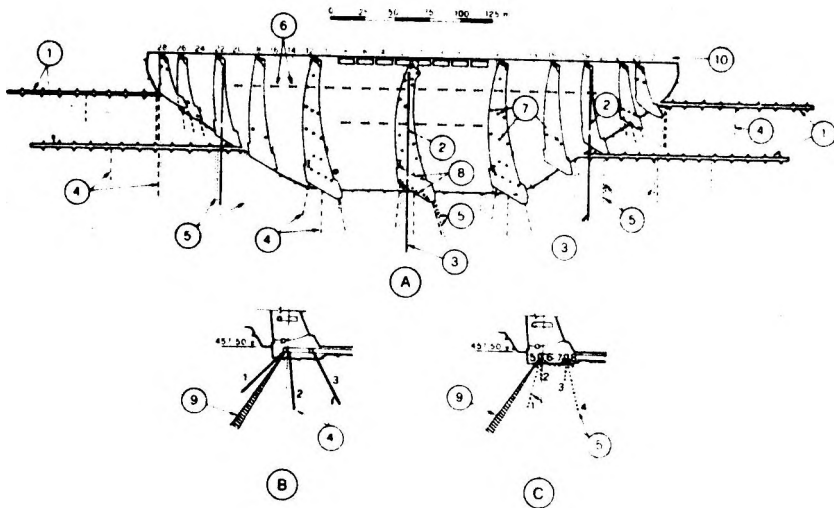


Рис.2. Расположение контрольно-измерительной аппаратуры.  
Вид с нижнего бьефа:

В – расположение датчиков деформаций; С – расположение пьезометров;  
1 – дренажные и цементационные галереи; 2 – прямой отвес; 3 – обратный отвес; 4 – датчики деформаций; 5 – пьезометры; 6 – теледилатометры; 7 – термометры для бетона; 8 – датчики напряжений; 9 – цементационная завеса; 10 – нумерация швов

жены вдоль периметрального шва. По ширине датчики расположены вблизи напорной грани, в центральной части и вблизи низовой грани. Девять электроакустических экстензометров расположены в основании на глубине 20 м ниже подошвы плотины. Для определения деформаций сооружения в плотине установлено 60 электроакустических экстензометров. Контроль за смещениями частей плотины по радиальным и периметральному швам осуществляется с помощью 28 электроакустических дилатометров. Горизонтальные смещения контролируются с помощью отвесов и геодезическими средствами. Вертикальные смещения контролируются с помощью 107 марок.

Фиксируются также деформации вращения. Кроме того установлена аппаратура для контроля фильтрации в основании и через сооружение.

Для контроля изменения характеристик скального основания предусмотрено осуществлять периодические измерения в нем скорости упругих волн. Постоянно фиксируется также положение кривой депрессии в бортах водохранилища выше плотины, в ее створе и ниже сооружения. Для автоматической записи погодных условий на гребне плотины (ближе к берегам) расположены две метеорологические станции. Для

регистрации колебаний плотины при землетрясениях на плотине расположены четыре акселерометрические станции - в центральной секции и у берегов - на гребне сооружения расположены три станции и одна - в основании на глубине 40 м ниже подошвы. Из динамических характеристик с помощью специальной аппаратуры фиксируются также динамические напряжения в бетоне плотины и гидродинамическое давление на напорную грань сооружения. Система для записи динамических параметров находится в постоянной готовности и запускается при уровне сейсмических ускорений в основании свыше  $0,02 g$ , что соответствует 6 баллам по шкале Меркалли.

Для проведения микросейсморайонирования имеется система из шести сейсмометрических станций.

Вся собираемая информация по кабелям передается в помещение оператора, который имеет возможность управлять работой отдельных приборов, установленных в различных точках сооружения. Все данные передаются в институт сейсмостойкого строительства в г. Бергамо, Имеется возможность выдачи всей информации в графическом виде на дисплеи для сопоставления натуральных данных с результатами аналитических исследований и с проектными предпосылками. Анализ полученных данных и такое сопоставление выполняется автоматизированно с помощью ЭВМ VAX-11/780.

Согласно итальянским нормам первое пробное заполнение водохранилища производится до отметки, расположенной на 33 м выше подошвы плотины. Такое заполнение было произведено в апреле-мае 1981 г., когда сооружение плотины еще не было завершено. Через год в июне-июле 1982 г. было произведено второе заполнение водохранилища до отметки на 63 м выше ее подошвы. В августе 1982 г. водохранилище было снова опорожнено. Затем оно было заполнено до отметки на 89 м выше подошвы плотины и этот уровень поддерживался в течение 10 мес. (июль 1983 - январь 1984 гг.). Длительное поддержание высокого уровня воды необходимо для возможности анализа влияния ползучести бетона и основания на поведение сооружения (смещение гребня) и на уточнение влияния температурного режима на работу плотины. Последующее опорожнение водохранилища производилось очень медленно - всего на 0,25 м в сутки. В процессе опорожнения все натурные исследования производились автоматически, что позволило выполнять замеры достаточно часто с интервалом в 6 ч и получать результаты в графическом виде. Обработка результатов исследований позволила получить данные о горизонтальном смещении плотины

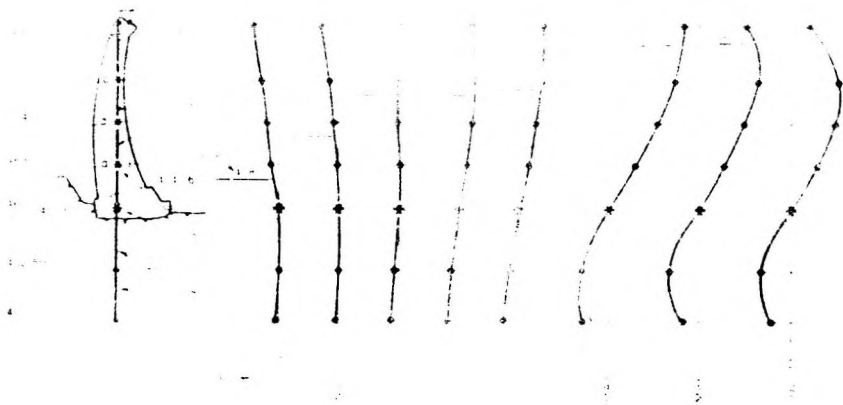


Рис.3. Деформации центральной консоли:

1 – прямой отвес; 2 – обратный отвес; 3 – записывающая станция; 4 – даты; 5 – уровень водохранилища; 6 – средняя температура воздуха; 7 – масштаб радиальных смещений

под действием гидростатической нагрузки и при изменении температуры наружного воздуха.

Деформации конструкции и основания носят регулярный характер, согласуясь с характерными для плотин арочно-гравитационного типа закономерностями. Зависимость смещения различных точек сооружения и основания от уровня воды верхнего бьефа показана на рис.3. Максимальные смещения плотины в горизонтальном направлении при этом не превышали 18 мм. Деформации скального основания также хорошо следуют за уровнем воды верхнего бьефа. Во время постоянного уровня водохранилища ползучесть проявляется в малой степени и характеризуется анизотропией. Противодавление в основании определяется уровнем верхнего бьефа. Фильтрация через сооружение и основание мала, ее максимальный уровень составляет 80–100 л/мин. Трещины в основании характеризуются тенденцией к закрытию при высоком уровне верхнего бьефа. Максимальные деформации в направлении перпендикулярном плоскости трещин составляют 0,5 мм. За описываемый период сейсмометрическая аппаратура не включалась. Однако было зафиксировано более 130 микросейсмических воздействий. В целом, как свидетельствуют

данные натуральных исследований, поведение плотины Ридраколи хорошо согласуется с проектными предпосылками. Ил.10.

Я.И.Натариус

УДК 627.824.004.69.001.5 (45)

**80. РЕКОНСТРУКЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОТИНЫ КОРБАРА (ИТАЛИЯ).**

Bonaldi P. Examination of the behaviour of Corbara Dam via numerical simulation provided by mathematical models. -

"15 th International Congress on Large Dams, Lausanne, 24-26

June, 1985, Transactions, vol. 1, Quest. 56", Paris, s.a.,

R. 77, 1497-1528 (англ.)

Возведенная в 1959-1963 гг. плотина расположена на р. Тевер в провинции Орвието, в 100 км севернее Рима. Плотина состоит из двух частей: бетонной гравитационной (частично массивной, частично контрфорсной) и грунтовой со слегка наклонным ядром. Длина по гребню бетонной плотины составляет 416 м, максимальная высота – 52 м. Длина грунтовой плотины 224 м, максимальная высота 36 м. Основанием бетонной плотины являются мергели с глинистыми прослойками.

Незадолго до окончания строительства на поверхности некоторых контрфорсов были обнаружены капиллярные трещины, проходящие от подошвы на различную высоту в субвертикальном направлении. В связи с этим было решено снизить уровень водохранилища до отметки мертвого объема 122,00 и по специально разработанной программе провести комплекс исследований для установления причин образования этих трещин и выяснения действительной надежности сооружения. Эти исследования должны были также дать материал для принятия решения о необходимости разработки специальных мероприятий по усилению плотины.

Результаты исследований показали, что капиллярные трещины в контрфорсах имеют температурное происхождение, а именно: тепловыделение при укладке больших объемов бетона в массивные блоки при значительных суточных колебаниях температуры наружного воздуха.

Прочность скалы основания достаточна для восприятия вертикальной нагрузки от плотины, однако устойчивость сооружения против сдвига по подошве оказалась меньше требуемой.

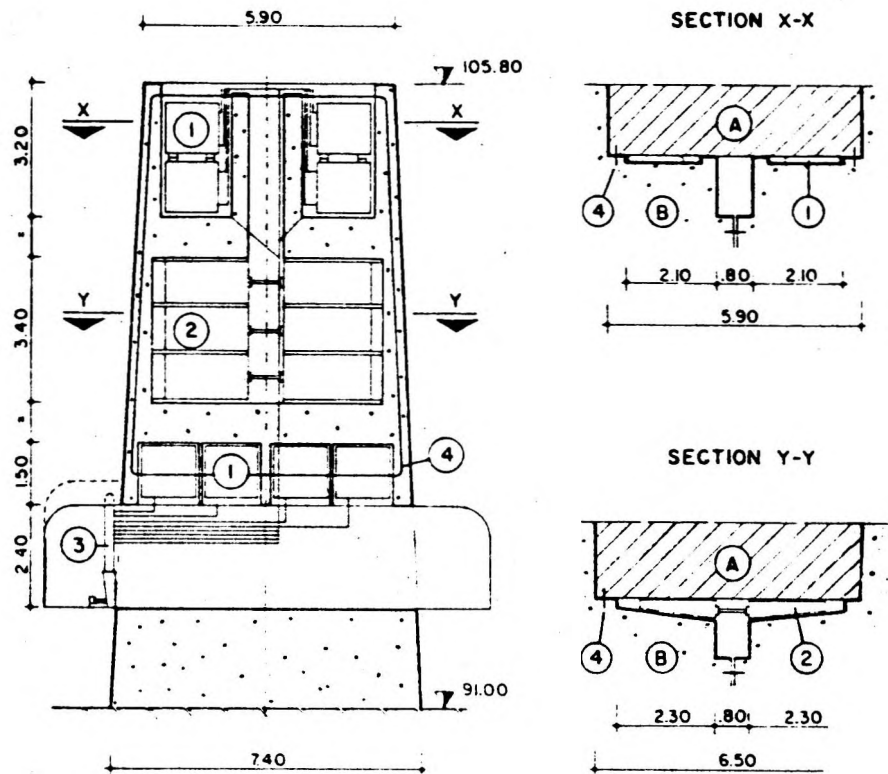


Рис. 1. Активный шов контрфорсной плотины Корбара:

А – распорный клин, составляющий единое целое с существующим контрфорсом; В – новый контрфорс;

1 – плоские домкраты; 2 – клинья, обеспечивающие надежность конструкции; 3 – баки с азотом; 4 – медный лист

В связи с этим был разработан комплекс мероприятий по повышению устойчивости плотины против сдвига и повышению ее прочности. Эти мероприятия, как показано на рис. 1, включают устройство новых контрфорсов с низовой стороны плотины почти на полную высоту сооружения и устройство упорных массивов у низовой грани в нижней части плотины высотой по 14 м. Для связи нового упорного массива с существующей плотиной устраиваются бетонные клинья (треугольные распорные массивные блоки) и используются плоские домкраты.

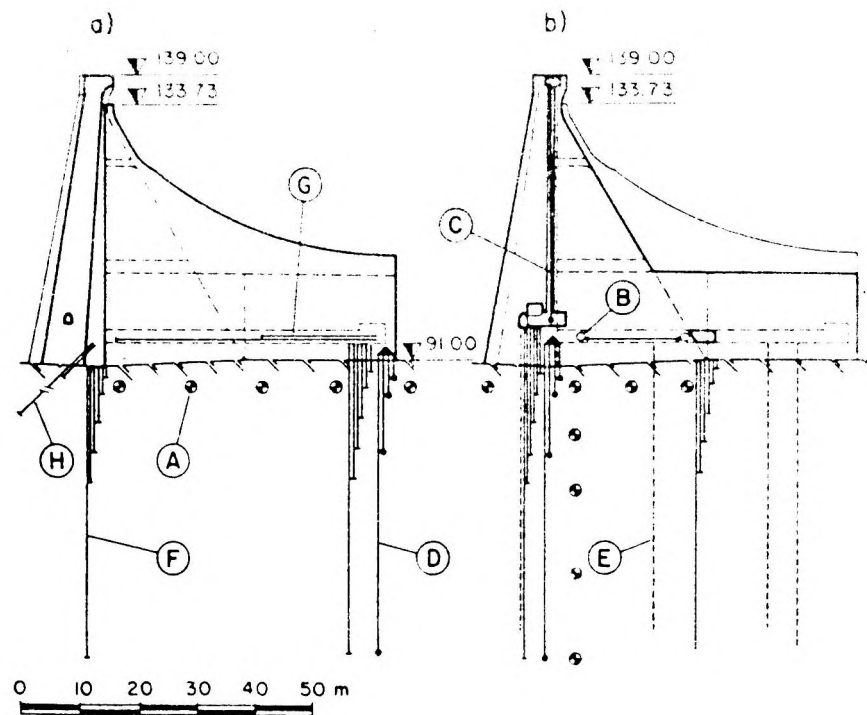


Рис. 2. Поперечные сечения по секциям 9 и 13 плотины с размещением контрольно-измерительной аппаратуры:

а) разрез по новому контрфорсу; в) разрез по существующему контрфорсу; А – датчик напряжений (вибрирующая проволока); В – база дискотметра; С – линия отвеса; D – линия обратного отвеса; Е – замеры скорости сейсмических волн; F – вертикальные экстензометры стержневого типа для замера в 6 точках; G – горизонтальные стержневые экстензометры для замера в 2 точках; H – наклонные стержневые экстензометры для замера в двух точках

Все работы по реконструкции плотины были завершены в сентябре 1984 г. В процессе строительных работ уровень водохранилища медленно повышался и к июню 1988 г. достиг отметки 132 м. Давление в плоских домкратах было поднято до 70 бар. Обнаружение новых горизонтальных трещин в контрфорсах выше отметки 123 м поставило вопрос о наращивании новых контрфорсов вместо прежде намечавшейся отметки 123 м до отметки 134 м.

Для оценки поведения сооружения при различных уровнях верхнего бьефа и установления эффективности осуществленных конструктив-



ных мероприятий в сооружении было установлено большое число контрольно-измерительных приборов, позволяющих осуществлять замеры всех компонентов напряжений в бетоне, противодавления на плотину, скорости упругих волн в основании, смещения сооружения и основания, раскрытия швов между старым и новым бетоном (рис.2). Всего в сооружении и основании было установлено около 500 единиц аппаратуры. Система контрольно-измерительной аппаратуры работает в автоматическом режиме. Разработана и внедрена система автоматизированной обработки фиксируемых многочисленными датчиками данных, обеспечивающая их сбор, систематизацию и анализ с помощью двух, работающих независимо друг от друга, расположенных непосредственно в различных местах плотины, автоматических станций. Обработка собираемых данных выполняется специальной ЭВМ, расположенной в отдельном здании. Обе станции рассчитаны на работу в экстремальных условиях (например, при стопроцентной влажности), их питание осуществляется от батарей, получающих подзарядку от общей электросети. Такая комбинированная система питания позволяет обеспечивать надежность работы аппаратуры даже в случае выхода из строя системы энергоснабжения. Обрабатываемые данные натурных исследований могут быть показаны на графическом дисплее и переданы в расположенный на значительном удалении вычислительный центр для их использования в расчетах по оценке надежности сооружения. Максимальная частота выполнения замеров для всех элементов системы составляет один раз за 25 мин. Наряду с натурными исследованиями, до начала в процессе производства и после завершения работ, выполнялись аналитические исследования поведения плотины с использованием математической модели методом конечных элементов. Основное требование оперативного контроля поведения сооружения аналитическим путем заключалось в скорости и дешевизне его проведения. С этой целью была разработана специальная технология вычислений: полный расчет методом конечных элементов производится только один раз, в дальнейшем с помощью простой полиномиальной зависимости быстро вычисляется реакция конструкции на различные сочетания нагрузок.

Выполненные исследования позволили более точно установить характеристики основания и с учетом их корректировки, по сравнению с использовавшимися при проектировании значениями, получить достаточно достоверные данные об эффективности осуществленных укрепительных мероприятий. Аналитические расчеты типовой секции выполнены с использованием пространственной расчетной схемы с включе-

нием в расчетную область значительной зоны скального основания. Расчетный модуль упругости для бетона плотины был принят равным 250000 кг/см<sup>2</sup>, для скалы основания - 30000 кг/см<sup>2</sup>. Для упругой модели была получена аналитическая зависимость смещений плотины от гидростатического давления. Отдельно оценено влияние деформативности основания в смещения сооружения. Сопоставление результатов расчетов с данными натурных исследований показало их хорошее совпадение. С учетом реальной деформативности основания, смещения гребня плотины достигают 20 мм. Сопоставление натуральных и расчетных смещений гребня плотины позволило скорректировать действительное значение модуля упругости скалы основания. Практически полное совпадение результатов расчета и натурны имеет место при отношении  $E_{\text{проектное}} / E_{\text{натурное}} = 1,5$ . При этом предполагалось, что корректировка значения модуля упругости бетона не должна проводиться ввиду хорошей изученности свойств бетона в процессе возведения сооружения. С учетом этого условия, реальные значения модуля упругости скалы основания для секции 9 оказались равными от 20000 до 27000 кг/см<sup>2</sup>, а для секции 19 соответственно от 30000 до 33000 кг/см<sup>2</sup>. Было обнаружено, что для совпадения результатов натуральных измерений и данных расчетов значение модуля упругости скалы основания для стадии первого заполнения водохранилища должно приниматься существенно меньшим и равным 10000 кг/см<sup>2</sup>.

Комплекс исследований был выполнен также во время строительства новых контрфорсов, в период с декабря 1980 г. по октябрь 1982 г. Было выполнено сопоставление результатов расчета и натурны по деформациям скалы основания под плотинной как со стороны нижнего бьефа, так и под напорной гранью, применительно к различным глубинам основания. Такое сопоставление показывает, что под нижней гранью плотины деформации скалы на большой глубине (от 20 до 50 м ниже подошвы плотины) в натуре оказались меньше полученных на математической модели. Для глубин от 5 до 10 м ниже подошвы плотины натурные значения деформации скалы основания оказались выше расчетных. Особенно существенной такая разница оказалась для периода первого заполнения водохранилища.

Аналогичная картина была получена и для деформаций скального основания под верхней гранью плотины. Результаты исследований свидетельствуют о том, что не обнаружено каких-либо аномалий в поведении сооружения при различных сочетаниях нагрузок. Исследования были продолжены в период с декабря 1982 по март 1983 г., когда

были нагружены активные швы между старым и новым бетоном и происходил подъем уровня водохранилища до отметки 129 м. Поведение обеих исследуемых секций плотины (9 и 19) оказалось идентичным. Максимальное раскрытие швов между старым и новым бетоном составило от 1,5 до 5 мм. Замечена также тенденция к уменьшению раскрытия трещин в контрфорсах. В период завершения строительных работ и дальнейшего подъема уровня водохранилища до отметки 136 м исследования показали, что поведение плотины хорошо согласуется с расчетными данными. Фильтрация в основании возросла с 0,21–0,5 л/с при уровне водохранилища на отметке 121 м до 2,25 л/с при понижении уровня воды до отметки 136 м.

Общая стоимость всех работ по установке аппаратуры составляет 730 тыс. долл. в ценах 1983 г. Общая стоимость всех работ, связанных с устройством автоматизированной системы сбора, анализа и обработки результатов натурных исследований, составляет 660 тыс. долл. Таким образом суммарные расходы на систему автоматизированного контроля за поведением сооружения (включая расходы на аппаратуру для сбора данных натурных исследований и их последующей обработки) составляют  $1,4 \cdot 10^6$ , т.е. около в 8 % от стоимости всех ремонтно-восстановительных работ на плотине. Стоимость эксплуатации всей системы составит около 85 тыс. долл. в год в течение первых двух лет и по 26 тыс. долл. в последующие годы. Ил. 13. Библ. 4.

Я.И.Натаруис

---

## СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И ГИДРОУЗЛОВ

УДК 627.825:666.972.5 (436)

**81. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ АРОЧНОЙ ПЛОТИНЫ ЦИЛЛЕРГРЮНДЛЬ (АВСТРИЯ).** Fortschrittliche Kletterschalungstechnik beim Bau der Talsperre Nillergründl. - Beton - und Stahlbetonbau, 1986, № 4, A21, A22 (нем.)

Плотина высотой 186 м, длиной по гребню 506 м представляет собой арку двойкой кривизны. Толщина арки у подошвы 42 м, у гребня – 7 м (см. рисунок). Объем тела плотины 1,4 млн.м<sup>3</sup>. Она образует высокогорное водохранилище полезной емкостью 38,8 млн.м<sup>3</sup>, входящее в состав гидроузла Циллер.

Специфика строительства крупных бетонных плотин в условиях высокогорья требует высокой интенсивности производства бетонных ра-

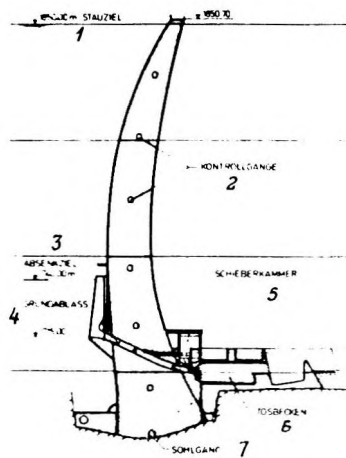
бот и тщательного соблюдения графика укладки бетона. Максимальная суточная укладка бетона на строительстве достигала 6500 м<sup>3</sup>, месячная - 110 тыс.м<sup>3</sup>. Для регулирования температуры бетона была предусмотрена система охлаждения уложенных блоков плотины. Размеры блоков по ширине - 20 м, по высоте 3 м. Около 95 % уложенного объема составляет жесткий, малопластичный бетон. Пластичный бетон укладывался узкими зонами с напорной и низовой стороны блоков.

Бетонный завод на строительстве был оснащен 4 бетономешалками гравитационного перемешивания с электронным управлением, емкостью 4,5 м<sup>3</sup> каждая, общей производительностью 360 м<sup>3</sup> смеси в час. Заполнители для бетона готовились на дробильно-сортировочном хозяйстве производительностью 1200 т/ч.

Бетонная смесь доставлялась бетоновозами к двум кабельным кранам с бадьями емкостью 9 м<sup>3</sup>. Масса груженой бадьи составляла 26 т. В бетонизируемых блоках были установлены один распределительный и один вибротранспортер с 8 мощными вибраторами. Максимальный объем блока бетонирования составлял около 3000 м<sup>3</sup>. Укладка бетонной смеси велась по 4-суточному ритму, при одновременном бетонировании в сутки 4-5 блоков.

На строительстве применялась инвентарная переставная консольная опалубка. Конструкция опалубки была рассчитана на высоту блоков 3 м при возможности нависания верхней грани блока на 1 м. Опалубка переставлялась автокранами с телескопическими стрелами грузоподъемностью 23 т. В свою очередь автокраны перемещались из блока в блок кабельными кранами.

Щиты опалубки представляли собой конструкцию из стальных консольных ребер и деревянных прогонов, с обшивкой из фанеры или досок, покрытых стальным листом. Эта конструкция на месте легко и быстро



Разрез по плотине Циллергрюндль:

1 – отметка НПУ; 2 – смотровые галереи; 3 – отметка УМО; 4 – глубинный водовыпуск; 5 – помещение затворов; 6 – колодец-гаситель; 7 – смотровая галерея в месте при-  
мыкания плотины к основанию

приспосабливалась к установке закладных частей, уплотнений, прокладке трубопроводов для охлаждения и для инъекции.

Всего на строительстве применялось 4480 м<sup>2</sup> щитов с фанерной и 1500 м<sup>2</sup> щитов с другой обшивкой и специальных. Ширина инвентарных щитов составляла 4,25; 3,35; 2,45 и 1,55 м. Между ними вставлялись металлические листы шириной до 40 см. Щиты опалубки крепились профилированными анкерными болтами диаметром 15 мм, выдерживающим нагрузку до 20 т/с. Фактическая нагрузка на анкер не превышала 12 т/с. Деформаций опалубки в процессе строительства не было.

Высокий уровень организации стройплощадки и технологии строительного производства позволили постоянно наращивать темпы производства работ.

Возведение плотины было практически закончено осенью 1985 г.

После инъекции межблочных швов весной 1986 г. намечается приступить к заполнению водохранилища. Ввод первых агрегатов ГЭС предполагается в августе 1986 г. Ил.2.

Л.Б.Шейнман

УДК 627.82.012.44.004.1(44)

**82. ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМОЛ ПРИ РЕМОНТЕ БЕТОННЫХ ПЛОТИН (ФРАНЦИЯ).** Renier D. Les résines synthétiques dans l'entretien des barrages d'électricité de France. - Travaux, 1986, № 607, 72, 73 (франц.)

После 10-15 лет эксплуатации на низовой грани некоторых бетонных плотин появляются выходы воды, вызванные нарушением состояния бетона на отдельных участках напорной грани сооружения. Для лечения бетона в таких случаях начиная с 1960-1965 гг. стали применять синтетические смолы. В частности, такого рода мероприятие с успехом применили на трех плотинах, расположенных в различных климатических условиях, характеристики которых приведены ниже:

Название плотины	Ла Жирот	Миголу	Лано
Район расположения	Савоя	Пиренеи	Центральный массив
Год ввода в эксплуатацию	1950	1958	1962
Отметка над уровнем моря, м	1750	2300	660
Тип плотины	Арочная	Контрфорсная	Арочная
Высота, м	48	29	30
Длина, м	510	225	178

В зависимости от объема бетона, подлежащего ремонту, применяют эпоксидные смолы или цементные растворы с добавкой поливинилацетата или стиролбутадиона. Обрабатываемая поверхность предварительно тщательно подготавливается: поврежденный слой бетона удаляется, зачищенная поверхность продувается сжатым воздухом или подвергается пескоструйной обработке, промывается водой под давлением и затем уже пропитывается эпоксидной смолой. В случае применения цементного покрытия зачищенная поверхность сначала покрывается ацетатной или стиролбутадиновой замазкой, а затем на еще клейкую поверхность накладывается цементный раствор с упомянутыми выше добавками. Такой способ лечения бетона применяют во Франции уже в течение многих лет и получают хорошие результаты.

Наилучшими материалами для обработки поврежденных швов или трещин, образовавшихся в бетоне, служат: полисульфид этилена или полиуретановая смола. Шов или трещина сначала разрабатывается до 2-4 см в ширину и 1-2 см в глубину, прочищается пескоструйным способом, промывается водой и пропитывается эпоксидным раствором; на дно шва укладывается клейкая пенная или бумажная масса и затем он заполняется названной выше искусственной смолой.

В 1969 г. поврежденные поверхности плотины Ла Жирот были покрыты двумя слоями эпоксидной смолы, поверх которых уложили в четыре слоя нипалон. На двух арках плотины нипалон местами износился и под ним обнажилось эпоксидное покрытие, на других арках в течение более 12 лет никаких повреждений нипалона не было обнаружено. С 1970 г. стали широко применять двухкомпонентный полиуретан, накладываемый на ремонтируемую поверхность бетона в несколько слоев с помощью щетки, валика или разбрызгивателя; для лучшего проникновения в бетон в нижний слой покрытия добавляют от 5 до 10 % растворителя. Расход смолы составляет, обычно, от 1,2 до 2,0 кг/м<sup>2</sup>.

О состоянии скальных оснований плотин судят, обычно, по результатам натурных наблюдений, главным образом, за противодавлением и фильтрационным расходом. В случае если обнаруживаются аномальные явления принимают меры к их устранению. Такие мероприятия сводятся, большей частью, к усилению или ремонту противофильтрационных завес или дренажных устройств. Арочно-гравитационная плотина Сент-Этьен-Канталь высотой 70 м, длиной 270 м, шириной понизу 35 м и поверху 5,5 м построена в 1939-1945 гг. на территории Центрального Французского Массива. Начиная с 1970 г. в основании центральных секций плотины существенно возросли фильтрационные расходы и противодавление которые к 1981 г. достигли: расход 300 л/мин, а противодавление

0,75 Н. В связи с этим было решено усилить противофильтрационные мероприятия в верхней части основания плотины. В наиболее холодное время года, в начале 1982 г., при высоком стоянии горизонта ВБ, т.е. в период предполагаемого наибольшего раскрытия трещин в основании напорной грани плотины, в основании на глубину до 5 м была произведена инъекция раствора, состоящего из акриловой смолы с добавкой двух- и трехнатриевого фосфата и виниловых сополимеров. Нагнетание велось под давлением от 6 до 14 кг/см<sup>2</sup> в скважины, пройденные с шагом 1,5 м из нижней галереи в теле плотины в 4 м от ее напорной грани. Предварительно существующие дренажные скважины под центральными секциями были затампонированы, а по окончании инъекции, которая продолжалась 3,5 мес. пробурили новые дренажные скважины. Это мероприятие оказалось очень эффективным: показания пьезометров снизились в 2–3 раза, а дебиты – до 3 л/мин.

В горных районах флютбеты гидротехнических сооружений испытывают разрушительное действие водных потоков, текущих с большими скоростями и несущих большое количество твердых наносов. Для защиты бетона от абразии применялись покрытия из дерева, гранита или металла. В 1982 г. для защиты флютбета паводкового водосброса реконструируемого гидроузла Сент-Жилерм были применены синтетические смолы. Водосброс, рассчитанный на пропуск до 676 м<sup>3</sup>/с, имеет три пролета шириной 8 м. Каждый пролет оборудован сегментным затвором высотой 7 м. Скорость воды на водосбросе может достигать 10–11 м/с. Наиболее нагруженная часть флютбета защищена гранитными плитами, а остальная часть (900 м<sup>2</sup>) покрыта слоем полиуретана толщиной 2 см, уложенного по бетонной подготовке, на которую предварительно наносится слой эпоксидной смолы. Ил.2.

Р.Р.Тиздель

УДК 666.972.16

### 83. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРЕМНИЕВОЙ ДОБАВКИ (МИКРОСИЛИКА) В БЕТОНЕ.

Parker D.C. Microsilica concrete, Part 1: The material. - Concrete, 1985, 19, № 10, 21, 22 (англ.);

Parker D.C. Microsilica concrete. Part 2: In use. - Concrete, 1986, 20, №3, 19-21 (англ.);

Boerseth I. Use of silica in the Forrevass Dam. - 15 th International Congress on Large Dams, Lausanne, 24-26 June, 1985, Transactions, vol. 2, Quest. 57", Paris, s.a., R.30, 519-527 (англ.)

В последние годы за рубежом рассматривается возможность применения в цементной промышленности и строительной индустрии энерго-

сберегающих технологий. Все больший интерес проявляется к использованию в качестве эффективных пуццолановых добавок при производстве цемента и приготовлении бетонной смеси таких продуктов отхода, как зола-унос, шлаки, а также различных природных материалов. Сравнительно недавно была выявлена и в ряде стран уже успешно применяется для замены части цемента в бетоне уникальная по своим свойствам кремневая пуццолановая добавка – кремниевая копоть или микросиликат, как принято называть конденсированную кремниевую копоть.

Кремниевая копоть является побочным продуктом – дымовым газом из электропечей при производстве ферросилиция или силиконового металла; этот газ SiO окисляется в воздухе до SiO<sub>2</sub>, содержит очень мелкие сферической формы частицы двуокиси кремния и улавливается с помощью фильтров. Обычно дымовые газы электропечей содержат более 90 % двуокиси кремния, преимущественно аморфного; кроме двуокиси кремния в них содержатся также уголь, сера и окислы алюминия, железа, кальция, магния, натрия и калия. Потери при прокаливании микросилики составляют от 0,7 до 2,8 %. Химический состав дымовых газов изменяется в соответствии с типом сплава или металла, которые производят в электропечах; например, дымовой газ из печи, где готовят ферросилиций, обычно содержит больше окислов железа и магния, чем газ из печи, выпускающей силикон.

Дымовая кремниевая копоть состоит из очень мелких стекловидных частиц, площадь удельной поверхности таких частиц порядка  $20 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что в два раза больше, чем у частиц табачного дыма. Для сравнения удельная поверхность частиц цемента составляет  $0,3\text{-}0,4 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а золы-уноса –  $0,4\text{-}0,7 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Большинство частиц кремниевой копоти меньше 1 мкм. Высокая способность к реакции с цементом объясняется, главным образом, значительной удельной поверхностью частиц, а также большим содержанием аморфной двуокиси кремния.

Точные данные о получении дымовой кремниевой копоти в различных странах отсутствуют, однако согласно некоторым статистическим данным общее производство ее в мире еще в 1982 г. достигало 1,1 млн.т. Одним из наиболее крупных производителей кремниевой копоти является Норвегия; к концу 1982 г. она производила ежегодно около 150 тыс.т микросилики и предполагалось, что через несколько лет этот объем должен увеличиться в два раза. В Канаде в 1981 г. было получено около 22 тыс. т кремниевой копоти, в США – около 300 тыс.т. Исследования эффективности использования микросилики в



бетоне в скандинавских странах и, в частности, в Норвегии и Дании, начали проводить с 1976 г. В это время пуццолановую добавку в небольших масштабах уже применяли при приготовлении бетона. Примерно с этого же времени расширяется применение кремниевой добавки в Северной Америке.

Исследования и уже достаточный опыт использования микросилики в разных условиях позволяют прийти к заключению, что ее можно эффективно применять, как в бетонах, так и в цементах, в качестве наполнителя, заменяя ею до 30 % цемента. Известно, что в раннем возрасте смешанные растворы содержащие до 30 % гидравлических шлаков или активных пуццоланов имеют более низкие механические прочности, чем бездобавочные растворы. Однако, введение в такие смешанные растворы всего лишь 5 % микросилики вместо такого же количества шлака или пуццолана может значительно повысить прочность; такое действие микросилики объясняется свойством этой тонкодисперсной добавки. При использовании в растворах пуццоланов с медленной реакцией (вулканические туфы, золы-уносы) механическая прочность в 28-дневном возрасте и макропористость растворов с добавкой микросилики улучшаются; при использовании в растворах инертных материалов (кристаллический шлак или кварцит) это улучшение еще более заметно. Это объясняется образованием плотного C-S-H геля, более прочной связи между цементной пастой и заполнителями и повышением механической прочности на 20 %.

Бетон, в котором часть портландцемента заменена золой-уносом, в раннем возрасте развивает прочностные свойства сравнительно медленно, вследствие того, что в этот период гидратации зола-унос действует как относительно инертный компонент, хотя в более позднем возрасте она способствует существенному росту прочности. Считается, что эта проблема для зольного бетона может быть решена, если в качестве добавки применить микросилику - супер тонкодисперсную добавку, очень быстро вступающую в реакцию с известью. Это подтверждается результатами исследования образцов зольного бетона, содержащего 30 % золы-уноса, при приготовлении которых вводилось небольшое количество микросилики. Ее содержание в бетоне изменяли от 0 до 20 % от общей массы вяжущего (цемент+зола-унос); водовяжущее отношение принималось равным в пределах 0,4-0,8. Исследования, в процессе которых было испытано 440 образцов бетона, показали, что введение микросилики повышает прочности при сжатии во всех возрастах, по сравнению с прочностью контрольных образцов зольного бе-

тона (70 % портландцемента + 30 % золы-уноса). В 7-дневном возрасте потери прочности при сжатии, вследствие частичной замены цемента золой-уносом, были предотвращены введением в смесь 10 % микросилики, когда водовяжущее отношение изменялось в пределах от 0,40 до 0,60; при более высоком водовяжущем отношении требовалось введение в смесь до 15-20 % микросилики. В 28-дневном возрасте, независимо от величины водовяжущего отношения, снижение прочности бетонов при введении менее 5 % микросилики не наблюдалось. В более позднем возрасте зольного бетона, когда зола-унос начинает проявлять свою пуццоланическую активность развитие прочностных свойств бетона происходит нормально.

Микросилика является очень эффективным пуццолоном и, подобно другим пуццолоновым материалам, ее применение особенно проявляется в бетонах, для которых принималось высокое водовяжущее отношение. Исследования, которые были выполнены в Норвегии и Канаде, свидетельствуют о том, что в бетонах с водовяжущим отношением около 0,55 и выше коэффициент эффективности применения микросилики в части повышения прочности при сжатии равен 3-4. Это означает, что при использовании ее в пределах до 10 % от массы цемента микросилики в бетоне может заменить 3-4 кг цемента и обеспечить одинаковую прочность при сжатии по сравнению с бетонами приготовленными на одном портландцементе.

Применение в бетоне микросилики сопровождается повышением водопотребности, что обычно компенсируется введением в смеси добавок, снижающих водопотребность, которые в этом случае оказывают более эффективное воздействие, чем при использовании в обычном бетоне.

Следует отметить, что применение микросилики в сочетании с суперпластификаторами позволяет получать в специальных условиях бетоны с ультравысокой прочностью при сжатии (табл.1).

Таблица 1

Материал	Использованные заполнители		Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочности при сжатии, МПа
	Порода	Размер, мм		
г	2	3	4	5
Бетон	Гранит	16	2500	127
Бетон	Диабаз	16	2660	120

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Бетон	Прокаленный боксит	10	2880	220
Раствор	Прокаленный боксит	4	2860	272

Примечание. При испытании в 4-дневном возрасте образцов-цилиндров размером 10x20 см, выдержанных во влажной среде при температурах 15-27 °С.

Установлено, что благодаря введению 20 % (от массы цемента) микросилики в бетон, содержание цемента в котором составляет всего 100 кг/м<sup>3</sup>, обеспечивается такая же водонепроницаемость, как и у бетона, содержащего 250 кг/м<sup>3</sup> цемента. Замена микросиликой 15 % цемента позволяет получить бетон с такой же сопротивляемостью воздействию агрессивной среды, какая свойственна бетонам на сульфатостойких портландцементях. Микросилика связывает щелочи, содержащиеся в цементе и уменьшает вредные последствия реакции между щелочами в цементах и свободным кремнеземом в заполнителях.

Результаты экспериментов по определению долговечности бетонов при воздействии среды с переменными циклами замораживания и оттаивания показывают, что высушивание и увлажнение бетона перед замораживанием и оттаиванием имеют существенное значение для обычного бездобавочного бетона, тогда как при бетоне с микросиликой такие условия практически не оказывают влияния на продолжительность работы бетона.

Для определения влияния микросилики на тепловыделение в процессе гидратации и общее количество образующегося экзотермического тепла, были проведены изотермические калориметрические испытания; 10-20 % портландцемента в растворах заменяли микросиликой, водовязущее отношение составляло 0,5. В одной из серий испытаний для уменьшения водопотребности использовали суперпластификатор - лигносульфанат. За исключением цементов с 10 % микросилики и лигносульфанатом все смешанные цементы показали по сравнению с нормальным портландцементом уменьшение общего количества экзотермического тепла. Замена портландцемента микросиликой способствует ускорению процесса гидратации цемента. В присутствии суперпластифицирующей добавки зола-унос, смешанная с цементом, замедляет

процесс гидратации, тогда как смешанные с микросиликой цементные пасты значительно сокращают гидратационный период по сравнению с обычными бездобавочными цементами.

Это свойство микросилики использовано в разработанном в Канаде низкотермичном цементе, в состав которого включают 50 % канадского цемента CSA тип 20 (соответствует цементу с умеренной удельной теплотой гидратации), 35 % шлака и 15 % микросилики. Теплота гидратации этого смешанного цемента при 20 °C на 30 % ниже, чем у цемента типа 20, при этом прочностные свойства в 28-дневном возрасте остаются такими же, как у стандартных цементов. Максимальная температура в неизолированном массиве бетона, имеющем в 23-дневном возрасте прочность при сжатии 30 МПа, при замене цемента типа 20 на смешанную с микросиликой композицию уменьшилась с 44,4 до 34,4 °C. Исследования микроструктуры показало, что при использовании такого смешанного цемента, образующийся в процессе гидратации C-S-H гель оказывается очень плотным и подобен аморфному веществу.

Способность бетона защищать заделанную в нем стальную арматуру против коррозии объясняется, главным образом, высокой щелочностью воды в порах бетона, которая обеспечивает нейтральные, антикоррозионные условия для арматуры. Если эти нейтральные условия оказываются нарушенными, вследствие карбонизации и поступления хлоридных ионов, коррозия будет в основном регламентироваться электрической сопротивляемостью бетона и скоростью поступления кислорода через бетон к арматуре. Изучение влияния микросилики на скорость карбонизации, электрическую сопротивляемость и скорость продвижения кислорода через водонасыщенный бетон к стальной арматуре дало возможность установить, что скорость карбонизации при наличии микросилики в бетоне уменьшается. Наибольшее влияние микросилика оказывает на электрическую сопротивляемость, которая повышается до 190-1600 % для бетонов, в которых содержание цемента составляет соответственно 100-400 кг/м<sup>3</sup>.

Исследования, которые были проведены в 1982 г. в Канадском центре по исследованиям технологии в области минералов и энергетики (CANMET) выявили, что при использовании от 20 до 30 % микросилики в бетонах с высоким содержанием вяжущего возникают некоторые трудности в связи с вовлечением в бетонную смесь 5-7 % воздуха. При меньшей замене цемента микросиликой этих проблем не возникает, хотя количество воздухововлекающей добавки повышается.

Высокие качества микросилики, как пуццолановой добавки, обеспечивающей ускоренный набор прочности, способствовали широкому применению ее в бетонах, предназначенных для самых различных целей. В частности в Норвегии большое распространение получил набрызгбетон с волокнистыми металлическими наполнителями, который используется в туннельных обделках, при стабилизации скальных массивов, ремонте бетонных сооружений, защите бетонных поверхностей и т.д.

В США сравнительно недавно набрызгбетон со стальным наполнителем и с добавкой был успешно применен для закрепления скальной породы в двух порталах подземной выработки с размерами 22x28 м. Набрызгбетон наносился на скальную поверхность, которую не закрывали металлической сеткой, так как в этом не было необходимости, поскольку прочность бетона с микросиликой превосходила прочность обычного армированного набрызгбетона.

При выполнении этих работ был использован мокрый способ приготовления набрызгбетона, насосом непрерывно подавали полностью готовую бетонную смесь и только добавку, ускоряющую твердение набрызгбетона, вводили непосредственно в сопло. Использование микросилики снизило потребность в ускорителе твердения, что способствовало повышению качества набрызгбетона. Включение микросилики содействовало также улучшению связи стального волокна с покрываемой поверхностью скаты. Мокрый процесс нанесения на поверхность позволил на 5-10 %, в зависимости от гранулометрического состава заполнителей, уменьшить отскок материала; характерные для набрызгбетона с 10 % содержанием микросилики прочности при сжатии изменились в зависимости от объема волокнистых наполнителей; при объеме стальных волокнистых наполнителей 1 %, содержании микросилики 10 %, прочность набрызгбетона при расходе цемента 450 кг/м<sup>3</sup> составляла 70 МПа, а прочность при растяжении превышала 5 МПа.

Проницаемость такого набрызгбетона, содержащего микросилику, оказалась значительно меньшей, чем у набрызгбетона без микросилики. Данные испытаний дают основание для заключения, что набрызгбетон с микросиликой, имеющей прочность при сжатии 35 МПа и выше, надлежащим образом нанесенный на защищаемую поверхность и выдержанный, может рассматриваться практически, как водонепроницаемый. Включение микросилики в сочетании с воздухововлечением, обеспечивающим хорошие характеристики микроструктуры, гарантирует высокую морозостойкость набрызгбетона.

Микросилику успешно применяют на строительстве арочной плотины Форревас (Норвегия), которая сооружается в юго-западной части страны в соответствии со схемой энергетического использования водных ресурсов бассейна рек Улла-Форре, предусматривающей сооружение трех ГЭС общей мощностью 2000 МВт со средней годовой выработкой электроэнергии 4,4 млрд.кВт·ч ( $h_{\text{макс}} = 95$  м,  $l_{\text{греб}} = 180$  м и  $b_{\text{осн}} = 15$  м). Строительная площадка находится на отметке 1050 м над уровнем моря, среднегодовая температура воздуха  $+0,5^{\circ}$  С, среднегодовое количество осадков 2500 мм. Строительный сезон начинается в апреле-мае и заканчивается в ноябре. Бетонные работы можно вести в течение 5 мес. с июля по октябрь.

Б качестве заполнителей бетона плотины Форревас используется щебень и искусственный песок, который получают в результате измельчения, в основном, гнейсовой скальной породы. Классификация песка осуществляется в гидравлическом классификаторе Реакс, который обеспечивает удаление из мелкого заполнителя частиц размером меньше 0,04 мм. Гранулометрический состав заполнителей определен исходя из расчета достижения плотного бетона с минимальным содержанием пор. Максимальный размер заполнителей для бетона в наружной зоне плотины толщиной 1,5 м – 60 мм; во внутреннюю зону плотины укладывают бетон с заполнителями максимальной крупностью 120 мм.

Важущее для бетона представляет собой смесь из 75 % портландцементного клинкера и 25 % золы-уноса, которую импортируют из Дании. Согласно норвежскому стандарту обычный портландцемент содержит добавку 10% золы-уноса, но для плотины Форревас изготавливается специальный цемент с повышенным содержанием золы-уноса и более тонким помолом частиц цемента. В соответствие с рекомендациями норвежского стандарта количество кремниевой добавки в бетонах ограничивают 10 % от содержания клинкера портландцемента, поэтому для бетона плотины Форревас соотношение между клинкером портландцемента, золой-уносом и микросиликой было принято равным 70:23:7.

Микросилика поставляется норвежской фирмой, которая получает ее на горнорудном предприятии, производящем ферросиликоновый сплав. Стоимость кремниевой добавки примерно такая же, что и стоимость зольного цемента. В качестве добавки, снижающей водопотребность бетонной смеси, применяют лигносульфонат. Во всех бетонных смесях для вовлечения в смеси воздуха используют добавку на основе смолы. Наличие в бетонных смесях золы-уноса и микросилики обуславливает необходимость для обеспечения установленного содержания воздуха

(1,5 % - для бетона внутренней зоны и 4 % - для бетона наружной зоны) использование повышенных доз воздухововлекающей добавки.

Содержание вяжущего (цемент + зола-унос + микрокремнезем) в бетонной смеси, укладываемой во внутреннюю зону плотины, 160 кг/м<sup>3</sup> и в смеси для наружных зон - 215 кг/м<sup>3</sup>. Расход добавки, снижающей водопотребность - 3 л/м<sup>3</sup>; жесткость бетонной смеси (по консистометру Вебе) 10—15 с; водопотребность смеси для внутренней зоны около 100 кг/м<sup>3</sup> и смеси для наружной зоны - 105 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует водовяжущему отношению 0,63 и 0,40. Учитывая суровые климатические условия района строительства и возможность возникновения значительных температурных перепадов, которые могут привести к образованию трещин в бетоне, принимаются меры для искусственного регулирования температурного режима бетона. При использовании цемента с умеренной удельной теплотой гидратации повышение температуры вследствие экзотермического разогрева составляет 20° С, поэтому бетонную смесь охлаждают заменой части воды затверения дробленным льдом, который вводят в бетоносмеситель перед смешиванием составляющих; начальная температура бетонной смеси обычно поддерживается ниже 10° С.

Секции плотины Форревас возводятся блоками высотой 3,0 м, уплотняя слои бетона толщиной 0,5 м пакетами из 6-глубинных вибраторов с наконечниками диаметром 150 мм, смонтированными на навесных приспособлениях к гусеничным тракторам.

Опыт бетонных работ по плотине свидетельствует, что бетон с микрокремнеземом отличается малым водоотделением и меньшей раскраиваемостью, высокой прочностью при сжатии в раннем возрасте (табл.2), что позволяет надежно закреплять заделанными в бетон анкерами консольную опалубку и начинать бетонирование следующего по высоте блока секции через 3 дня.

Таблица 2

Возраст бетона, дн.	Прочность бетона плотины Форревас при сжатии, МПа	
	Во внутренней зоне	В наружной зоне
7	16	24
28	30	36
91	40	96

Средняя прочность бетонных образцов при раскалывании в возрасте 28 дней составляет 3,5 МПа; модуль упругости бетона 3000 МПа.

Прочность связи бетона в плоскости шва такая же, как и в основной массе блока.

Опыт использования микросилики в бетоне арочной плотины Форреас полностью подтвердил целесообразность применения такой добавки для улучшения свойств бетона с экономической и производственной точек зрения.

Следует указать, что в связи с очень малой объемной массой микросилики при ее обработке и транспортировании возникают серьезные трудности. В Норвегии решение этой проблемы найдено в результате транспортирования и использования микросилики в водном растворе. В Канаде запатентован способ сухого уплотнения микросилики, облегчающего ее транспортирование; это уплотнение может быть выполнено на том же предприятии, где микросилика производится. В процессе уплотнения насыпная масса микросилики увеличивается в несколько раз, частицы ее становятся крупнее частиц цемента и золы-уноса, однако, ущерба свойствам микросилики не наносится. На некоторых установках торгового бетона в Канаде и США все же используют микросилику без уплотнения. Имеются предположения относительно токсичности микросилики, но исследования, выполненные в Норвегии, опровергают мнение о вредном влиянии микросилики на живые организмы, поэтому считают, что необходимы более детальное изучение этого вопроса.

Стоимость микросилики в настоящее время за рубежом колеблется в пределах от 50 до 200 % от стоимости цемента. Это объясняется тем, что если несколько лет тому назад микросилика являлась просто отходом, то теперь ее ценность, как превосходной пуццолановой добавки, хорошо выяснена, и поэтому логическим выглядит повышение ее стоимости.

Дальнейшее более широкое применение микросилики, по-видимому, будет зависеть от возможностей получения этой добавки по стоимости, которой можно обосновать экономическую целесообразность ее применения. Ил.17, табл.8. Библ. 40.

А.Б.Фролов

УДК 621.311.21.035.4(481)

**84. ПРОГРЕССИВНЫЙ НОРВЕЖСКИЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ГЭС.  
Wallis S. Norway demonstrates lead in hydroelectric scheme  
design. - Tunnels and Tunnelling, 1985, 17, № 12, 37-39 (англ.)**

В Норвегии, благодаря природным условиям, характеризующимся преимущественно высокогорным рельефом, прорезаемым глубокими



ущельями с водными потоками, и, как правило, благоприятными инженерно-геологическими условиями, использования водной энергии осуществляется в основном на ГЭС с подземными сооружениями, состав и конструкции которых совершенствуются по мере развития исследований и опыта гидроэнергетического строительства.

К настоящему времени в стране успешно построены и эксплуатируются сотни ГЭС с туннельной деривацией и около 50 полностью подземных ГЭС, расположенных в условиях крепких малонарушенных скальных пород.

В дальнейшем, в результате проводящихся исследований, рекомендуются экономичные решения подземных ГЭС, основанные на широком использовании упругих свойств скальных пород с применением необлицованных подземных сооружений и соответствующим сокращением стоимости и сроков строительства. Существенная экономия достигается применением длинных наклонных высоконапорных туннелей, непосредственно примыкающих к подземному машинному залу пневматических уравнильных шахт, коротких отводящих туннелей (рис.1).

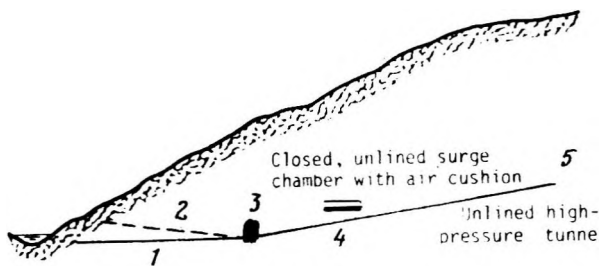


Рис.1. Усовершенствованная схема подземной ГЭС в благоприятных инженерно-геологических условиях:

1 - отводящий туннель ГЭС; 2 - подходный туннель к подземному машинному залу; 3 - подземный машинный зал; 4 - замкнутая необлицованная уравнильная камера с амортизирующей подушкой; 5 - необлицованный наклонный высоконапорный подводящий туннель, пройденный от головного узла непосредственно к машинному залу ГЭС

В ряде случаев представляется целесообразным перемещать шахту уравнильного резервуара на участок, расположенный ниже подземного машинного зала, совмещая его шахту с транспортным туннелем с целью существенного сокращения подземных работ (рис.2), достигаемого также при использовании экономичной конструкции уравнильной шахты пневматического типа.

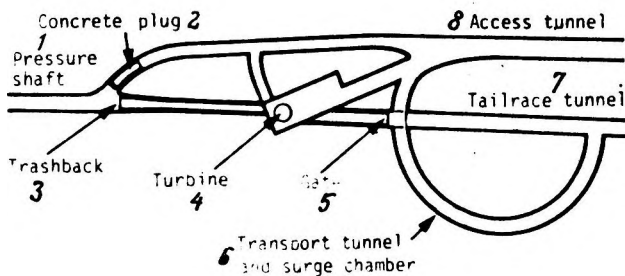


Рис.2. План подземной ГЭС с размещением уравнильной шахты ниже подземного машинного зала на ответвлении от отводящего туннеля:

1 - напорная шахта; 2 - бетонная пробка, устанавливаемая по окончании строительства; 3 - решетка для защиты от наносов; 4 - подземный машинный зал; 5 - затвор; 6 - транспортный туннель и уравнильная камера; 7 - отводящий туннель; 8 - подходной туннель к машинному залу ГЭС

С развитием энергетического строительства получают широкое развитие инженерно-геологические исследования, способствующие размещению в наиболее благоприятных условиях подземных сооружений, в особенности, подземных машинных залов. При выборе трасс длинных подводящих туннелей признано необязательным следовать прямому направлению, так как решающим фактором является размещение трассы в благоприятных инженерно-геологических условиях независимо от ее очертания в плане, а также в случаях необходимости ее сопряжения с другими водными источниками данного района.

Характерным примером осуществления усовершенствований гидроэнергетической схемы в условиях Норвегии является начатая строительством в 1984 г. подземная ГЭС Эйкелендсосен мощностью 35 МВт в одном агрегате с радиально-осевой турбиной.

В состав основных сооружений ГЭС входят: водозабор из водоема Ботнаватнет оборудованной затвором шахтой глубиной 65 м и сечением 12 м<sup>2</sup>; подводящий наклонный туннель длиной 3,6 км сечением 20 м<sup>2</sup>; расположенный по трассе подводящего туннеля шахтный водозабор для дополнительного питания деривации ГЭС расходом 0,5 м<sup>3</sup>, отбираемым из озера Стемметейн посредством наклонной шахты диаметром 2,4 м и длиной 520 м; подземный машинный зал длиной 35 м, шириной 11 м и высотой 25 м с подводящим, наклонным под углом 45°, шахтным трубопроводом  $d = 1,4$  м со стальной облицовкой толщиной 14 мм; кабельный туннель длиной 750 м и сечением 16 м<sup>2</sup>; отводящий туннель длиной 1,3 км и сечением 20 м<sup>2</sup>; строительный туннель сечением 20 м<sup>2</sup> и длиной 1,4 км для подхода к машинному залу.

Одним из основных вопросов строительства был выбор уклона и размеров поперечного сечения подводящего туннеля при разработке его сверху вниз и отгрузке породы в обратном направлении. Исходя из предусмотренной схемы отгрузки взорванной породы в самосвалах на резиновом ходу, максимальный уклон туннеля принят 1 : 8 при минимальной площади сечения 20 м<sup>2</sup>. Указанные параметры туннеля отвечают также энерго-экономическим характеристикам ГЭС.

При принятых размерах поперечного сечения подводящего туннеля скорость воды в процессе эксплуатации ГЭС составит 0,4 м/с, в связи с чем отпала надобность в уравнильной шахте.

Кубатура подземного машинного зала была сокращена до минимальных размеров, которые по новым норвежским нормам составляют порядка 200 м<sup>3</sup> на 1 МВт для низконапорных ГЭС.

Благодаря размещению ГЭС, чаще всего в гранито-гнейсах хорошего качества, подземные сооружения оставлены необлицованными, за исключением сводчатого потолка машинного зала, пройденного с креплением анкерными болтами и набрызгбетоном и облицованного стальной оболочкой трубопровода к машинному залу.

С учетом прочности скальных пород ~30 МПа разработка подземных сооружений ГЭС ведется буровзрывным способом.

Проходка подводящего туннеля выполняется в гору по направлению от машинного зала к водозабору с применением оборудованной гидравлическими перфораторами марки Атлас Копко 1038, передвижной рамы, обуливающей шпур сечением 55x45 мм и длиной ~5 м. В качестве ВВ применяют состав, содержащий по объему 70 % анолита, 25 % динамита и 5 % коронита. Погрузка взорванной породы производится погрузчиком марки 980 С Катерпиллер в автосамосвалы емкостью 12 м<sup>3</sup>. Разработка туннеля ведется с ежедневным выполнением 4 буровзрывных циклов в две смены продолжительностью по 7,5 ч. Проходческие работы по туннелю, начатые в марте 1984 г., намечается завершить в марте 1986 г.

Разработка машинного зала велась с применением бурового агрегата Стремнес в верхней сводчатой части и смонтированной на гусеничном ходу буровой рамы Атлас Копко 601 при проходке уступов.

Шахтные работы выполнены с применением агрегатов Алимек при проходке водозаборной шахты в голове подводящего туннеля и 60-Н Индау при разработке наклонной шахты для дополнительного питания деривации ГЭС и облицованной стальной оболочкой подводящей наклонной шахты к подземному машинному залу с достигнутой при этом скоростью проходки 1 м/ч.

Строительство ГЭС в целом намечалось закончить и подготовить к укомплектованию постоянным оборудованием в мае 1986 г.

Экономичное решение ГЭС в горных районах часто бывает связано с высокой стоимостью подземных сооружений, которая по возможности должна быть снижена применением конструктивных и производственных мероприятий. Ил.4.

А.М.Мазур

УДК 627.842:622.233.6(436)

**85. СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТУННЕЛЬНЫХ БУРИЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ПРОХОДКЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ (АВСТРИЯ).** Martin D. 31 km and still going strong. - Tunnels and Tunnelling, 1986, 18, № 1, 19-21 (англ.)

В Австрии, Норвегии и других странах с горным рельефом для проходки гидротехнических туннелей значительной протяженности в условиях крепких малонарушенных скальных пород все большее применение находят туннельные бурильные машины (ТБМ), их применение способствует существенному повышению скоростей проходки, сохранности естественных ненарушенных инженерно-геологических условий и безопасности горнопроходческих работ по сравнению с буровзрывными способами разработки пород.

Одной из наиболее широко распространенных ТБМ является машина марки Ярва МК 12-035 со следующими характеристиками: диаметр рабочего органа 3,5 м, суммарная мощность моторной группы 596,4 кВт (4x149,1 кВт), частота вращения 10,6 об/мин, давление на забой 635 т, ход поршня 1,2 м, максимальное гидравлическое давление в напорной системе 172 бар, число резцов 26 диаметром 39,4 см, общая длина машины 11,6 м, масса машины 150 т.

В период 1981-1983 гг. в Австрии одной ТБМ указанной марки были пройдены 4 туннеля суммарной длиной 30,9 км, в том числе входящий в состав ГЭС в Австрийских Альпах туннель Зелла длиной 6,7 км, гидротехнические туннели длиной 4 км в составе сооружений ГЭС Ламниц, туннель длиной 7 км в составе сооружений ГЭС Драсниц и пилот-туннель длиной 13,2 км к железнодорожному туннелю Понте-Гардена.

Инженерно-геологические условия указанных туннелей характеризуются в основном крепкими малонарушенными скальными породами (табл.1), способствовавшими на ненарушенных участках достижению значительных темпов проходки, приведенных в табл.2.

Таблица 1

Туннель	Характер скалы	Длина,%	Сопrotивляемость сжатию, МПа
Велла	Гнейс	63	160-220
	Слюдистый сланец	30	60-140
	Амфиболит	2	180-210
	Пегматитовый аплит	5	180-210
Драсниц	Гнейс	56	160-220
	Слюдистый сланец	16	60-140
	Амфиболит	11	180-260
	Кварцит	6	Неизвестно
	Филлит и гранодиорит	5	210-260
	Другие породы	6	
Ламниц	Слюдистый сланец	55	60-150
	Амфиболит	25	180-260
	Гранодиорит	3	210-260
	Другие породы	17	

Таблица 2

Туннель	Скорости проходки			
	м/ч	Средняя, м/сут.	Наилучшая, м/сут.	Наилучшая, м/мес.
Велла	3,92	35,0	63	1261
Драсниц	3,31	37,7	72	1366
Ламниц	3,20	34,5	64	1022
Понте-Гардена	–	–	78	1525

При встрече отдельных коротких участков трассы туннелей в неблагоприятных инженерно-геологических или гидрогеологических условиях проходка выполнялась с применением ТБМ в сочетании с креплением породы набрызгбетоном и цементацией.

При встрече слабых пород проходка туннеля Драсниц велась участками длиной 1,2 м с последовательным выполнением работ по проходке посредством ТБМ и по креплению породы набрызгбетоном.

При проходке туннеля Ламниц ТБМ неожиданно оказалась в расщелине, заполненной напорной водой, глиной и песком, смесь которых

хлынула в пройденный участок туннеля и сдвинула агрегат в обратном направлении на 1,5 м. Нормальные туннельные работы были остановлены на 3 недели, в течение которых ТБМ была отодвинута назад на 20 м с креплением забоя набрызгбетоном и проведением комплекса работ по консолидации слабых пород на участке расщелины, после чего были возобновлены работы по проходке туннеля с применением ТБМ.

Как показал практический опыт, достижению высоких темпов горно-проходческих работ с применением ТБМ, способствовали, в основном, следующие организационно-технические мероприятия:

постоянное наблюдение за состоянием ТБМ во всех ее деталях в процессе разработки породы и во время перерывов в работе:

детальный осмотр машины и смена резцов в течение первых 2 ч каждой смены до начала проходки;

тщательная смазка всех деталей машины до начала работы, в процессе проходки и после ее завершения;

по возможности концентрированная работа машины в течение полных суток и 7 дней в неделю таким образом, чтобы достигалась почти непрерывная работа машины;

выполнение работ производственным персоналом, обладающим опытом в эксплуатации ТБМ или машин аналогичного типа.

При благоприятных организационно-технических условиях срок непрерывной работы ТБМ Ярва МК 12-035 без капитального ремонта составляет 35-40 мес. Ил.2.

А.М.Мазур

## СОДЕРЖАНИЕ

### ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- 73. Оценка эффективности малых ГЭС (ФРГ)..... 1
- 74. Капсульные агрегаты с вынесенным генератором для малых ГЭС ..... 3
- 75. Управление ГЭС Ла Фортуна (Панама)..... 9
- 76. Поплавковый водоприемник для высокогорных водохранилищ..... 13

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГИДРОСООРУЖЕНИЯ И ГИДРОУЗЛЫ

- 77. Ремонт и восстановление плотин с целью обеспечения их безопасности..... 17
- 78. Устройство бетонных понуров для борьбы с фильтрацией, связанной с трещинообразованием в основании напорных граней бетонных плотин (Франция)..... 23
- 79. Исследование поведения арочной плотины Ридраколи (Италия)..... 25
- 80. Реконструкция и исследования плотины Корбара (Италия)..... 31

### СТРОИТЕЛЬСТВО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГИДРОСООРУЖЕНИЙ И ГИДРОУЗЛОВ

- 81. Производство бетонных работ на строительстве арочной плотины Циллергрюндль (Австрия)..... 36
- 82. Применение синтетических смол при ремонте бетонных плотин (Франция)..... 38
- 83. Использование кремниевой добавки (микросилика) в бетоне..... 40
- 84. Прогрессивный норвежский опыт строительства подземных ГЭС..... 49
- 85. Современный опыт применения туннельных бурильных машин при проходке гидротехнических туннелей (Австрия)..... 53

Экспресс-информация серии  
ГИДРОЭНЕРГЕТИКА ЗА РУБЕЖОМ  
Выпуск 9

Ответственный за выпуск	– Н.Г.Крамаренко
Технические редакторы	– И.Н.Махова, Л. В. Наумова
Корректор	– Л.А.Журавлёва

---

Подписано в печать 07.08.86

Формат 60x84<sup>1</sup>/16

Печать офсетная

Усл.печ.л. 3,60

Уч.-изд.л. 3,48

Тираж 500

Заказ 797

Цена 70 коп.

---

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

Типография Информэнерго, Москва, 1-й Переяславский пер., д.5



Цена 70 коп.

Индекс 58456

Энергетика и электрификация. Сер. Гидроэнергетика за рубежом. Экспресс-информ.,  
1986, вып. 9, стр. 1-56.