РАО «ЕЭС РОССИИ»

Открытое акционерное общество
“ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ им. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА”

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИАГНОСТИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

П 71 – 2000
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2000

gost.e-ecolog.ru

РАО «ЕЭС РОССИИ»

Открытое акционерное общество
"ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ им. Б.Е. ВЕДЕНЕЕВА"

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИАГНОСТИЧЕСКОМУ КОНТРОЛЮ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

П 71 – 2000
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2000

УДК 624.131.65:626/627+627 824.2/3

В Рекомендациях даны методические основы организации и проведения натурных наблюдений за условиями формирования фильтрационных полей и определения их характеристик в теле и основании грунтовой плотины, а также признаками нарушения ее фильтрационной прочности (суффозионными явлениями). Рассмотрены способы интерпретации результатов этих наблюдений для последующей диагностики состояния и оценки безопасности эксплуатации конкретного грунтового сооружения.

Рекомендации предназначены для инженерно-технического персонала специализированных подразделений, осуществляющего натурные наблюдения за водонапорными сооружениями энергетического объекта.

© ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева", 2000

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Рекомендациях изложены в простом и доступном виде правила, которыми следует руководствоваться эксплуатационному персоналу при проведении натурных наблюдений за условиями (режимом) фильтрации в грунтовых плотинах, а также при первичном анализе и обобщении результатов наблюдений. В связи с этим Рекомендации могут рассматриваться как дополнение и детализация "Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации".

Рекомендации составлены на основе аналогичных по назначению нормативно-методических разработок прошлых лет, с учетом практического опыта наблюдений за фильтрацией (фильтрационного мониторинга) на многих отечественных и зарубежных гидроузлах.

Рекомендации разработаны в ОАО "ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева" доктором техн. наук В.Н.Жиленковым, старшим научн. сотрудником О.Г.Марголиной и зав.лабораторией фильтрации ОАО "НИИЭС" Л.Е.Каныгиным.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область применения

1.1. Настоящие рекомендации предназначаются для использования службами эксплуатации гидротехнических сооружений гидроузлов, научно-исследовательских и проектных организаций, участвующих в работах по контролю состояния сооружений. Натурные наблюдения и исследования фильтрации являются составной частью комплекса наблюдений и исследований, выполняющихся на ГТС в период строительства и эксплуатации.

1.2. К натурным наблюдениям за фильтрацией в гидротехническом сооружении, особенно в грунтовой плотине, следует относиться как к наиболее важной и ответственной части контроля за состоянием данного сооружения, поскольку вследствие скрытого характера фильтрации ее отрицательное воздействие удается распознать не сразу. Вместе с тем, при проведении наблюдений необходимо также учитывать совершенно особые и заранее неясные в деталях обстоятельства фильтрации, обусловленные обычной изменчивостью геологической структуры основания и геофильтрационных свойств грунтового материала, из которого построена плотина (например, вследствие внутренней его эрозии или в результате замораживания и оттаивания), а также возрастом сооружения. Поэтому состав и регламент проведения натурных наблюдений за фильтрационным состоянием (режимом) контролируемой системы плотина-основание должен разраба-

Внесены ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева»	Утверждены РАО «ЕЭС России» письмо № 02-1-03-4/633 от 03.07.98	Срок введения в действие III кв. 2000 г.

тываться применительно к инженерно-геологическим условиям в створе эксплуатируемого сооружения с учетом всех его конструктивно-технологических характеристик, которые могут повлиять на обстоятельства формирования фильтрационных потоков внутри плотины и в ее основании.

При этом однако надлежит руководствоваться общими принципами организации и проведения таких наблюдений (мониторинга), исходя из возможностей оснащения объекта наблюдения контрольно-измерительной аппаратурой.

1.3. Рекомендации следует рассматривать как методическое пособие для эксплуатационного персонала объекта, контролирующего состояние напорных гидротехнических сооружений, в частности, грунтовых плотин, используя для этого определяемые в процессе натурных наблюдений фильтрационно-суффозионные характеристики состояния плотины, на основе которых затем должна осуществляться оперативная (первичная) оценка ее надежности. Такую оценку следует производить регулярно, путем определения соответствия контролируемых характеристик их проектным значениям, при которых по предварительным или скорректированным расчетам должны обеспечиваться надежность сооружения и безопасные для персонала условия его эксплуатации.

1.4. Если контролируемые характеристики приближаются к критическим своим значениям или превысили их, то есть основание считать, что необходимы безотлагательные предупредительные меры (например, снизить действующий напор воды на сооружение) и одновременно увеличить частоту наблюдений, а также привлечь квалифицированных специалистов для детального анализа причин нарушения расчетного режима эксплуатации и разработки соответствующих технических мероприятий по устранению этих причин.

1.5. Исходя из опыта натурных наблюдений, можно назвать четыре основных проявления неблагоприятного воздействия фильтрации на грунтовое сооружение (плотину):

потери воды из водохранилища, не предусмотренные расчетом;

силовое воздействие фильтрационного потока на частицы грунтов в плотине или основании, проявляющееся в виде механической суффозии;

силовое воздействие фильтрационного потока на само сооружение, способствующее, в частности, уменьшению устойчивости низовой упорной призмы;

физико-химическое воздействие потока на материал тела плотины и грунт в основании (например, в виде выщелачивания из него водораство-

римых материалов - галита, гипса), обычно характеризуемого как химическая суффозия.

Если в первом случае развитие фильтрационных процессов затрагивает только экономическую эффективность сооружения, то в трех остальных возникает прямая угроза его надежности, при этом не существует какого-либо определенного соотношения основных параметров фильтрационного режима (скорости, расхода и напора потока), которое являлось бы критическим для заданной точки или области фильтрационного поля. Критическое состояние может наступить при некотором фиксированном значении только одного из этих параметров. Отсюда следует вывод, что для суждения о безопасности объекта контроля во многих случаях недостаточно располагать, например, только данными пьезометрических наблюдений. Для этого также необходимы сведения о расходах фильтрации или об интенсивности суффозионных процессов.

1.6. При организации натурных наблюдений особенно большое внимание следует уделять периоду первого наполнения водохранилища, стараясь при этом выявить общие закономерности в изменении наблюдаемых параметров (характеристик), прежде всего пьезометрических напоров, расходов, а также суффозионных процессов и их динамики при длительной эксплуатации.

Столь же оперативно и особенно тщательно должны контролироваться указанные параметры сразу же после землетрясений. Количество контролируемых параметров фильтрационного состояния сооружения, а также их достоверность должны быть в прямой зависимости от класса (ответственности) сооружения и, как правило, должны быть заданы на стадии его проектирования и затем уточняться по мере накопления опыта эксплуатации.

Нормативные ссылки

1.7. В тексте Рекомендаций используются следующие нормативные документы:

ГОСТ 8.389-80. Преобразователи давления струнные измерительные типа ПДС. Методы и средства поверки. М.: Изд-во стандартов, 1981.

СНиП 2.06.05-84. «Плотины из грунтовых материалов». М.: Госстройиздат, 1985.

СНиП 2.02.02-85. «Основания гидротехнических сооружений». М.: Госстройиздат, 1986.

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: РД 34.20.501-95. 15-е издание, перераб. и дополн. М., 1996.

Указания по организации натурных наблюдений и исследований на строящихся гидротехнических сооружениях: ВСН-01-74 / Минэнерго СССР. Л.: Энергия, 1974.

Методические указания по натурным исследованиям фильтрации в трещиноватых скальных основаниях: ВСН-33-70 / Минэнерго СССР. Л.: Энергия, 1971.

Руководство по расчету фильтрационной прочности грунтовых сооружений и их оснований: П59-94 / ВНИИГ. СПб, 1995.

Рекомендации по химическому исследованию природной воды и грунтов при инженерно-геологических изысканиях для гидроэнергетического строительства: П861-87 / Гидропроект. М., 1990.

Терминология

1.8. Терминология настоящих «Рекомендаций» принята согласно ГОСТ 19185-73.

2. КОНКРЕТНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ТЕЛЕ И ОСНОВАНИИ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

2.1. Основными задачами такого контроля является установление

текущих характеристик фильтрационных потоков в теле и основании плотины, в том числе пьезометрических напоров в заранее выбранных точках и расходов профильтровавшейся в дренаж воды;

положения депрессионной поверхности в теле плотины и участков разгрузки фильтрационного потока;

общей картины формирования фильтрационных потоков, которую обычно представляют в виде гидродинамической сетки фильтрации, наглядно отражающей распределение напора в каждом из контролируемых створов, с выделением потери напора на противофильтрационных преградах (цементационной завесе, диафрагме) и дренажах;

мест непредвиденных водопроявлений на участке за сооружением в нижнем бьефе, при наличии которых следует незамедлительно организо-

вать контроль за их дебитом и выносом взвеси минеральных частиц (свидетельствующем о происходящей суффозии) и, в случае необходимости – за химическим составом профильтровавшейся воды;

проявлений (очагов) суффозии в плотине и основании, видовой характеристики (квалификации) суффозионных процессов, а также кинетики их развития и оценки возможной реакции сооружения (прежде всего, в отношении обеспечения его фильтрационной прочности);

сведений о распределении температуры в фильтрационных потоках и характере сезонной трансформации температурных полей, главным образом в местах сосредоточенных протечек и более интенсивной разгрузки потока (при обязательном одновременном определении уровня воды в водохранилище и наличия в нем температурной глубинной стратификации).

Следует иметь ввиду, что термо-фильтрационный мониторинг может оказаться в ряде случаев весьма эффективным способом определения условий формирования фильтрационных потоков и, соответственно, одним из действенных средств диагностики состояния сооружения.

2.2. Состав и регламент проведения фильтрационных наблюдений должна определять проектная организация при проектировании конкретного сооружения в соответствии с РД 34.20.501-95. Во время строительства и в начале эксплуатации регламент наблюдений должен уточняться на основе рекомендаций проектной или специализированной научно-исследовательской организации, при составлении которого, как правило, учитываются более достоверные данные о геофильтрационных свойствах грунтового материала после его укладки в тело плотины, полученные в ходе строительного геотехнического контроля.

Регламентом наблюдений должна предусматриваться оперативная разработка организационно-технических мероприятий по устранению или локализации неблагоприятных для состояния сооружения фильтрационно-суффозионных процессов, характер возможного проявления которых необходимо прогнозировать заранее. При этом должны быть использованы данные инженерно-геологических изысканий и расчетно-экспериментальных исследований, выполнявшихся на стадии проектирования.

2.3. Регламент натурных наблюдений (по основным его позициям) согласно ВСН-01-74 следует привести в соответствие с обобщенными характеристиками сооружения, которые должны отражать: гидрогеологическое строение грунтовой толщи основания, конструктивные особенности сооружения, все замеченные во время его строительства существенные отступления от проектных решений, характер и сроки профилактических и ремонтных работ и их результативность.

Отдельно в Регламенте должны быть представлены предельно допустимые по условию обеспечения надежности сооружения значения контролируемых характеристик фильтрационного состояния сооружения и его основания.

2.4. При организации фильтрационного контроля на грунтовых сооружениях предусматривается:

получение максимально полной и достоверной информации о фильтрационном режиме в теле, основании и на участках сопряжения с другими сооружениями;

проверка проектных решений и корректировка их по натурным данным*;

сравнение натурных данных с результатами поверочных расчетов для разработки критериев безопасности сооружений*;

оценка состояния сооружения и его отдельных элементов;

разработка мероприятий по поддержанию сооружений в надежном состоянии, прогнозирование его дальнейшего поведения.

2.5. Натурные наблюдения за фильтрационным состоянием грунтовой плотины подразделяются на контрольные наблюдения и специальные исследования.

Контрольные наблюдения (визуальные и инструментальные) проводятся с целью текущего эксплуатационного контроля фильтрационных процессов и состояния сооружения. Визуальный осмотр всех доступных для обозрения частей сооружения позволяет отметить все признаки связанных с фильтрацией неблагоприятных для сооружения проявлений: просадочные воронки, трещины, места вспучивания грунта, оползание откосов, неорганизованные выходы фильтрационных вод, появление взвесей в местах разгрузки потока, следы выноса грунта, заболачивание. Особое внимание следует уделять состоянию контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и подходов к ней.

Результаты осмотров заносятся в журнал визуальных наблюдений, дефектные места при необходимости следует зарисовать, сфотографировать или, если возможно, сделать видеосъемку.

2.6. В задачу инструментального контроля, проводимого на сооружениях I-III класса, входит выявление изменений параметров потока внутри области фильтрации.

---

* При корректировке критериев безопасности сооружений контроль необходимо выполнять совместно со специализированной научной или проектной организацией.

2.7. При сложных геологических условиях в основании, наличии строительных дефектов или отказов в первые годы эксплуатации на сооружениях независимо от класса проводится специальный контроль, включающий дополнительные наблюдения и исследования (натурные и модельные), а также поверочные расчеты.

Специальные наблюдения выполняются по отдельной программе проектными или научно-исследовательскими организациями для уточнения изменившейся гидрологической обстановки, оценки состояния сооружения или разработки и использования дополнительных средств и методов натурных наблюдений. В ряде случаев необходимость специального контроля определяется при обследовании дефектного сооружения или его элемента комиссией экспертов.

2.8. При составлении схемы размещения фильтрационной КИА принимаются во внимание: конструкция сооружения и технология его возведения, физико-механические характеристики грунтов, геологические и гидрогеологические условия основания, режим регулирования бьефов, особенности эксплуатации.

Створы рекомендуется располагать (рис.1):

на русловом участке плотины,где она имеет максимальную высоту;

над резкими изломами поверхности основания, зонами тектонических разломов и крупных трещин;

над участками залегания в основании непосредственно под подошвой водопроницаемых прослоек;

на сопряжениях с берегами (обходная фильтрация);

на границах сопряжения плотины с бетонными сооружениями;

по контуру цементационных завес;

в дефектных зонах плотины, выявленных ранее;

на границах сопряжения талого основания с мерзлыми береговыми массивами.

В процессе эксплуатации сооружения и его старения при необходимости количество створов может быть увеличено.

Примеры размещения пьезометрической КИА в грунтовых плотинах различных конструкций приведены на рис. 2.

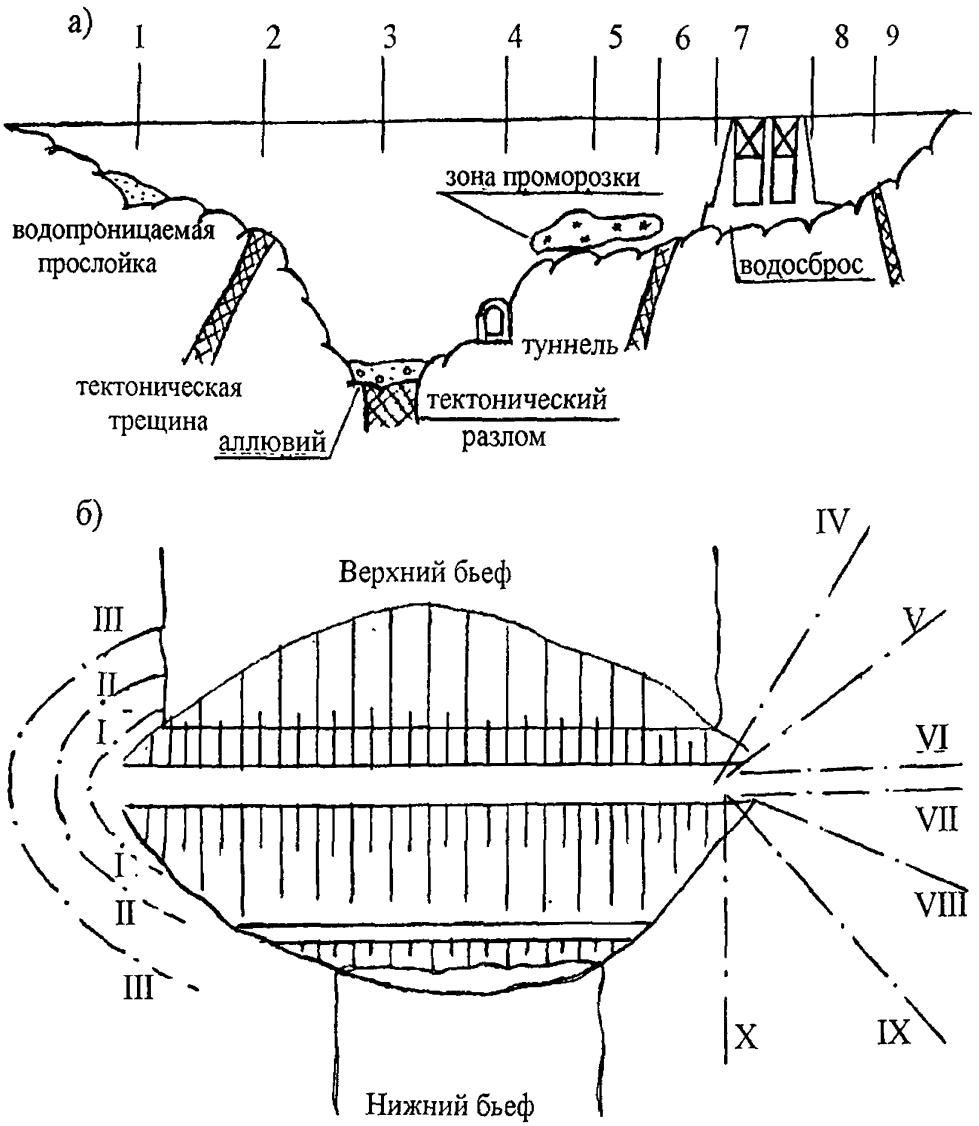


Рис.1. Размещение наблюдательных пьезометрических створов

а - размещение створов в характерных участках плотины (продольный разрез);
1,2,3....9 - номера поперечных створов;
б - размещение контрольных створов в береговых примыканиях;
I, II, III - криволинейные створы по линиям тока; IV-X - лучевые створы.

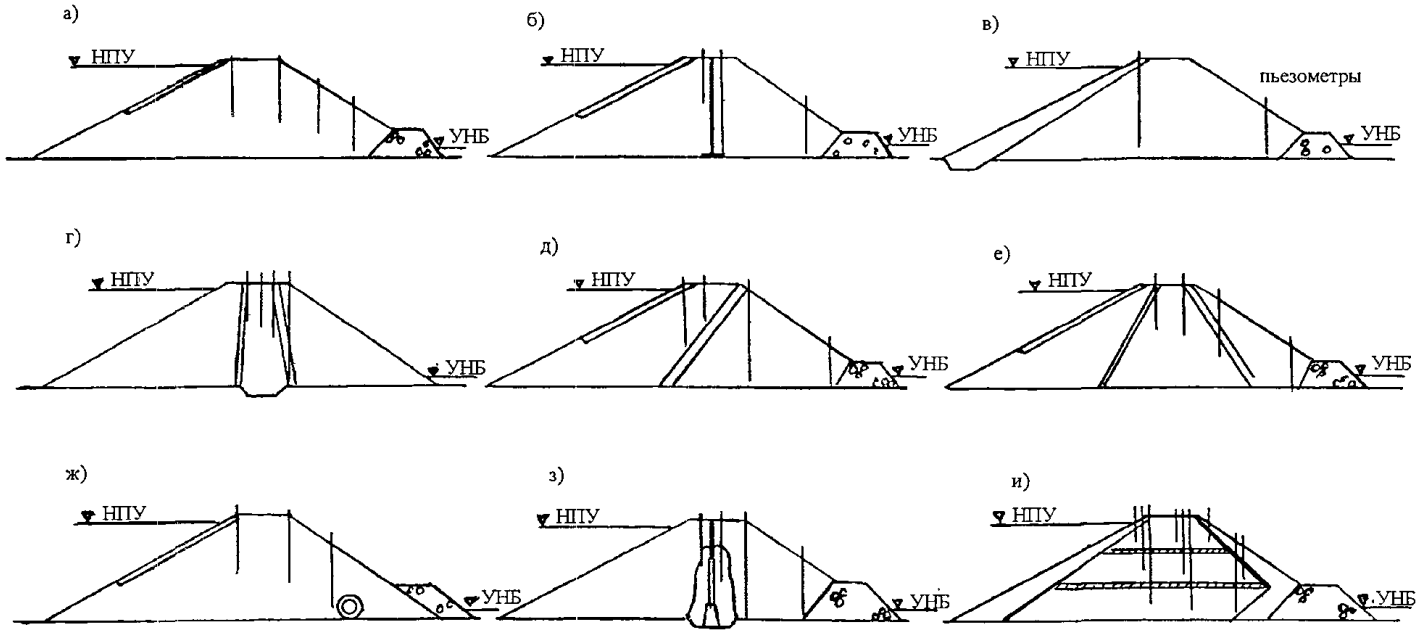


Рис.2. Примеры размещения пьезометрических створов в различных типах грунтовых плотин (тело плотины)

а - однородная с банкетом; *б* - с металлической диафрагмой; *в* - с экраном; *г* - с ядром; *д* - с верховой противофильтрационной призмой; *е* - с центральной призмой; *ж* - с трубчатым дренажом; *з* - с ядром и бетонной диафрагмой; *и* - с водоупорными слоями.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ФИЛЬТРАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

3.1. Общую картину (условия) формирования фильтрационного потока на участке плотины, примыкающем к данному измерительному створу, представляют в виде двумерной гидродинамической сетки. Для ее построения рекомендуется использовать полученные данные о пьезометрических напорах H_i в рассматриваемой области (поле) фильтрации, путем их приведения к действующему напору H на сооружение, то есть выражая напоры в относительных величинах $h_{ri} = \frac{H_i}{H}$ и затем интерполируя между этими приведенными величинами.

Инструментальные наблюдения за напорами воды, фильтрующейся в основании и теле плотины, рекомендуется определять с помощью безнапорных или напорных трубчатых опускных пьезометров шахтного или точечного типа (рис.3), либо с помощью закладных пьезометров, устанавливаемых на заданных отметках во время возведения сооружения. При этом следует иметь в виду, что для измерения напора в слабопроницаемых ($K<10^{-3}$ м/сут) геологических структурах основания или в глинистом ядре плотины следует использовать малоинерционные двухтрубные или опускные напорные пьезометры, снабженные электрическими преобразователями давления.

Уровни воды в безнапорных пьезометрах измеряются с помощью лота-хлопушки или лота-свистка, опускаемых в скважину на маркированном тросе или рулетке. Точность измерений лотами составляет 1 см при глубине скважины до 10 м и 2-3 см - при глубинах более 25 м. Для измерения уровней воды в глубоких скважинах используются электроуровнемеры.

С целью предотвращения возможного замерзания зимой воды внутри трубчатых пьезометров верхнюю их часть (насадку) следует выполнить на всю глубину промерзания откоса плотины или берегового склона из слабопроводящего тепломатериала, например, из полиэтилена или поливинилхлорида.

В особых случаях рекомендуется использовать пьезометры с внутритрубной эластичной гильзой, заполненной антифризом с плотностью, равной плотности воды, например, глицерином.

Целесообразно также применять электрообогрев водоподводящих коммуникаций закладных пьезометров путем прокладки параллельных шин, подключенных к низковольтному (сварочному) трансформатору.

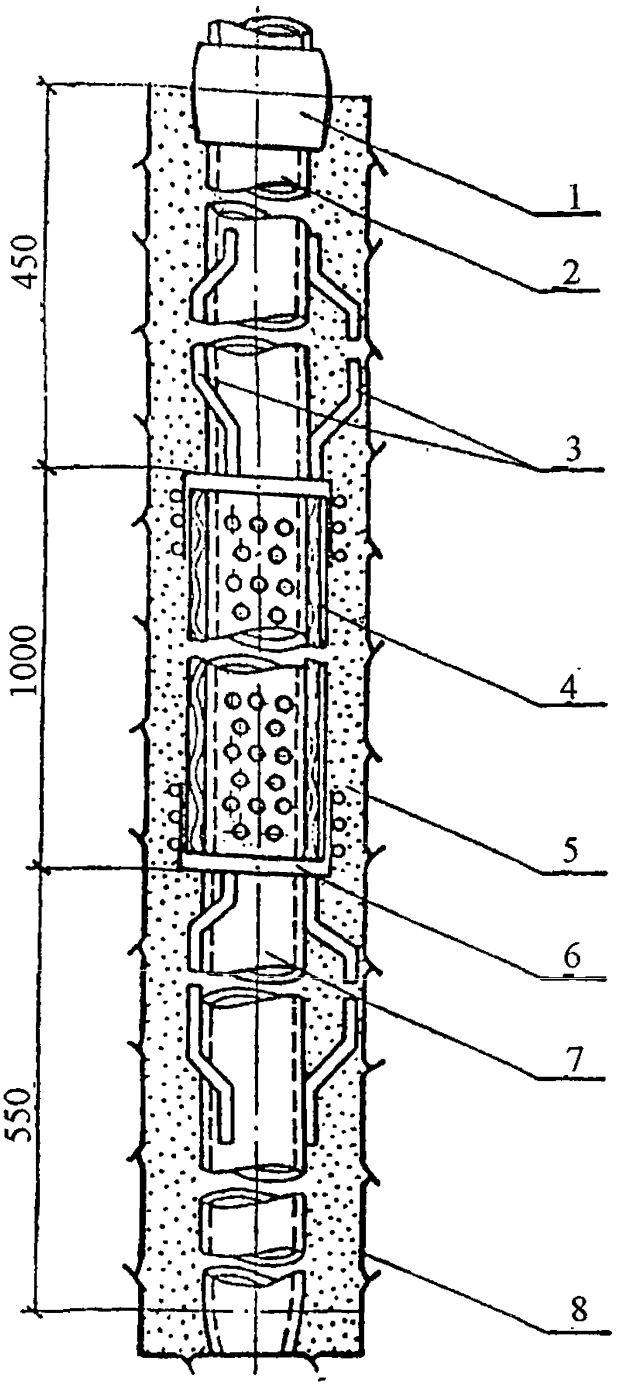


Рис.3. Типовая конструкция водоприемника опускного пьезометра

1 - соединительная муфта ∅ 2″; 2 - винипластовая труба ∅ 2″; 3 - направляющие скобы; 4 - фильтр из гофрированной винипластовой сетки и стеклоткани; 5 - песчаная обсыпка; 6 - опорное кольцо; 7 - отстойник (винипластовая труба ∅ 2″); 8 - стенки скважины.

Для измерения пьезометрических уровней (напоров) с дистанционпользуются струнные преобразователи типа ПДС-1, 3, 10, 30 соответственно на 1, 3, 10, 30 кгс/см^2, устанавливаемые в пьезометрах в соответствии с ГОСТ 8.389-80. Погрешность измерения составляет ±2% от верхнего предела нормируемого давления. В безнапорном пьезометре преобразователь погружают на отметку, заглубленную под наинизший уровень. В качестве вторичных приборов используют периодомер типа ПЦП-1М либо Струна-12.

Для определения давления в напорных пьезометрах самое широкое распространение получили пружинные образцовые манометры (стационарные или переносные) типа МО с классом точности 0,2 и 0,4 и пределами измерений от 1,0 до 25 кгс/см^2. Типоразмер манометра подбирается таким образом, чтобы верхний предел шкалы не менее, чем на 20-30% превышал наибольшее возможное значение давления.

Частота измерений пьезометрического напора зависит от колебания уровней бьефов и возраста сооружения. При колебаниях бьефов сезонного характера в условиях многолетней эксплуатации частота измерений обычно принимается от 4 (в начальный период) до 1 раза в месяц. При выявнии в режиме фильтрации заметных отклонений от закономерности или в периоды резких наполнений или сработок водохранилища измерения уровней должны проводиться с большей частотой. При значительных суточных колебаниях бьефов частота измерений должна определяться после проведения специальных исследований.

3.2. Особым случаем диагностического контроля фильтрационного состояния грунтовой плотины являются наблюдения за изменением порового давления воды внутри слабопроницаемого (коэффициент фильтрации $K<10^{-4}$ м/сут) глинистого ядра плотины в процессе его консолидации в строительный период и после наполнения водохранилища, когда фильтрационный поток в ядре может оказаться сильно деформированным и отличающимся по своим параметрам от расчетного. Данная ситуация поясняется на рис. 4.

Для таких наблюдений следует использовать только закладные малоинерционные пьезометры: двухтрубные манометрические с выводами в смотровую галерею или более удобные для эксплуатационного персонала электрические преобразователи (датчики) давления - струнные, индуктивные, клапанные и т.п.

3.3. Количественную оценку фильтрации согласно ВСН 33-70 следует производить путем измерения расходов воды в дренажах или очагах фильтрации.

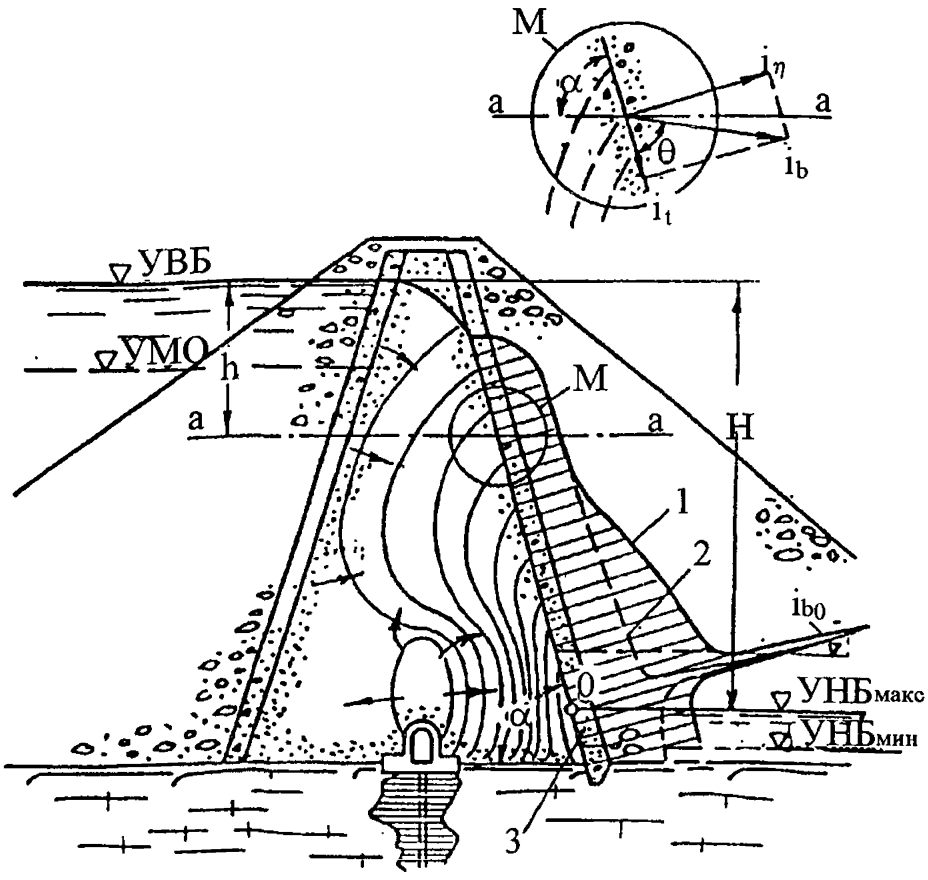


Рис.4. Пояснение условий формирования фильтрационного потока в ядре высокой каменно-земляной плотины при одновременном гравитационном уплотнении (консолидации) материала ядра

1 - эпюра выходных градиентов фильтрационного потока в ядре при наличии в центральной его области порового давления, примерно равного гидростатическому в водохранилище на этой глубине; 2 - то же, но при отсутствии порового давления (при стационарных условиях фильтрации); 3 - зона обратного фильтра в пределах колебаний уровня нижнего бьефа, где на урезе воды выходные градиенты в несколько раз превышают их значения на остальных участках высачивания фильтрационного потока; i_{bo} - *выходной градиент напора в точке 0 (урез воды).*

Помимо основных принципов размещения фильтрационной КИА, изложенных в п.2.8, при назначении мест наблюдения за выходами воды следует учитывать возможность появления очагов фильтрации на низовом откосе в результате слоистости грунта, возникшей при намыве или при длительных перерывах в отсыпке.

Измерения расходов фильтрации проводятся в водомерных устройствах, устанавливаемых:

в трубчатом дренаже – в смотровых колодцах или на выпусках из труб;

в наслонном дренаже или каменном банкете – на открытых канавах (кюветах), устраиваемых за низовым откосом;

в вертикальных дренах основания – суммарно на концевом участке дренажной галереи или отдельно на каждой изливающейся дрене.

При каптировании открытых потоков или отдельных очагов фильтрации с расходом воды менее 10 л/с измерения производятся объемным способом с помощью мерных сосудов.

При расходах воды в кюветах , превышающих 10 л/с, используют тонкостенные или бетонные мерные водосливы (треугольные, трапецеидальные, прямоугольные). Водосливы могут быть стационарными или переносными. Величина расхода воды определяется по формуле в зависимости *от величины напора на гребне водослива.*

В гидрометрических лотках или открытых кюветах на специально подготовленных прямолинейных участках с вертикальными бортами и чистым дном измерения производят с помощью поплавков или гидрометрических вертушек.

Если дренажные воды отводятся по трубопроводу, то для измерения расхода следует применять электромагнитные расходомеры типа ИР-51, имеющие выход постоянного тока до 5 мА, соответствующие мгновенному расходу воды и обеспечивающие использование аналоговых приборов Государственной системы средств автоматизации, стандартных самопишущих миллиамперметров и потенциометров постоянного тока КС2, КС4 и др. Пределы измерения расходов от 0,32 м^3/ч до 250 м^3/ч. Класс точности по токовому выходу 1,0.

Для определения суммарного объемного количества жидкости расходомер может поставляться в комплекте с интегратором С-1М. Длина линий связи между преобразователем и измерительным устройством не должна превышать 100 м.

Рациональная частота измерения расходов воды в дренажных устройствах должна определяться в зависимости от характера колебаний бьефов.

При постоянстве уровня верхнего бьефа или сезонных колебаниях и отсутствии влияния нижнего бьефа измерение расхода рекомендуется проводить раз в месяц.

При резком наполнении и сработке водохранилища или при появлении новых очагов фильтрации определение расхода производится более часто, вплоть до ежедневного.

С целью исключения искажения величины фильтрационных расходов атмосферными осадками наблюдения следует проводить через некоторое время после их выпадения.

При невозможности измерения дренажного расхода (например, разгрузка в нижний бьеф) или недостоверных результатах (причины будут указаны в п.4.4) следует оценить расход воды, профильтровавшейся через тело или основание плотины по имеющимся косвенным характеристикам: коэффициенту фильтрации, скорости фильтрации, тепловой волне, градиенту напора и др.

3.4. Наблюдения за температурным режимом фильтрационного потока проводятся с помощью стационарно установленных в наблюдательных скважинах датчиков и путем измерений температуры воды в поверхностном или придонном слое в скважинах, а также путем проведения циклов термокаротажа пьезометрических или дренажных скважин датчиками погружаемого типа.

Одновременно с определением температуры фильтрационного потока ведутся наблюдения за температурой воды на границе питания (водохранилище) и в местах выходов потока на поверхность (дренажные устройства, очаги фильтрации). Измерения температуры воды в водохранилищах у низконапорных сооружений проводятся вблизи сооружения в 2-3 точках по высоте, в глубоких водохранилищах – на рейдовых вертикалях по глубине от дна до поверхности в нескольких контрольных точках.

В открытых (безнапорных) пьезометрах определяется поверхностная температура с помощью имеющихся на гидроузлах ртутных водных (заленивленных) термометров.

Наиболее полную картину фильтрации в теле и основании сооружений дают циклы термокаротажа скважин, которые должны проводиться с периодичностью не менее 4 раз в год. Измерения температуры воды вдоль стволов скважин ведутся непрерывно по всей высоте от дна до поверхности. При дискретных измерениях расстояние между контрольными точками не должно превышать 2 м, а один цикл измерений – 2-3 дней.

Для проведения термоизмерений используются погружаемые датчики, измерительным элементом которых являются полупроводниковые мик-

ротерморезисторы марки МТ-1, 4, 54 и др., заключенные в латунную гильзу и защищенные от механических повреждений. Измерение электросопротивлений фиксируется мостом постоянного тока. В комплект последней модификации термодатчика "Гидротермо-1" входит приемное прямопоказывающее устройство с цифровой индикацией температуры воды. Датчик практически безынерционен (0,3 с), что позволяет проводить измерение достаточно оперативно с точностью 0,05 °С и пределом измерений до 60 °С.

Для повышения достоверности результатов наблюдений за термостратифицированными фильтрационными потоками обсадные трубы скважин можно оборудовать поперечными перегородками – диафрагмами, выполненными в виде лепестков (секторов) из эластичного материала, например, резины*. Эти перегородки укреплены на разжимных кольцах внутри наблюдательной скважины (рис.5) для предотвращения конвективного перемешивания находящейся в ней воды, при котором не обеспечивается соответствие между температурой снаружи и внутри скважины в точках ее измерения.

3.5. Определение химического состава воды фильтрационного потока согласно П 861-87 осуществляется по результатам химического анализа проб воды, взятых из пьезометров, дренажных устройств и мест сосредоточенного выхода грунтовой воды и одновременно из водохранилища.

Отбор проб воды на химический анализ проводится в соответствии с проектом, как правило, 2-4 раза в год, обязательно в период минимальных (весной) и максимальных уровней воды в водохранилище. Периодичность отбора проб корректируется на основании опыта эксплуатации. Цикл отбора проб не должен превышать нескольких дней.

Пробы из напорных пьезометров берутся на изливе (после слива 1-2 объемов воды) или из зоны водоприемника с помощью стационарных полиэтиленовых или резиновых трубочек диаметром 8-12 мм. Из безнапорных пьезометров пробы отбираются пробоотборником-желонкой или скважинным батометром.

При лабораторном анализе проб воды следует определять: содержание водородных ионов (pH), свободной углекислоты (CO_2), сухой остаток, бикарбонатную щелочность (HCO^-_3), содержание ионов кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), натрия и калия (Na^++K^+), хлора (Cl^-), сульфатного иона (SO_4^{2-}), сероводорода (H_2S). Определение HCO^-_3, CO_2 и pH производится не позднее,

* А.с. 479846 СССР. МКИ Е 02В1/02. Устройство для исследования стратифицированных фильтрационных потоков / Жиленков В.Н., Носова О.Н. // Открытия. Изобретения. 1975. № 29.

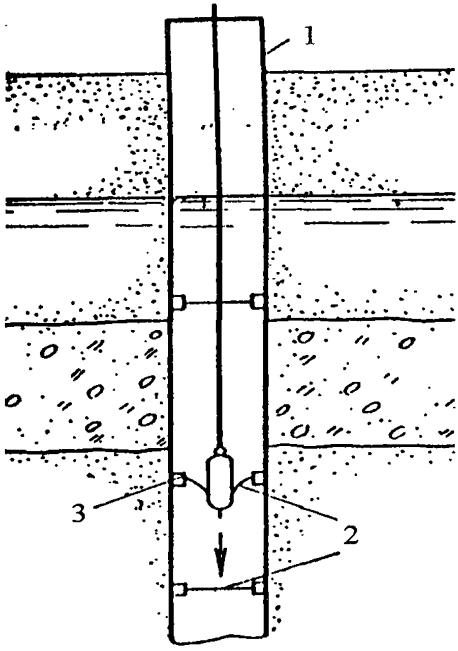


Рис.5. Схема обустройства наблюдательных скважин эластичными лепестковыми диафрагмами для термокаротажа фильтрационных потоков

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

чем через день после отбора проб. Полученные в результате лабораторного анализа проб компоненты (в мг/л или мг-экв/л) записываются в табличной форме в журнал.

3.6. Для контроля возможных процессов механической суффозии необходимо определять содержание взвешенных веществ в профильтровавшейся воде. Отбор проб для анализа следует проводить в случае обнаружения взвешенных частиц в местах выходов воды в нижний бьеф или на поверхность. Отбор проб на взвесесодержание проводится с периодичностью 1 раз в месяц или 2 раза. В период очевидного усиления выноса частота наблюдений повышается.

Для измерения содержания взвешенных частиц (мутности) используется мерная емкость объемом 1,0 л, куда отбирается проба воды. Время заполнения емкости фиксируется секундомером. Затем пробы переливаются в специальные герметично закупоренные емкости для отправки в лабораторию.

Определяют массу твердых частиц путем выпаривания жидкости или пропускания ее через фильтровальную бумагу с последующим просушиванием фильтра с осадком до постоянной массы. Расчет содержания (по массе) взвешенных частиц в фильтрационном потоке (мутность) выполняется по зависимости $M_{\phi} = \frac{m_t}{V}$, где m_t – масса твердых частиц (мг); V – объем, л.

В случае появления очага суффозии следует воспользоваться данными о зерновом и минералогическом составе продуктов суффозии, то есть установить их происхождение, а для видовой идентификации эрозийного процесса – обратиться к специальным пособиям, в которых дана классифика-

ция всех нарушений суффозионной устойчивости нескальных и скальных грунтов, а также грунтовых материалов, например П 59-94.

Кинетика суффозионного процесса оценивается по изменению во времени суммарного объема (веса) вымываемых фильтрационным потоком частиц грунта (материала сооружения). Интенсивность химической суффозии характеризуется количеством вымытого минерала (галита, гипса), которое определяют по результатам химического анализа проб воды или по измерениям концентрации растворенного в воде минерала с помощью ионоселективных электродов или кондуктометров (солемеров).

3.7. В целях качественной характеристики водопроницаемости грунта определяют дебиты (расходы) напорных пьезометров в зонах их водоприемников. Дебит является характеристикой локальной и довольно относительной, т.к. на его величину влияет состояние фильтра водоприемника и затрубья пьезометра.

Измерение дебита скважины проводится при ступенчатом понижении давления (не менее трех ступеней), выдерживаемого некоторое время до стабилизации расхода. Сравнительной характеристикой является удельный дебит, отнесенный на 1 м понижения напора. Целесообразная частота определения дебитов напорных пьезометров – 1 раз в 5 лет.

3.8. Определение коэффициентов фильтрации в натурных условиях проводится в целях уточнения проектных решений с учетом реальных характеристик и для оценки состояния сооружения в ходе его длительной эксплуатации. Как правило, значения коэффициентов фильтрации получают опытным путем при откачке и наливе воды из пьезометрической скважины и в нее, наблюдая за восстановлением первоначального уровня.

3.9. Определение скоростных характеристик фильтрационного потока входит в состав специальных исследований. Для измерения скоростей горизонтального потока в наблюдательных скважинах малого диаметра применяется индикаторный метод, основанный на наблюдениях за распространением по потоку веществ-индикаторов, введенных в изучаемый поток и обнаруживаемых с помощью измерительных приборов. Исследования выполняют обычно способами пусковых и наблюдательных скважин. Определение локальных значений скорости фильтрации в отдельных точках изучаемой толщи проводится способом пусковых скважин. В качестве пусковой скважины могут использоваться пьезометры открытого типа, в которые вводится раствор индикатора (солевой, органический, радиоактивный и др.) и затем с помощью измерительных приборов регистрируется изменение его концентрации во времени (разбавление индикатора). Использование

напорных пьезометров допускается только при наличии специальных приспособлений, обеспечивающих герметичность оголовка скважины при запуске индикатора.

При определении действительных скоростей потока способом наблюдательных скважин индикатор вводится в пусковую скважину, а в других пьезометрических скважинах (наблюдательных), расположенных на предполагаемых линиях тока ниже по потоку, фиксируется время появления индикатора. При неизвестном направлении потока наблюдательные скважины располагают веером вокруг пусковой. Выбор вида индикатора проводится с учетом химического состава исследуемого потока, физико-химических особенностей грунта, интенсивности потока. Например, органические красители следует использовать в прозрачной воде, солевые индикаторы – в маломинерализованных потоках, радиоактивные индикаторы – в низкоскоростных потоках. Аппаратура, применяемая в опытах с индикаторами, отличается разнообразием и подбирается организациями, которые ведут специальные исследования.

3.10. В состав специальных наблюдений и исследований, проводящихся на грунтовых сооружениях, находящихся в сложных гидрогеологических условиях, а также при развитии аномальных процессов, входит изучение плотности, влажности, водопроницаемости фильтрующей среды геофизическими методами. К таким методам относится гамма- и нейтронный каротаж, ультразвуковое профилирование, сейсмопросвечивание, резистивиметрия, расходометрия и др.

4. СБОР, ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ФИЛЬТРАЦИЕЙ

4.1. В процессе проведения всех видов наблюдений общепринято результаты записывать в полевые журналы, формы которых есть на каждом гидроузле и в настоящих Рекомендациях не приводятся. В кратчайший срок обработанные наблюдателем вручную первичные данные переносятся по установленной форме в журналы регистрации.

4.2. При создании систем автоматизированного контроля (САК) на гидросооружениях подсистема "фильтрационный контроль" – ФК – представляет собой сумму операций по сбору, обработке и анализу информации с минимальным использованием ручного труда.

Специфическими при автоматизации наблюдений за фильтрацией в грунтовых плотинах, по сравнению с бетонными сооружениями, являются следующие моменты:

большая протяженность плотин, что требует большого количества коммуникаций (кабель);

низкая насыщенность КИА, т.к. расстояния между наблюдательными сечениями и створами весьма велики (100...300 м);

низкая защищенность (уязвимость) измерительных устройств (ИУ) от механических повреждений и хищений.

Все это предопределяет наличие больших затрат на автоматизацию наблюдений на таких плотинах по сравнению с бетонными сооружениями и, как следствие, повышает значимость и целесообразность технико-экономического обоснования автоматизации.

С технических позиций полная автоматизация натурных наблюдений за состоянием грунтовых плотин, в том числе и наблюдений за фильтрацией, является весьма перспективной и целесообразной. Однако практика показывает, что нередки случаи, когда натурные наблюдения за состоянием грунтовых плотин, в том числе и наблюдения за фильтрацией, по указанным выше причинам автоматизируются только в части обработки и анализа результатов измерений при ручном снятии показаний КИА и ручном вводе результатов наблюдений в базу данных.

Сбор информации осуществляется с помощью комплекса измерительных преобразователей, приборов и устройств, установленных в сооружении, на которых непосредственно измеряемые физические величины преобразуются в электрические сигналы. В качестве примера можно назвать преобразователь давления – ПДС; преобразователь уровня жидкости – ПУЖС; преобразователь температуры – ПТС; периодомер цифровой портативный – ПЦП-1.

Допускается применение других приборов, обеспечивающих требуемую точность измерений.

На первом этапе автоматизации возможно подключение преобразователей к электромеханическим коммутаторам типа шаговых искателей для снятия показаний переносным или стационарным комплектом с регистрацией информации в цифровом коде – на бланках-распечатках.

На втором этапе осуществляется подготовка информации к вводу в ЭВМ путем получения записи на перфоленте. Ввод данных ведется в диалоговом режиме или по телетайпу "пачками" с накоплением их на гибких магнитных дисках.

Специфика банка данных при автоматизации натурных наблюдений за фильтрацией в грунтовых плотинах проявляется как в базе данных (БД), так и в программном обеспечении (ПО).

В банк данных помимо обычной информации должны быть помещены следующие сведения:

о подготовке основания под плотину и особенно под противофильтрационные (ядро, экран и т.д.) и дренажные элементы;

о материалах тела плотины и особенно противофильтрационных элементов, а также о технологии возведения плотины;

результаты геотехконтроля при возведении плотины.

Специфика ПО банка данных грунтовых плотин целиком определяется методикой обработки результатов наблюдений и формой представления результатов.

На третьем этапе создается кабельная сеть линий связи и ведется централизация измерений в системах АИС с использованием вычислительных комплексов с целью управления сбором информации и ее обработки.

Автоматизированная система предполагает два режима опроса преобразователей: циклический и выборочный. Результаты опроса проверяются и заносятся в бланки, пригодные для автоматической обработки, а также на дисковые файлы. С помощью соответствующих программ проверяется их достоверность.

4.3. В основные задачи обработки данных натурных наблюдений входят:

определение параметров, характеризующих состояние сооружения в целом, например, величины противодавления на подошву, осредненного значения коэффициента фильтрации тела или основания плотины, скорости фильтрации и т.д.;

определение локальных геофильтрационных характеристик в отдельных наблюдательных точках или створах;

оценка изменений измеренных в натуре характеристик путем сопоставления их в разные периоды времени или по разным объектам.

Обработка результатов измерений обычно включает: построение графиков изменения измеренных параметров во времени; построение кривых депрессии или эпюр противодавления по поперечным или продольным контрольным створам; построение на характерные даты в плане изолиний параметров фильтрационного потока (напоров, порового давления, температуры, ионового состава, дебитов и др.).

В системе базы данных программа обработки на ПЭВМ предусматривает вывод на экран с последующей печатью на принтере графической интерпретации натурных материалов с сечениями, профилями и планами.

4.4. Перед проведением анализа полученных натурных данных оценивается их достоверность, которая зависит от применяемой методики из-

мерений, работоспособности КИА и квалификации наблюдателей. Косвенным свидетельством достоверности показаний при длительном периоде наблюдений можно считать сохранение установившихся закономерностей изменяемых параметров.

Достоверность результатов наблюдений по пьезометрам устанавливается проверкой их состояния:

герметичностью и целостностью запорной арматуры, соединительных шлангов и оголовков (включая крышки и защитные короба);

качеством уплотнения затрубного пространства и устьевой части пьезометра;

высотой заиления водоприемников безнапорных пьезометров и соответствием фактических глубин проектным;

инерционностью пьезометров;

ежегодной нивелировкой верха труб безнапорных пьезометров и отметок установки манометров у напорных пьезометров;

ежегодной метрологической проверкой в заводских условиях преобразователей и образцовых манометров.

Достоверность результатов количественной оценки фильтрации определяется состоянием измерительных устройств:

правильной организацией измерительных створов - наличием бездефектных водосливов, прямоугольных подходных участков с чистым дном;

полным каптажем фильтрационного потока измерительным устройством;

отсутствием подтопления измерительных створов (труб, лотков, водосливов).

Достоверность результатов наблюдений за температурой и другими физическими параметрами фильтрационного потока зависит от разрешающей способности датчиков и вторичной аппаратуры, которые должны регулярно поверяться. При включении в систему автоматизированного контроля следует предусматривать производство визуальных осмотров и контрольных замеров традиционными способами, для чего необходимо сохранять штат наблюдателей.

Достаточность количества наблюдательных точек определяется способностью оценить состояние сооружения и закономерности происходящих во времени процессов. При выявлении аномальных изменений или очевидных противоречиях результатов число наблюдательных точек должно быть увеличено.

4.5. Результаты натурных наблюдений, представленные в виде значений измеряемых параметров, подвергаются дальнейшей обработке для

установления характерных показателей состояния рассматриваемых объектов. Состав таких показателей и методика их определения выдается проектной и научно-исследовательской организацией с учетом особенностей сооружения.

Показатели состояния качественно или количественно характеризуют границы исправного работоспособного, неисправного работоспособного или неработоспособного состояния сооружения.

По результатам анализа многолетних натурных наблюдений в сравнении с проектными решениями определяются, как правило, показатели условий нормальной эксплуатации, т.е. исправного работоспособного состояния сооружения. Предельно-допустимые значения берутся из СНиП 2-06.05-84, СНиП 2.02.02-85.

4.6. В состав основных показателей (критериев) эксплуатационной надежности грунтовых сооружений входят показатели, характеризующие:

нормальное состояние всех внешних элементов грунтовых сооружений: гребня, откосов, дренажных банкетов, водоотводных канав, территории нижнего бьефа и сопряжений с бетонными сооружениями;

скорость опорожнения и наполнения водохранилища, от которой зависит устойчивость верхового откоса; скорость не должна превышать коэффициент фильтрации грунта, слагающего откос плотины $v_г \leq K_ф$ (например, для морены $K_ф = 10^{-4}$ см/с, $v_{доп} \leq 10$ см/сут);

содержание твердых частиц грунта в фильтрующейся воде (мутность) $M_{нат} \leq M_{вдхр}$, т.е. содержание по весу частиц грунта в очагах выхода на поверхность меньше содержания частиц в воде водохранилища;

положение поверхности депрессии, которое определяется из условий устойчивости откосов для сооружений разного класса в зависимости от особенностей конструкции и геотехнических характеристик грунтов тела и основания. Так, участок высачивания фильтрационного потока на низовом откосе плотины должен быть защищен от промерзания;

фильтрационные расходы, найденные по максимально наблюденным их значениям за период эксплуатации или по расходам, рассчитанным при максимальных для данных грунтов коэффициентах фильтрации, допустимых значениях градиентов напора в определенных границах области фильтрации;

эффективность работы дренажа по перехвату и отводу воды, профильтровавшейся через тело и основание плотины, которая оценивается по положению уровня воды в дренаже или за ним; критерий предельного расхода воды трубчатого дренажа определяется пропускной способностью трубы по соответствующим формулам;

местную фильтрационную прочность сооружения и оснований - градиент напора в конкретной локальной области фильтрации, определяемый в натуре ($J_{нат}$); из всех областей фильтрации в сооружении выбираются участки наименее устойчивые к суффозии с максимальными градиентами напора, которые сравниваются с допустимыми значениями ($J_{доп}$) из СНиП для данного состава грунта;

эффективность работы противофильтрационных устройств (понур, экран, ядро, диафрагма) – гашение напора на вышеназванной преграде и его неизменность во времени.

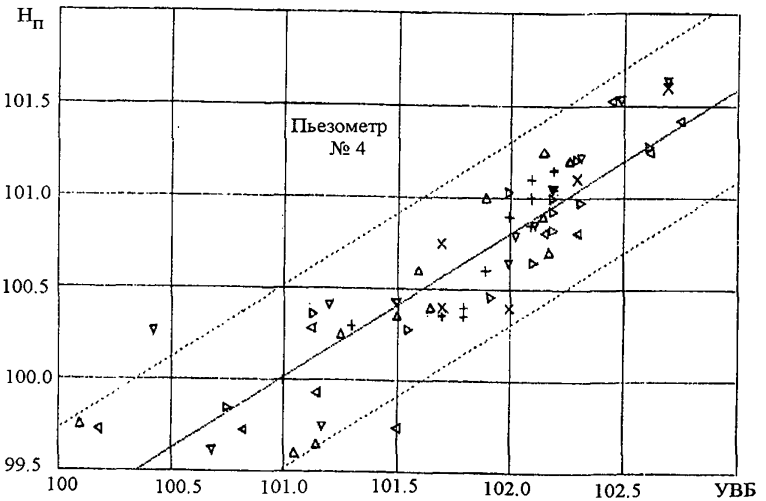


Рис.6. График зависимости пьезометрического уровня от уровня верхнего бьефа
× - 1983 г.; + - 1984 г.; Δ - 1986 г.; ∇ - 1989 г.; ◁ - 1991 г.; ▷ - 1992 г

4.7. Эффективными методами анализа результатов натурных наблюдений за фильтрационным режимом являются методы регрессионного анализа. Установление зависимостей между определяемыми параметрами с помощью аппроксимации линейными функциями сводится к получению доверительного интервала изменения наблюдаемой величины.

Устойчивое отклонение наблюдаемых величин от доверительного интервала в ту или другую сторону анализируется и выявляются возможные причины отклонений. Так на приведенной (рис.6) в качестве примера зависи-

мости $H_п = f(УВБ)$ отклонение значения пьезометрического напора выше доверительного интервала свидетельствует о повышении водопроницаемости верхового клина плотины, а ниже - об уменьшении проницаемости (кольматаже) верхового клина или ухудшении состояния фильтра пьезометра. Проверка правильности предположения проводится по результатам наблюдений за изменениями других параметров. Подобные графики связи (рис.6) рекомендуются в качестве критериальных при проведении дальнейших наблюдений на сооружениях.

В результате анализа данных многолетних наблюдений с учетом особенностей объекта выявляются причины возможных нарушений критериальных зависимостей и даются практические рекомендации по их устранению или (в случае недостаточности данных) по получению дополнительной информации об объекте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аравин Б.И., Носова О.Н.** Натурные исследования фильтрации (теоретические основы). - Л.: Энергия, 1969.

2. **Разработка** каталога по выбору рациональных конструкций пьезометров для трещиноватых скальных оснований: Научные исследования по гидротехнике в 1969 г. / ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. - Л., 1970.

3. **Петрашень Р.Н.** Чувствительность пьезометров бетонных гидротехнических сооружений. // Труды Гидропроекта.- 1963.- № 8.

4. **Каныгин Л.Е.** Проверка контрольно-измерительной аппаратуры для фильтрационных наблюдений // В сб. "Эксплуатация гидротехнических сооружений электростанций (обмен опытом)". - М.: Энергия, 1977. - С. 95-107.

5. **Носова О. Н., Марголина О.Г., Шумков Р.В.** Автоматизация натурных наблюдений за фильтрацией. // Обзорная информация. . (Серия Гидроэлектростанции, вып. 4).- М.: Информэнерго, 1986.

6. **Носова О.Н., Марголина О.Г.** Опыт 30-летней эксплуатации грунтовой плотины Верхне-Свирской ГЭС. // Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева: Сборник научных трудов.- 1987.- Т.203.- С.5-10.

7. **Жиленков В.Н.** Проектирование оснований гидротехнических сооружений. Разделы 2, 8 и 4 Пособия к СНиП П-16-76: П-13-83 / ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева.- 1984.

8. **Фильтрационные** исследования плотин и их оснований. Аналитический обзор материалов XII международного конгресса по большим плотинам, вып. 6. - Л.: Энергия, 1981.

9. **Василевский А.Г., Некрасов Ю.Д., Добрынин С.Н.** Автоматизация диагностического контроля состояния сооружений // Гидротехническое строительство.- 1991.- № 2.- С. 20-24.

10. **Радкевич Д.В., Хейфиц В.З.** Автоматизированные системы контроля состояния плотины. // Гидротехническое строительство.- 1991.- № 1.- С.29-32.

11. **Василевский А.Г., Добрынин С.Н., Тихонова Т.С., Шульман С.Г.** Комплекс банков данных информационно- аналитического обеспечения натурных наблюдений на гидроузле. // Гидротехническое строительство.- 1996.- № 4.- С.44-47.

12. **Лобач А.А., Блинов И.Ф., Магрук В.И., Родионов В.Б.** Компьютеризация надзора за состоянием сооружений Загорской ГАЭС. // Гидротехническое строительство.- 1996.- № 4.-С.41-44.

13. **Современные** тенденции контроля фильтрационного режима при оценке надежности гидротехнических сооружений. // Энергетика и электрификация. Серия 2. М., 1985.- вып. 1.

14. **Натурные** исследования фильтрации в плотинах эксплуатируемых гидроузлов. Инфорэнерго, серия "Гидроэлектростанции", обзорная информация, вып. 1. - М., 1992.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Общие положения 4
2. Конкретные задачи и методы диагностического контроля характеристик фильтрационных потоков в теле и основании грунтовой плотины 7
3. Технические особенности наблюдений за фильтрационным состоянием грунтовой плотины 13
4. Сбор, обработка и анализ результатов натурных наблюдений за фильтрацией 22
Список использованной литературы 28

Редактор *Т. С. Артюхина*
Технический редактор *Т. М. Бовичева*
Компьютерная верстка *Н. Н. Седова*

Лицензия ЛР № 020629 от 14.01.98.
Подписано в печать 28.02.2000. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Печ.л. 2,0. Тираж 300. Зак. 38.

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

gost.e-ecolog.ru