Открытое акционерное общество
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ имени Б.Е.ВЕДЕНЕЕВА»

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИАГНОСТИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ ТЕРМОФИЛЬТРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ГЭС И МАССИВА ВМЕЩАЮЩИХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

П91–2001
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2001

Открытое акционерное общество
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ имени Б.Е.ВЕДЕНЕЕВА»

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИАГНОСТИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ ТЕРМОФИЛЬТРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ГЭС И МАССИВА ВМЕЩАЮЩИХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

П91–2001
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2001

УДК 624.137.034.9+624.131.65:626/627

Рекомендации являются методическим пособием по организации и проведению диагностического контроля за термофильтрационным состоянием сооружений подземных ГЭС и вмещающих эти сооружения скальных грунтов.

Рекомендации могут рассматриваться как детализация методов оперативной оценки надежности и безопасности эксплуатации подземных ГЭС, которые регламентированы "Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации", включая выбор объектов и состава наблюдений, их организацию, использование контрольно-измерительной аппаратуры, а также анализ и оценку полученных данных.

Рекомендации адресованы техническому персоналу, осуществляющему надзор за состоянием гидротехнических сооружений подземных ГЭС.

Рекомендации составлены в ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева" доктором техн.наук. проф.Жиленковым В.Н. и кандидатами геол.-мин. наук Леоновым М.П. и Кривоноговой Н.Ф.

© ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2001

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Эксплуатация подземных сооружений гидроэлектростанций (машинных залов, транспортных и деривационных туннелей, камер затворов и т.п.), находящихся на большой глубине в толще водонасыщенных или мерзлых, в разной степени льдонасыщенных, скальных грунтов, характеризуется рядом специфических особенностей и, прежде всего, необходимостью постоянного наблюдения за гидродинамическим воздействием потока подземных вод на сооружения и вмещающий их грунтовый массив, а также за изменением температурного режима контролируемой системы сооружение - массив. Поэтому натурные наблюдения за условиями формирования термофильтрационных полей вокруг подземных сооружений гидроэлектростанций следует рассматривать как одно из основных средств обеспечения безопасности их эксплуатации.

1.2. Настоящие Рекомендации являются методическим пособием по организации и проведению эксплуатационного контроля фильтрационно-суффозионных и термических характеристик состояния подземных сооружений ГЭС, располагаемых в горных выработках, и могут рассматриваться как дополнение к Рекомендациям П 10-83 [1].

Такой контроль должен осуществляться для последующей оперативной оценки надежности сооружений путем определения соответствия контролируемых характеристик состояния отдельных элементов сооружения и вмещающего массива их проектным значениям, при которых по предварительным или скорректированным расчетам должны обеспечиваться надежность сооружения и безопасные условия его эксплуатации.

Внесены ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева»	Утверждены РАО «ЕЭС России» письмо № 02-1-03-4/620 от 03.07.98	Срок введения в действие IV кв. 2001 г.

1.3. Техническая оснащенность контрольно-измерительной аппаратурой(КИА) подземных сооружений, по сравнению с наземными, должна быть существенно выше, поскольку замена поврежденной аппаратуры или размещение дополнительной связаны с большими трудностями или вообще невозможны в условиях подземного пространства. Кроме того, надо иметь в виду возможность значительных и часто неожиданных отклонений от прогнозируемого поведения горного массива (в особенности, при сейсмических воздействиях), а также изменение его термонапряженного состояния при оттаивании или замерзании. При ограниченности характеристик состояния системы конструкция - горный массив и данных об изменении этих характеристик невозможно разработать качественную расчетную модель системы и достоверно прогнозировать ее поведение на длительный период.

1.4. Натурные наблюдения за состоянием подземных сооружений, обработка и интерпретация информации в виде, согласованном с проектной организацией, а также первичный анализ собранной информации должны выполняться группой специально обученных инженерно-технических работников гидроцеха электростанции.

Регламент натурных наблюдений (по основным его позициям) следует привести в соответствие с обобщенными содержащимися в техническом паспорте объекта характеристиками сооружения, которые должны отражать гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические характеристики горного массива и конструктивные особенности находящегося в нем сооружения, все допущенные во время его строительства существенные отступления от проектных решений, характер и сроки профилактических и ремонтных работ и их результативность.

Отдельно в паспорте должны быть представлены предельно допустимые по условию обеспечения надежности сооружения значения контролируемых характеристик (например, величина гидростатического давления на обделку, дебит фильтрационных утечек, интенсивность выщелачивания бетона или вмещающей горной породы, максимальные или минимальные температуры, критические скорости промерзания - протаивания пород и т.п.).

2. КОНКРЕТНЫЕ ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО И ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА СКАЛЬНОГО МАССИВА И ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ

Основными задачами наблюдений за термическим и фильтрационным режимами скального массива, вмещающего подземное сооружение, являются:

определение силового воздействия подземных вод на сооружение в целом или его обделку, которая во многих случаях может работать под давлением воды внутри туннеля (шахты) и противодавлением снаружи. В случаях, когда эта разность давлений действует в направлении окружающего скального массива и является определяющей при расчетах обделки на прочность, важно в процессе натурных наблюдений установить наименьшее противодавление подземных вод на обделку;

определение эффективности работы разгрузочного дренажа, обеспечивающего отвод фильтрационного потока вдоль обделки (со стороны массива) и уменьшающего величину противодавления. При этом следует иметь в виду возможность частичной разгрузки фильтрационного потока через обделку, имеющую те или иные дефекты (трещины, неомоноличенные швы, отверстия для цементации и т.д.), а также возможность существования гидравлической связи исследуемого фильтрационного потока с источниками его питания;

регистрация изменения давления подземных вод при землетрясениях, осуществляемая с помощью малоинерционных преобразователей (датчиков) гидродинамического давления, размещаемых в скальном массиве;

уточнение общих условий формирования фильтрационного потока, "обтекающего" снаружи подземное сооружение, включая уточнение контуров питания и разгрузки потока; положение его депрессионной поверхности; распределение напора в области фильтрации, особенно в зонах вокруг сооружения; величину гашения напора на противофильтрационных преградах (цементационных завесах, диафрагмах) и дренажах;

определение притока воды в подземное сооружение в предусмотренных регламентом наблюдений местах (например, дебит дренажных вод) и в местах непредвиденных водопроявлений, причем соответствующие рабочие процедуры должны сопровождаться контролем за выносом минеральных частиц (свидетельствующим о наличии механической суффозии в массиве) и контролем химического состава профильтровавшейся воды;

определение термического состояния скального массива вокруг подземного сооружения и тенденций в изменении этого состояния (температурного режима), имея, прежде всего, в виду перемещение нулевой изотермы при протаивании или промерзании массива. В определенных условиях, когда фазовые переходы вода - лед происходят не при нулевой, а характерной для засоленных пород отрицательной температуре, особое внимание уделяется изменению положения изотермы этой температуры;

контроль трещинообразования в массиве и обделке сооружения.

На основе получения данных осуществляется оперативная разработка организационно-технических мероприятий по устранению или локализации неблагоприятных для состояния массива и сооружения фильтрационных и термических процессов.

3. РЕГЛАМЕНТ ПРОВЕДЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕРМИЧЕСКИМ И ФИЛЬТРАЦИОННЫМ РЕЖИМОМ МАССИВА И ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ

3.1. Состав и регламент проведения термофильтрационных наблюдений определяется проектной организацией в процессе проектирования конкретного подземного сооружения. В последующем, во время строительства и в начале эксплуатации, регламент наблюдений должен уточняться на основе выданных специализированной научно-исследовательской организацией рекомендаций, при составлении которых, как правило, учитываются более достоверные данные о температурном режиме, геофильтрационных свойствах массива пород и его поведении в процессе проходки горной выработки, а также по мере накопления первичной информации по КИА.

3.2. Каждый цикл наблюдений должен быть предельно сжатым по времени и планироваться таким образом, чтобы в результате получить фоновые и экстремальные значения контролируемых характеристик термофильтрационного состояния массива и сооружения.

Все первичные сведения о характеристиках следует документировать в журнале наблюдений. В частности, в документации водопроявлений должны быть отражены места выходов и расходы притекающих в выработку подземных вод.

Наблюдения за изменением температур грунтов рекомендуется проводить ежемесячно до стабилизации оттаявших зон в массиве, вмещаю-

щем подземные сооружения; за фильтрацией - визуально - не реже 1 раза в неделю, с измерением давлений воды в массиве - не реже 1 раза в месяц, с измерениями давлений и расходов и оценкой состояния сооружения - не реже 1 раза в три месяца.

Более подробные сведения о рекомендуемых составе и средствах фильтрационных наблюдений содержатся в РД 34.20.501-95 [2].

4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗМЕЩЕНИЯ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КИА В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ И ВМЕЩАЮЩИХ СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ

4.1. Оснащение контрольно-измерительной аппаратурой скального массива и находящегося в нем подземного сооружения должно определяться на завершающих стадиях проектирования, исходя из конкретных задач натурных наблюдений за фильтрационным, гидрохимическим и температурным режимами массива и с учетом инженерно-геологических условий в месте расположения сооружения.

В случае, если информация, получаемая в процессе таких наблюдений, оказывается недостаточной для достоверной оценки надежности эксплуатируемого сооружения, необходимо (по согласованию с проектной или научно-исследовательской организацией) комплекс установленной КИА дополнить соответствующими измерительными и регистрирующими устройствами, либо (с помощью исследовательской организации) изыскать возможность уточнения характеристик термофильтрационных полей методами их моделирования.

4.2. Основная часть КИА, предусмотренная программой натурных наблюдений, должна размещаться в наблюдательных створах или вертикальных измерительных сечениях (ВИС), расположенных на расстоянии 25-50 м друг от друга. Количество и состав КИА в каждом сечении зависит от класса сооружений, их конструкции, гидрогеологических, геокриологических условий и других факторов. Общим принципом размещения КИА является обеспечение надежности ее работы и сохранности, что, как правило, достигается ее расположением и установкой в потернах, галереях, шахтах, нишах и других местах.

Оборудование пьезометров в скальных породах осуществляется с помощью оцинкованных или покрытых антикоррозийной мастикой газовых труб диаметром 50-75 мм с уплотнением затрубного пространства. В пределах водоприемной (рабочей) части пьезометра трубы перфорируют-

ся. Для измерения напоров на разных глубинах можно оборудовать телескопические пьезометры, изоляция фильтров которых достигается с помощью тампонажа затрубного пространства. Каждая секция сообщается с поверхностью посредством отдельной колонны труб.

При возможности суффозии заполнителя трещин или карстовых полостей в массиве в предполагаемых местах суффозии необходимо размещать наблюдательные скважины, оборудованные глубокими отстойниками и специально подобранными фильтрами, через которые могут свободно проходить вымываемые частицы заполнителя.

В отдельных случаях такие скважины целесообразно также оборудовать электрическими преобразователями (датчиками) интенсивности суффозии - *суффозиометрами*, конструкции которых разработаны в лаборатории фильтрационных исследований ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева" [3].

Для наблюдений за термостратифицированными фильтрационными потоками обсадные трубы скважин рекомендуется оборудовать поперечными перегородками - диафрагмами, выполненными в виде лепестков (секторов) из эластичного материала, например, резины. Эти перегородки укреплены на разжимных кольцах внутри наблюдательной скважины (см. рисунок) для предотвращения конвективного перемешивания находящейся в ней воды, при котором не обеспечивается соответствие между температурой снаружи и внутри скважины в точках ее измерения. Такое обустройство наблюдательных скважин было признано изобретением [4].

Напорные пьезометры должны оборудоваться защитными оголовками с отводом (трубой диаметром

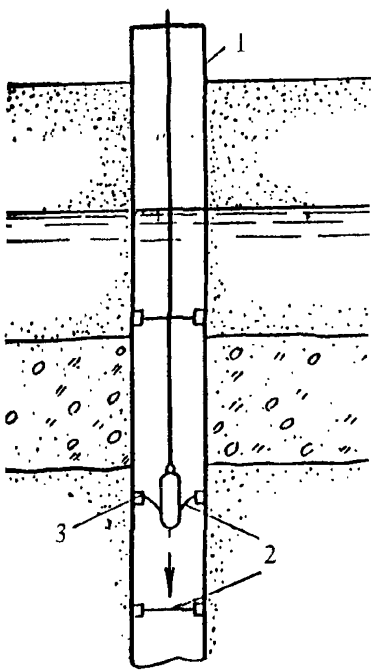

Схема обустройства наблюдательных скважин эластичными лепестковыми диафрагмами для термокаротажа фильтрационных потоков

1 - обсадная труба скважины; *2* - эластичные диафрагмы; *3* - разжимное кольцо, на котором крепится диафрагма.

12 мм), на котором монтируется манометр или пьезодинамометр (ПДС), и устанавливаются краны для отключения манометра, измерения расхода и температуры воды, отбора проб на анализ и т.п. Температура воды может измеряться также в пьезометрах телетермометрами, ПТС и др. Такая конструкция позволяет использовать пьезометр как в безнапорном режиме (в пусковой период эксплуатации сооружений), так и в напорном (в период дальнейшей эксплуатации при расчетных параметрах), а также для дистанционного измерения при автоматизации наблюдений.

4.3. Измерения расходов фильтрации в отдельных зонах вмещающего скального массива, расходов дренажных систем, протечек через неплотности и трещины в обделке подземных помещений и общих водопритоков в отдельные части подземного комплекса могут производиться различными средствами, описанными ниже в п.5.6 и размещаемыми в водоотводных, дренажных, подходных штольнях, водосборных канавках подземных помещений, водоотводящих лотках насосных откачки дренажных вод и т.п.

4.4. Для наблюдения за силовым воздействием подземных вод на бетонные обделки подземных выработок следует использовать закладные пьезодинамометрические датчики (ДДС, ДДСП), размещаемые на стадии строительства на наиболее ответственных участках, а также короткие заобличовочные пьезометры, оборудованные манометрами или преобразователями давления (струнными, резистивными). Такие короткие пьезометры могут быть пройдены с шагом 3-5 м между основными створами и включены в состав наблюдательной сети, что резко повысит разрешающую способность измерительной системы.

4.5. Наблюдения за температурами мерзлых, промерзающих, протаивающих зон массива, вмещающего подземные сооружения, рекомендуется вести с использованием скважин, шпуров, оборудованных герметичным стаканом обсадных труб из малотеплопроводных материалов (пластмасс, полиуретана и др.). Во избежание существенного влияния конвекции воздуха на показания термодатчиков скважина закрывается плотной пробкой (обычно металлической, завинчивающейся), а по длине скважины устраивается несколько эластичных перегородок, перекрывающих обсадную трубу, либо после помещения в трубу термодатчиков она заполняется сухим песком, быстротвердеющими пенами и др. В качестве термодатчиков рекомендуется использовать закладные "гирлянды" телетермометров (ПТС и др.), электротермометров сопротивления, термотранзисторов и терморезисторов, прошедших "режим закаливания", предварительно отградуированных в диапазоне прогнозируемых температур с устойчивыми во времени тарировочными коэффициентами [5]. При размещении термогир-

лянд в восстающие выработки (в сводах, стенах подземных сооружений) они монтируются на жестком стержне, поэтапно наращиваемом при внедрении в скважину, шпур.

5. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА (КИА), ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ДЛЯ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕРМИЧЕСКИМ И ФИЛЬТРАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

5.1. Контрольно-измерительная аппаратура, применяемая при натурных наблюдениях за термическим и фильтрационным режимом скальных массивов на участках эксплуатируемых подземных сооружений, по своему основному назначению подразделяется на три группы. К первой группе относятся преобразователи, пьезометры и устройства, являющиеся источниками информации и устанавливаемые в контролируемых зонах (первичная КИА). По своим эксплуатационным свойствам первичная КИА делится на временную, устанавливаемую без возможности замены, со сроком службы не более 10-15 лет, и долговременную, имеющую срок службы, сопоставимый со сроком эксплуатации сооружений, или устанавливаемую с возможностью ремонта или замены при выходе ее из строя. К временной первичной КИА относятся преобразователи давления струнные с пористой насадкой (ПДСП) и преобразователи температуры струнные (ПТС), терморезисторы, термотранзисторы и др. Долговременной первичной КИА являются все виды пьезометров: опускные безнапорные (ПОБ), опускные напорные (ПОН), двухтрубные (ДП), закладные (ПЗ), контактные (ПК), все средства измерения расходов, а также преобразователи струнные, установка которых предусматривает их замену в период эксплуатации.

Ко второй группе относятся измерительные устройства, выполняющие промежуточные функции: коммутационные щиты, насосные установки.

К третьей группе относятся стационарные и переносные приборы, необходимые для производства измерений (вторичная КИА): манометры, уровнемеры (механические, электрические, пневматические, акустические), мосты электросопротивлений типа R-333 и модернизированные аналоги, периодомеры цифровые портативные (ПЦП), расходомеры, шпитц-масштабы, термометры и другая аппаратура.

Аппаратура должна быть работоспособной в большом диапазоне изменения температур (от -40 до +40°С), при воздействии резких перепадов температуры (термоудар) и давления, пылевлагонепроницаемой и рассчи-

танной на длительный срок работы в агрессивных средах (например, соленых водах и рассолах).

5.2. Термометрические приборы, применяемые при наблюдениях, по принципу действия подразделяются на ртутные и электрические, а по способу использования могут быть стационарные (постоянные) или переносные (периодически опускаться в скважины).

Из ртутных термометров используются:

простые (для источников), показания которых снимаются без извлечения термометра из воды;

специальные (для зумпфов и скважин), сохраняющие показания в течение некоторого времени после извлечения из воды.

К специальным термометрам относятся: максимальные и минимальные (фиксирующие наивысшую или наинизшую температуру), ленивые (с увеличенным ртутным шариком или теплоизоляцией из резины, пробки, войлока и т.п.), черпательные (с шариком в открытом сосуде, заполняющемся водой) и другие.

5.3. Обычные ртутные термометры обеспечивают измерение температуры воды с точностью ±0,5 - 1,0°С. Более предпочтительны срочные термометры (марки ТМ-10, почвенно-глубинные, родниковые) с разницей в отсчетах -0,02°С, что достигается использованием оптической насадки и обеспечивает точность измерения температуры -0,1°С.

Основными недостатками ртутных термометров являются:

невозможность дистанционного измерения;

необходимость заленивливания для сохранения показателей на время извлечения из скважины;

частые повреждения при работе с ними;

невысокая точность более удобных в обращении и высокая стоимость высокоточных термометров;

необходимость экспериментального определения времени выдержки, по истечении которого показания термометра не изменяются.

Для предохранения ртутных термометров от повреждения используются стандартные защитные гильзы ОТ-1, гильзы-наконечники, стаканы и др.

5.4. Электротермометры, применяемые при наблюдениях, по принципу действия являются терморезисторами, позволяющими выполнять дистанционное измерение температур. Обычно используются терморезисторы марок ММТ, КМТ и др. с мостом МО-62 с классом точности $\geq 0,2$. Термисторные датчики практически безынерционны, высоко чувствительны и позволяют измерять температуру с точностью до 0,1°С. Для измере-

ний в скважинах термометры собираются в связки или "косы" (не более 5-и ртутных в связке и любое число электрических термометров в одной "косе"). Такая "коса" может использоваться для периодического термокаротажа скважин и устанавливается в скважине для постоянных наблюдений.

Все термометры должны регулярно проверяться (не реже одного раза в год и после любого ремонта). Для проверки и тарировки термометрических приборов рекомендуется применять образцовые равноделенные термометры марки ТР с ценой деления 0,01-0,05°С. Общие правила подготовки измерительной аппаратуры и производства измерений изложены в руководствах, например [5], и других источниках [7].

5.5. Для определения напоров подземного потока в скальном массиве используются все виды пьезометров, а также струнные и резистивные преобразователи (датчики) давления. Каждый из установленных приборов контролирует пьезометрические уровни в определенной зоне скального массива (например, на подходе фильтрационного потока к цементационной или дренажной завесе, непосредственно перед завесой, далее - за нею, перед фронтом обделки подземного помещения). В напорных пьезометрах струнный датчик давления типа ПДС устанавливается в оголовке, а в безнапорном - ПДСП подвешивается на электрокабеле внутри водоприемника.

5.6. Для измерения расходов притока подземных вод в подземные сооружения, а также для оценки расходов фильтрации в разных зонах вмещающего скального массива, рекомендуется использовать различные методы. Измерение расходов фильтрации можно выполнять в напорных пьезометрах, дренажных скважинах, родниках, на водосливах дренажных выработок и водоотводящих систем.

Расходы воды, изливающейся из напорных пьезометров, могут измеряться объемным способом (с использованием мерных сосудов), измерение дебитов фонтанирующих скважин с вертикально выбивающейся струей может производиться путем измерения высоты фонтана и отыскания значений расхода по соответствующим таблицам для определенного диаметра труб. Измерять расходы скважин с дебитом более 5-10 л/с можно также с помощью опускаемых в скважину микровертушек и посредством различных специальных водомерных устройств при выходе воды из скважины в водосборный лоток, колодец, трубопровод. При расходах более 10 л/с в лотках целесообразно использовать мерные водосливы (трапецеидальные, прямоугольные, треугольные). Для определения расходов небольших по-

токов воды можно применять поплавковый метод, для более крупных - различные гидрометрические вертушки и другие водосчетчики.

Расходы горизонтальных дренажей, а также водоотводных, подходных,транспортных и др. штолен измеряются, как правило, с помощью мерных водосливов, устанавливаемых в специальных колодцах на водовыпусках. Целесообразно применять стандартные незатопленные водосливы с тонкой вертикальной стенкой (Чиполетти, Базена - Эгли, Томсона).

Конструкции и методика измерений на водосливах описаны в соответствующих руководствах [6]. В отдельных случаях представляется удобным измерять расход переносной водосливной рамкой или по истечению воды через круглые или квадратные отверстия в стенке, перегораживающей водоотводную канавку (лоток).

Если отвод воды осуществляется не по лотку, а по трубопроводу, то для измерения небольших дренажных расходов можно использовать специальные прозрачные вставки и определять скорость потока по данным наблюдений за прохождением вводимого в воду красителя. Можно также применять специально установленные диафрагмы, оборудованные дифференциальными манометрами и самопишущими приборами, и водомеры с вертушками, типа ВВ или др.

Наиболее практичными следует считать электромагнитные расходомеры типа ИР-51, имеющие выход постоянного тока до 5 мА (соответствующий мгновенному расходу воды) и обеспечивающие использование аналоговых приборов Государственной системы средств автоматизации, стандартных самопищущих миллиамперметров и потенциометров постоянного тока КС 2, КС 4 и др.

Для определения суммарного объемного количества жидкости расходомер может поставляться в комплекте с интегратором С-1М или С-1АМ. Класс точности расходомера по токовому выходу 1,0. Питание осуществляется от сети переменного тока 50 Гц. Длина линии связи между преобразователем и измерительными устройствами не должна превышать 100 м. Пределы измерения расходов - от 0,32 м^3/час до 250 м^3/час. Изготавливаются эти расходомеры в Эстонии (г.Таллинн).

5.7. Для контроля процессов растворения и выщелачивания (химической суффозии) в скальных массивах, сложенных растворимыми (карбонатными карстующимися, гипсоносными и соленосными) породами, можно использовать различные методы гидрохимических наблюдений, а также отдельные виды инструментальных наблюдений, выполняемых с по-

мощью специально сконструированной переносной или стационарной КИА, например, ионоселективных датчиков-электродов и концентратомеров.

Платиновые черненые датчики-электроды с реохордным мостом используются для контроля общей минерализации подземных вод, иногда они специально подбираются для контроля за содержанием конкретных ионов (например, кальция) в фильтрационном потоке. Кондуктометрические концентратомеры используются для контроля минерализации соленых вод и рассолов. Схема такого прибора приведена в Приложении на рис.П.1. Размещение приборов и периодичность или непрерывность съема информации обосновываются программой исследований в соответствии с характером решаемых задач.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕРМИЧЕСКИМ И ФИЛЬТРАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ. РЕГИСТРАЦИЯ, ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

6.1. Частота измерений в точках наблюдательной сети определяется периодом и видом наблюдений, конкретными задачами, скоростью развития и характером контролируемых температурных и фильтрационных процессов, общей гидрогеологической, инженерно-геокриологической обстановкой на участках подземных сооружений гидроузла, метеорологическими условиями, режимом эксплуатации объектов и другими факторами. Общим принципом определения необходимой периодичности наблюдений является их проведение через более короткие интервалы времени - в характерные периоды климатического, гидрологического, гидрогеологического и эксплуатационного годовых циклов и более продолжительные интервалы - в остальное время года.

В зависимости от конкретных условий и задач наблюдений пьезометрические и температурные измерения в наблюдательных скважинах-пьезометрах, снятие показаний контрольно-измерительных приборов (преобразователей давления и температуры), а также измерения расходов могут производиться от 1-2-х до 4-12-и раз в месяц. В ряде случаев их частота устанавливается в зависимости от режима горизонта водохранилища (более редкие наблюдения при стабильном УВБ и частые при подъеме или спаде в среднем не реже 1 раза на каждые 2-4 м его изменения).

Химические анализы воды, как правило, выполняются 2-6 раз в год, а при сложных обстоятельствах (агрессивные воды, криопэги, быстро развивающиеся процессы растворения и выщелачивания и др.) - не реже одного раза в месяц.

6.2. При необходимости более частых пьезометрических, термометрических или гидрохимических наблюдений наблюдательные точки должны быть оборудованы дистанционной аппаратурой. Автоматизированная система опроса дистанционных датчиков может фиксировать информацию на носителе (перфоленте, магнитной ленте, дискете), обеспечивающем непосредственный ввод данных в ЭВМ, где они накапливаются и обрабатываются.

Режимные наблюдения могут осуществляться с помощью электронных средств измерения. Для этого используются специализированные системы для высокоточных автоматизированных измерений [7], передачи и регистрации поступающих данных на дистанционном аналоговом регистраторе в центральном пункте обработки. Если вся система полностью автоматизирована, обработанная и обобщенная информация выдается в виде компьютерных графических материалов (цветных карт пьезо- и гидроизогипс, изотерм, гидроизотерм, гидроконцентрат, схем, разрезов, графиков, диаграмм, эпюр и т.п.), а ее анализ осуществляется специалистами групп авторского надзора, геонадзора или привлеченных специализированных научно-исследовательских организаций. Опыт многолетней эксплуатации подобных систем за рубежом показал их высокую надежность и эффективность.

6.3. Систематизация и анализ результатов натурных наблюдений без использования ЭВМ включает:

первичную регистрацию, обработку и оценку качества полученных данных с составлением таблиц и графиков;

вторичную обработку с обобщением и группировкой по всем видам наблюдений, изучаемым параметрам, местоположению пунктов наблюдений с представлением результатов на картах, профилях, номограммах, диаграммах и составлением обобщенных графиков установленных зависимостей или описывающих их аналитических уравнений;

формулирование и оценку общих закономерностей геотермической, гидрогеологической обстановки на участке подземного объекта, анализ и оценку условий его эксплуатации в сопоставлении с проектными предположениями и критериальными значениями контролируемых параметров, а также с данными наблюдений предшествующего периода;

уточнение прогноза дальнейшего развития геотермической, гидрогеологической обстановки в зависимости от характера и интенсивности проявления тепловых, фильтрационных процессов (процессов растворения, выщелачивания, механической суффозии или кольматации во вмещающих породах и бетонных обделках, в зонах противофильтрационных и дренажных устройств), определение допустимых значений контролируемых параметров фильтрации, термического режима, разработку рекомендаций по мероприятиям для стабилизации или улучшения условий эксплуатации.

6.4. Основными принципами систематизации и анализа результатов наблюдений за температурой пород и фильтрацией в процессе эксплуатации подземных сооружений являются взаимоувязанность и комплексность обработки и интерпретации данных, полученных различными методами, их сопоставление, взаимопроверка и совместный анализ.

6.5. Первичная обработка и анализ данных режимных наблюдений производится по контролируемым параметрам, регистрируемым в отдельных наблюдательных пунктах и по группам таких пунктов, объединенных по принадлежности к определенным литолого-структурным элементам, температурным и гидродинамическим зонам вмещающего скального массива, а также общности местоположения (подземное здание станции, шахта водосброса, турбинные водоводы и т.п.). Данные наблюдений по каждому пункту наблюдательной сети регулярно наносятся на графики, на оси абсцисс которых откладывается время (дни, месяцы, годы), а на оси ординат - пьезометрические уровни, расходы, температура, химический состав по элементам (анионам, катионам, общей минерализации и др.). На те же графики выносятся данные об уровнях водохранилища (в случае необходимости - нижнего бьефа), атмосферных осадках, температуре воды, наружного воздуха и воздуха в подземных помещениях.

6.6. Вторичная обработка данных наблюдений заключается в построении гидродинамических сеток, гидрогеологических карт и профилей (гидроизогипс, пьезоизогипс, гидроизотерм, гидрохимических и др.); геотермических разрезов, планов-срезов, карт, отражающих выявленные закономерности распределения температур, напоров или уровней и других параметров потока подземных вод на участках размещения подземных сооружений в характерные периоды гидрологического, геотермического, гидрогеологического и эксплуатационного циклов. На картах, например, могут быть изображены поверхности подземных вод или приведены данные по их химическому составу при максимальных и минимальных уровнях водохранилища. Могут создаваться также другие специальные карты и разрезы. Сравнение карт и профилей, полученных в разные годы эксплуата-

ции подземного комплекса при одних и тех же уровнях водохранилища, позволяет выявить основные тенденции развития геотермической и гидрогеологической обстановки во вмещающем скальном массиве.

Графики колебаний расходов дренажных устройств подземного комплекса (суммарных и на отдельных участках) могут характеризовать как изменение водоудерживающей способности противофильтрационных цементационных завес и бетонных обделок помещений, так и характер работы дренажей (в одном годовом цикле - в зависимости от положения поверхности подземных вод во вмещающем скальном массиве, а при одинаковых напорах - за несколько лет).

6.7. Результаты режимных геотермических и гидрогеологических наблюдений должны подвергаться текущему, предварительному и полному анализу.

Текущий анализ для оперативного контроля и оценки теплового состояния и гидрогеологической обстановки на участке подземных сооружений, с точки зрения безопасности их эксплуатации, следует производить непосредственно по данным каждого цикла наблюдений. Его основной задачей является оценка качества наблюдений и выявление признаков возможных неблагоприятных изменений силовых воздействий на сооружения, обусловленных трансформацией фильтрационного и температурного полей.

Предварительному анализу подлежат данные наблюдений за каждым из элементов режима (уровни, расходы, температура, химический состав подземных и поверхностных вод), полученные по каждому характерному периоду годового эксплуатационного цикла (например, в периоды предпаводковой сработки, заполнения, частичной сработки и последующей стабилизации уровня водохранилища, когда условия работы подземных сооружений гидроузла различны). По окончании каждого такого периода надо безотлагательно выполнять сопоставление результатов наблюдений с материалами прежних лет эксплуатации для выявления и оценки возможных отклонений температурного и фильтрационного режимов.

Полный анализ результатов натурных наблюдений производится после завершения каждого календарного года и основывается на взаимоувязанных материалах вторичной обработки данных, обеспечивающей выполнение поставленных программой задач.

При полном анализе производится построение геотермических полей и гидродинамических сеток фильтрации (в плане и по характерным сечениям), определяются параметры фильтрационного потока на разных участках, выделяются зоны сосредоточенной фильтрации и различные ано-

малии гидродинамического, температурного и гидрохимического полей, прослеживаются их границы и динамика развития, разрабатываются рекомендации по корректированию температурного поля и режима фильтрации на участках, где наблюдаются нежелательные его изменения, а также по улучшению работы противофильтрационных и дренажных устройств, предотвращению или ограничению развития неблагоприятных фильтрационных процессов. В случае необходимости даются рекомендации по проведению специальных исследований.

6.8. Заключительными этапами анализа результатов наблюдений являются :

проверка соответствия проектных (занесенных в паспорт гидроузла) и фактических данных о температурах массива, напорах, градиентах и расходах фильтрационного потока, давлениях на обделки подземных помещений и водопритоках в выработки;

составление (уточнение) прогноза дальнейшего развития геотермической и гидрогеологической обстановки и оценка его влияния на условия эксплуатации объектов;

разработка рекомендаций по дальнейшему температурному и фильтрационному контролю состояния системы сооружение - массив, определение допустимых пределов изменения контролируемых параметров, возможных мероприятий по стабилизации или улучшению условий эксплуатации, а также (в случае необходимости) неотложных мер по ремонту и реконструкции объектов.

ПРИМЕР ПРОЕКТНОЙ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО И ФИЛЬТРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА УЧАСТКЕ ПОДЗЕМНОГО НАПОРНО-СТАНЦИОННОГО УЗЛА РОГУНСКОЙ ГЭС

1. Конструктивные особенности элементов напорно-станционного узла ГЭС

Рогунский гидроузел с каменно-земляной плотиной высотой более 300 м имеет в своем составе также напорно-станционный узел (НСУ) с подземным зданием станции, эксплуатационный водосброс, строительные туннели, цементационные и другие штольни и шахты в основании плотины, транспортные туннели. Общая протяженность подземных выработок достигает 60 км [8]. Сооружения НСУ включают водоприемник, шесть подводящих туннелей с шахтами аварийно-ремонтных затворов, шесть турбинных водоводов, подземное здание станции и два отводящих туннеля.

Слагающие участок створа коренные скальные породы представлены толщей неравномерно переслаивающихся песчаников и алевролитов, слои которых наклонены в сторону нижнего бьефа под углом 60-75°. Породы трещиноватые, имеются также разрывные тектонические нарушения. В зоне одного из разломов, пересекающего русло реки в основании верховой упорной призмы плотины, залегает пласт каменной соли.

Наиболее сложным и ответственным в фильтрационном отношении является подземное здание станции, состоящее из машинного зала и помещения трансформаторов. Здание станции расположено в верхнем бьефе на глубине 420 м от поверхности склона вблизи водохранилища и частично под ним на глубине до 350 м ниже отм. НПУ. Размеры выработки машинного зала 27,0х67,5х200,0 м, помещения трансформаторов - 19,0х36,5х182,0 м [8].

Для снижения воздействия высоконапорных подземных вод на обделки подземных сооружений предусмотрен комплекс защитных мероприятий. Учитывая невысокую степень трещиноватости и водопроницаемости горных пород, в основу защиты положен общий скважинный дренаж, располагаемый вокруг здания ГЭС и обеспечивающий снижение давления подземных вод на обделки помещений до 0,2-0,3 МПа. Дополнительный шпуровой дренаж за обделкой понижает давление до 0,1 МПа. Для ликвидации трещин во вмещающем породном массиве, не перехвачен-

ных дренажем, вокруг помещений предусмотрена цементация пород на глубину до 15 м (на 50% общей длины помещений).

Кроме основных противофильтрационных мероприятий проектом предусмотрены декоративные потолки и стенки, ограждающие помещения от капельного высачивания воды. Фильтрационный расход просочившейся воды (до 230 л/с) отводится по декоративным потолкам и обделкам стен в водосборную дренажную систему и сбрасывается в нижний бьеф или в насосные откачки дренажных вод. Создаваемый дренаж помимо снижения давления воды на сооружения здания станции, отводящие туннели ГЭС, строительные туннели и другие близлежащие подземные сооружения почти полностью исключает возможность общего обводнения левобережного склона после наполнения водохранилища.

Для создания дренажной системы используются туннели на трех уровнях, два из которых совмещены с цементационными штольнями. В верхнем уровне два туннеля располагаются параллельно оси трансформаторного помещения и огибают его торцевые стенки. В среднем уровне также два туннеля охватывают машинный зал с четырех сторон. Сброс воды осуществляется по водосбросным штольням в отводящий туннель. В нижнем уровне один дренажный туннель по трем сторонам машинного зала соединен с эвакуационной штольней, вода из него через насосную сбрасывается в отводящий туннель агрегатов ГЭС. Общая компоновка дренажных и противофильтрационных мероприятий показана на рис.П.1.

Из всех дренажных туннелей бурятся дренажные скважины диаметром 112 мм с шагом 5 м и длиною от 20 до 100 м, образующие дренажные завесы со всех сторон подземного здания станции. В лотках туннелей проложены водоотводные канавы, перекрытые плитами. Для снижения давления на обделку туннелей предусмотрены шпуровые дрены, пробуренные по сетке 3 х 3 м.

Эксплуатационный водосброс на правом берегу включает водосброс с глубинным водозабором и шахтный водосброс, которые имеют совмещенный отводящий тракт, рассчитанный на пропуск суммарного расхода 3380 м^3/с. В составе глубинного водосброса: входной портал, два напорных участка туннеля (узел ремонтных затворов - камера с шахтой, узел аварийно-ремонтных и основных затворов) и безнапорный участок туннеля с транспортным туннелем и аэрационно-смотровой шахтой, соединенной туннелем с площадкой оголовка шахтного водосброса. После заполнения водохранилища сооружения окажутся заглубленными ниже уровня подземных вод до 140 м.

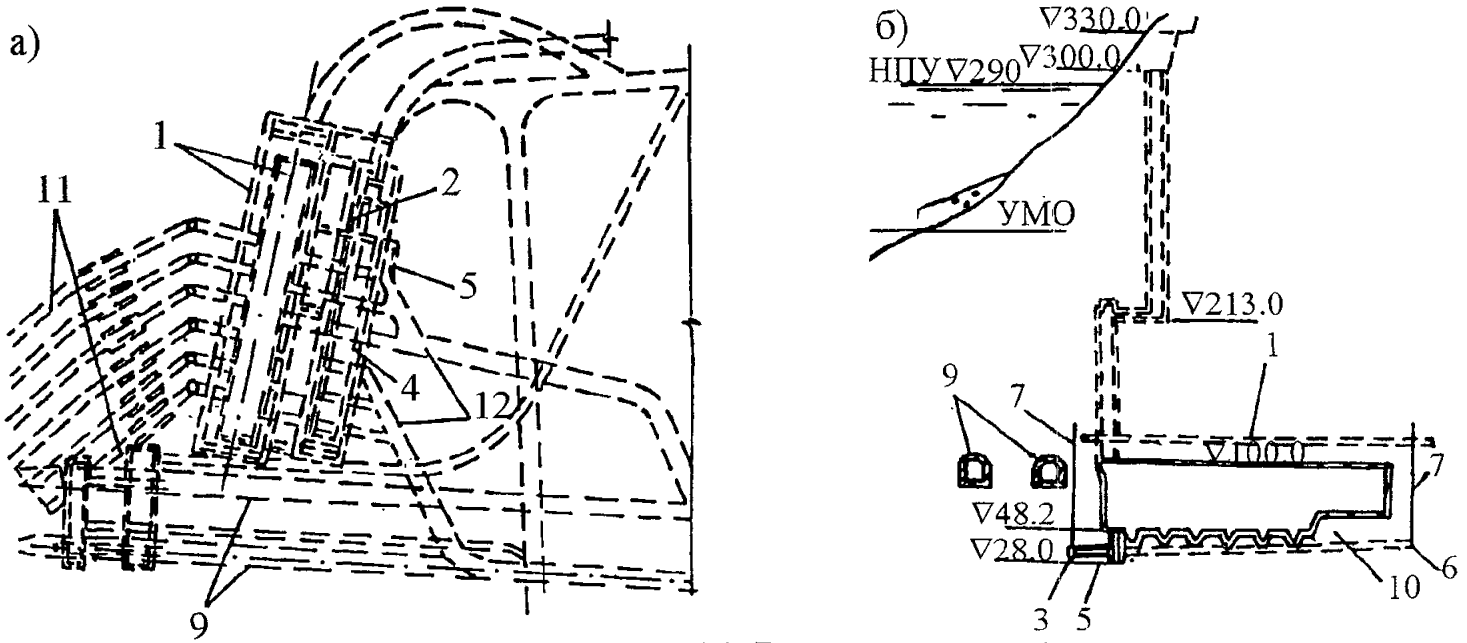

Рис.П.1. Дренажные и противофильтрационные мероприятия в районе здания станции

а - план-разрез по верхним дренажно-цементационным штольням; *б* - продольный разрез по дренажному туннелю; *в* - поперечный разрез по дренажному туннелю; *г* - то же по дренажно-цементационному туннелю; *1* - дренажно-цементационные штольни №1 и 2; *2* - дренажно-цементационные штольни №3 и 4; *3* - дренажный туннель №1; *4* - водосбросная штольня №2; *5* - водосбросная штольня №1; *6* - насосная откачки фильтрационной воды из ДТ-1; *7* - дренажные скважины; *8* - шпуровые дрены; *9* - строительные туннели I и II ярусов; *10* - машинный зал; *11* - подводящие туннели ГЭС; *12* - коллекторы и отводящие туннели ГЭС.

В камере и шахте ремонтного затвора, на верховом переходном участке и в камере аварийно-ремонтных и основных затворов предусмотрены: стальная противофильтрационная облицовка, цементация пород вокруг выработок и на отдельных участках - шпуровой дренаж. Учитывая, что помещение подъемных механизмов расположено под ложем водохранилища, предусмотрены противофильтрационная цементация вокруг выработок и дренажная завеса между зоной цементации и выработкой, состоящая из глубоких скважин, пройденных из дренажно-цементационного туннеля, огибающего подземное помещение (рис.П.2 и П.3). К обделке свода и стен помещений крепятся дренажно-декоративные потолки и стенки. Сброс воды осуществляется в безнапорную часть туннеля.

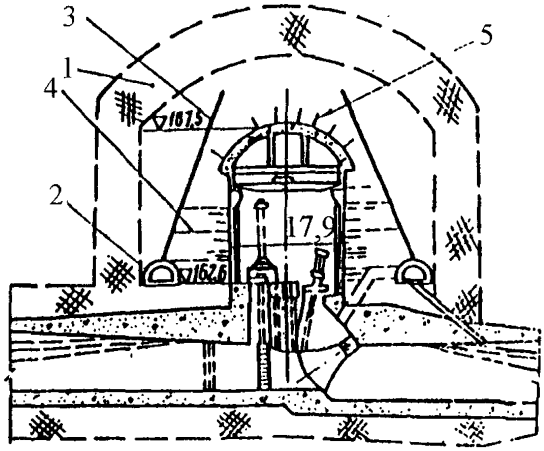

Рис.П.2. Поперечный разрез по помещению механизмов эксплуатационного глубинного водосброса

1 - цементация породы глубиной 8 м; *2* - дренажные туннели; *3* - дренажные скважины ∅ 105 мм, *l* = 30 м, шаг 5 м; *4* - анкеры ∅ 25 мм, *l* = 2,5 м; *5* - шпуровые дрены ∅ 50 мм, *l* = 3,0 м.

2. Обустройство подземных сооружений контрольно-измерительной аппаратурой

Для контроля фильтрационного (гидродинамического), температурного и гидрохимического режимов в подземных сооружениях гидроузла устанавливается большое количество КИА. Так, на участке подземного

здания станции предусмотрена установка 137 опускных и закладных пьезометров, располагаемых в семи вертикальных измерительных сечениях (ВИС), проходящих на расстоянии 25-95 м друг от друга. В водоприемниках пьезометров устанавливается 137 термометров сопротивления (ПТС). Расходы воды в дренажных, водосбросных и подходных штольнях намечено измерять 32 мерными водосливами (или расходомерами-дозаторами). Оголовки дренажных скважин в створах ВИС также оборудуются ПДС для измерения пьезометрических уровней. Пример установки КИА в одном из сечений показан на рис.П.4.

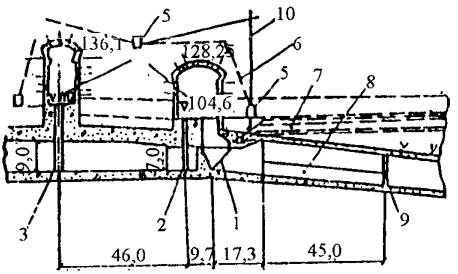

Рис.П.3. Узел аварийно-ремонтных и основных затворов строительных туннелей

1, 2, 3 - соответственно основные, аварийно-ремонтные и ремонтные затворы; *4* - помещения подъемных механизмов; *5* - дренажные туннели; *6* - дренажные скважины; *7* - аэрационный воздуховод; *8* - стальная облицовка; *9* - пазы-аэраторы; *10* - цементационные скважины.

На участках других подземных сооружений также устанавливаются пьезометры с датчиками давления и температуры, мерные водосливы или расходомеры-дозаторы качающегося типа с электропередачей показаний (рис.П.5).

3. Методика наблюдений

Частота наблюдений за пьезометрическими уровнями, температурой воды в зонах водоприемников пьезометров, фильтрационными расходами и измеряемой одновременно температурой фильтрата должна быть 3-4 раза в месяц в период стабильного положения УВБ, а в периоды сработки и наполнения водохранилища - увеличиваться до 8-10 раз в месяц, в том

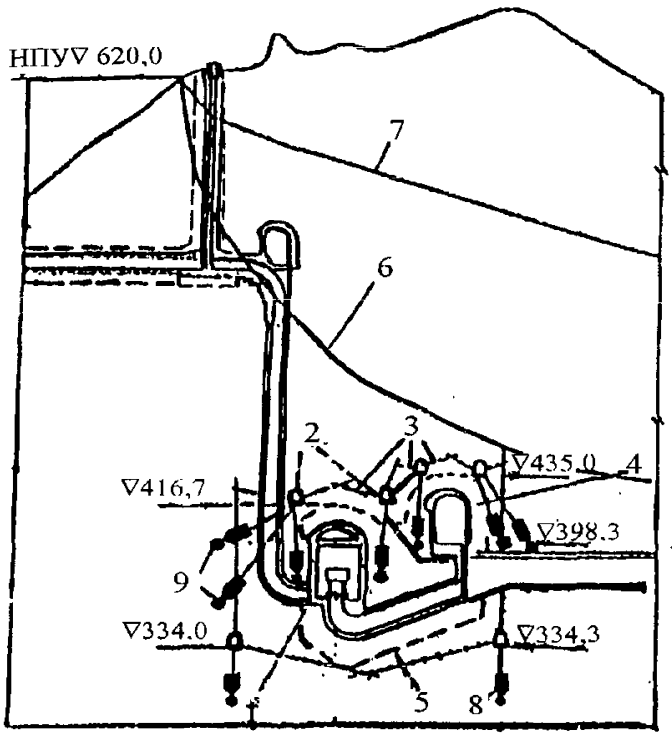

Рис.П.4. Поперечный разрез здания ГЭС

1 - машинный зал; *2* - дренажные туннели; *3* - дренажные скважины; *4* - помещение трансформаторов; *5* - контур цементации; *6* - депрессионная кривая при наличии дренажа; *7* - депрессионная кривая без дренажа; *8* - напорные опускные пьезометры; *9* - датчики температуры.

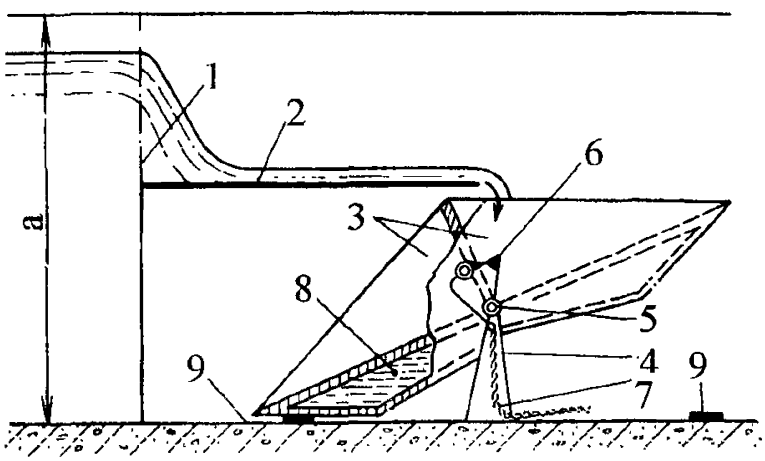

Рис.П.5. Схема расходомера-дозатора

a - глубина водоотводящего лотка (в подошве выработки, туннеля дренажного, цементационного и т.п.); *1* - ось водослива; *2* - отводящий лоток; *3* - мерные сосуды; *4* - станина; *5* - ось качания мерных сосудов; *6* - электроконтактный замыкатель тока; *7* - кабель КРГД к блоку питания и самописцу; *8* - жидкостный противовес; *9* - упругая подушка.

числе за фильтрационными расходами и температурой фильтрата - до 15-20 раз в месяц.

Наблюдения за химическим составом подземных и дренажных вод (методом отбора и анализа химического состава проб воды) проводятся 1 раз в квартал при постоянном УВБ и ежемесячно при изменяющихся отметках УВБ. Некоторые из наблюдательных скважин в подземных сооружениях вблизи соляного пласта (система постоянной солевой защиты) оборудуются датчиками-концентратомерами (рис.П.6). Визуальные наблюдения во время строительства производились одновременно с инструментальными, а в случае необходимости, - по специальным программам. Также велись наблюдения за уровнем и температурой воды в бьефах, температурой наружного воздуха и в контролируемых подземных помещениях, за выпадением атмосферных осадков, за сейсмопроявлениями и др.

Обработка наблюдений включала построение графиков изменения всех наблюдаемых параметров во времени, построение карт пьезо- и гидроизогипс, эпюр давлений, диаграмм состава воды, а также производство расчетов градиентов пьезометрических напоров и гашения напора в противофильтрационных элементах сооружений и др. [9].

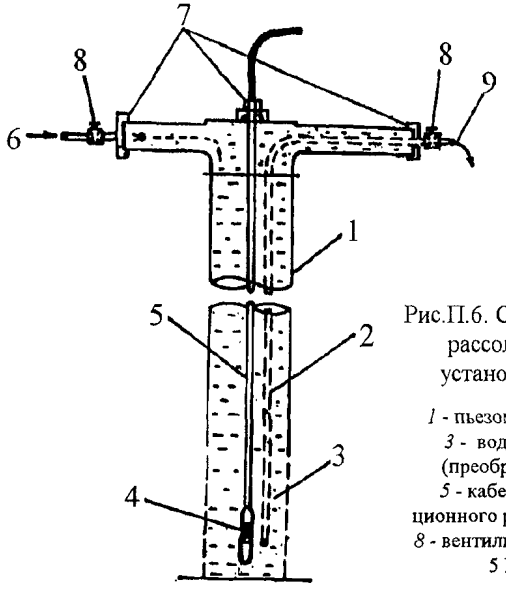

Рис.П.6. Схема устройства для отбора проб рассола из напорного пьезометра и установки датчика концентратомера

1 - пьезометрическая труба; *2* - микротрубка; *3* - водоприемник пьезометра; *4* - датчик (преобразователь) концентрации рассола; *5* - кабель к датчику; *6* - подача компенсационного рассола; *7* - сальниковые уплотнения; *8* - вентили солестойкие на рабочее давление до 5 МПа; *9* - слив пробы рассола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рекомендации** по натурным наблюдениям и исследованиям фильтрации в подземных гидротехнических сооружениях: П 10-83/ ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева.- Л., 1983.

2. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: РД 34.20.501-95.- 15 издание, переработанное и дополненное.- М., 1996.

3. **А.с. 1408010 СССР**, МКИ[4] E02B 1/00. Скважинный суффозиометр / В.Н.Жиленков, Н.И.Шевченко, Э.С.Аргал // Открытия. Изобретения. - 1988.- № 25.

4. **А.с. 479846 СССР**, МКИ E02B 1/02. Устройство для исследования стратифицированных фильтрационных потоков жидкости / В.Н. Жиленков, О.Н.Носова // Открытия. Изобретения.- 1975.- № 29.

5. **Руководство** по градуировке терморезисторов и использованию их при геотермических измерениях / Изд-во института мерзлотоведения. - Якутск, 1973.

6. **Справочное** руководство гидрогеолога / Под. ред. В.М. Максимова. - Л.: Гостехиздат, 1959.

7. **Рекомендации** по применению автоматизированных комплексов аппаратуры для температурных измерений в грунтах / ПНИИС Госстроя СССР. -М.: Стройиздат, 1984.

8. **Илюшин В.Ф.** Дренажно-противофильтрационные мероприятия в подземных сооружениях Рогунской ГЭС // Сборник научн. трудов Гидропроекта. - 1987. - Вып.124. - С. 88-94.

9. **Ронжин И.С., Каныгин Л.Е., Котенкова Э.Г. и др.** Программа и состав натурных наблюдений за фильтрационным и гидрохимическим режимами в сооружениях Рогунской ГЭС // Сборник научн. трудов Гидропроекта. - 1987. - Вып.124. - С. 100-113.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3
2. Конкретные задачи контроля термического и фильтрационного режима скального массива и подземного сооружения . . . 5
3. Регламент проведения наблюдений за термическим и фильтрационным режимом массива и подземного сооружения. . . . 6
4. Основные принципы размещения и конструктивные особенности КИА в подземных сооружениях и вмещающих скальных массивах 7
5. Контрольно-измерительная аппаратура (КИА), используемая для натурных наблюдений за термическим и фильтрационным состоянием подземных сооружений и скальных массивов . . 10
6. Методические особенности натурных наблюдений за термическим и фильтрационным состоянием подземных сооружений. Регистрация, обработка и анализ результатов наблюдений. 14
Приложение. Пример проектной разработки системы температурного и фильтрационного контроля на участке подземного напорно-станционного узла Рогунской ГЭС 19
Список литературы 26

Редактор *Т.С. Артюхина*
Корректор *Т.М. Бовичева*
Компьютерная верстка *Т.В. Филиповская*

Лицензия ЛР № 020629 от 14.01.98.
Подписано к печати 11.09.2001. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Печ.л. 1,75. Тираж 300. Заказ 168.

Издательство и типография ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21.