

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО НАТУРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ ФИЛЬТРАЦИИ
В ТРЕЩИНОВАТЫХ СКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ
(в том числе с применением радиоактивных изотопов)

ВСН 33-70
Минэнерго СССР

Составлены во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники им. Б. Е. Веденеева и утверждены Главтехстройпроектом Минэнерго СССР

«ЭНЕРГИЯ»
Ленинградское отделение
1971

СОДЕРЖАНИЕ

- [1. Общие положения](#)
- [2. Организация наблюдений за фильтрацией](#)
- [3. Проведение наблюдений фильтрационного режима](#)
- [4. Обработка и анализ результатов натуральных наблюдений](#)
- [5. Составление заключения о состоянии сооружений и их оснований](#)

[Приложения](#)

- Приложение I. Контрольно-измерительная аппаратура для исследований фильтрационного режима
- Приложение II. Снятие отсчетов по контрольно-измерительным приборам и первичная обработка данных замеров
- Приложение III. Основные виды графической обработки результатов натуральных наблюдений
- Приложение IV. Основы опытного определения скоростных характеристик фильтрационного потока с помощью индикаторов
- Приложение V. Краткие сведения о состоянии вопроса применения методов статистического анализа при натуральных исследованиях фильтрации
- Приложение VI. Конкретные примеры применения рекомендуемой в указаниях методики расчета
- Приложение VII. Рекомендуемые формы регистрации натуральных данных

[Литература](#)

ПРЕДИСЛОВИЕ

В практике современного гидростроительства нередко приходится сталкиваться со случаями возведения сооружений на основаниях, слагаемых трещиноватыми породами. Фильтрационный

расчет таких сооружений вызывает некоторые затруднения, поскольку теория фильтрации воды в трещиноватых средах разработана еще недостаточно. В таких условиях, т. е. при недостаточной обоснованности основных расчетных предпосылок, при высокой неоднородности фильтрационной среды, правильность постановки натуральных исследований фильтрации приобретает особое значение.

Изучение результатов натуральных наблюдений фильтрационных потоков в трещиноватых средах показывает, что эти потоки обладают некоторой спецификой, которую следует учитывать как при организации натуральных наблюдений, так и при интерпретации натуральных данных. Для обеспечения высокого качества исследований массового характера, выполняемых при осуществлении фильтрационного контроля на гидросооружениях, указанная специфика потоков должна быть отражена в соответствующих нормативных документах.

Настоящие методические указания составлены на основании опыта работ по натурным исследованиям фильтрации в трещиноватых породах Камского, Братского, Иркутского и Плявиньского гидроузлов, проводившихся в 1961 — 1968 годах Лабораторией натуральных исследований ВНИИГ.

В методических указаниях излагаются вопросы общей организации контроля фильтрации в трещиноватых породах, приводятся рекомендации по способам использования статистических методов анализа для интерпретации результатов натуральных наблюдений фильтрации на гидроузлах, даются рекомендации по методике экспериментального изучения фильтрационных потоков при помощи скважин с удлиненными водоприемниками. Материал, приведенный в основной части методических указаний, рассчитан на читателя, знакомого с терминологией и понятиями, используемыми в гидротехнике, а сведения справочного характера из теории фильтрации даются в п. 1 методических указаний и в приложениях. Кроме того, в приложениях приводятся некоторые сведения о принципах статистической обработки материалов наблюдений и конкретные примеры использования рекомендуемой методики анализа натуральных данных.

Методические указания составлены ст. н. с. к. т. н. О. И. Носовой. В подготовке и оформлении материалов к методическим указаниям принимали участие ст. инженеры Л. Г. Егорова, О. Г. Марголина, В. П. Узлянер, Г. Ф. Цареградская и инженер М. Г. Сологуб. Ст. инженером В. П. Узлянером составлено приложение VII, в котором рассматривается применение перфокарт для регистрации натуральных данных.

В обсуждении первой редакции методических указаний принимали участие сотрудники НИС Гидропроекта, ВНИГРИ, Ленинградского горного института и Иркутской ГЭС. Все дополнения и изменения учтены при составлении окончательной редакции.

Поскольку методические указания являются первым нормативным документом в области натуральных исследований фильтрации в трещиноватых скальных основаниях, желательны уточнение и дополнение этого документа по мере накопления опыта работы в данной области. ВНИИГ просит направлять все замечания и предложения по адресу: 194220 Ленинград, Гжатская ул., д. 21, ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева.

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР	Ведомственные строительные нормы	ВСН 33-70
	Методические указания по натурным исследованиям фильтрации в трещиноватых скальных основаниях (в том числе с применением радиоактивных изотопов)	Минэнерго СССР

Всесоюзный Научно-исследовательский Институт гидротехники Имени Б.Е.Веденеева	Утверждены Главтехстройпроектом Минэнерго СССР 15 апреля 1970 г.	Срок Введения Сентябрь 1970 г.
--	---	--------------------------------------

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Область применения

1.1. В настоящих методических указаниях рассматриваются общие правила организа-

ции, проведения и интерпретации результатов натуральных наблюдений фильтрации и трещиноватых основаниях гидротехнических сооружений I, II и III классов капитальности. Методические указания распространяются на натурные наблюдения, проводимые в период строительства и эксплуатации сооружения. На основе данных методических указаний с целью обеспечения необходимой полноты и оперативности фильтрационного контроля на гидроузлах должны разрабатываться рабочие инструкции, учитывающие местные условия.

1.2. Методические указания предназначены для сотрудников проектных и научно-исследовательских организаций и для инженерного персонала гидроцехов или гидротехнических служб на гидроузлах.

Основные понятия и определения

1.3. Залегающие в верхней части земной коры горные породы (грунты), имеющие пористое или трещиноватое строение, могут насыщаться водой. Насыщенные водой пласты горных пород называются водоносными, а движение жидкости и пористых и трещиноватых средах называется фильтрацией.

1.4. При расчетах реальный многосвязный поток принято заменять некоторым сплошным фиктивным потоком жидкости, физико-химические характеристики которой и расход те же, что и жидкости в реальном потоке. Такой фиктивный поток, занимающий все пространство, заполненное фильтрующей средой и фильтрующейся жидкостью, называется фильтрационным потоком.

1.5. В процессе фильтрации вода способна оказывать механическое, физико-химическое и биологическое воздействие на грунт, а также на возведенные на этих грунтах гидротехнические сооружения. В частности, фильтрационный поток оказывает на грунт и сооружения фильтрационное взвешивающее давление. Это явление складывается из гидростатического и гидродинамического давления. Последнее обусловлено процессом фильтрации.

1.6. Процесс удаления из грунта отдельных его составляющих называется суффозией. Различают механическую суффозию, когда этот процесс ограничивается выносом отдельных частиц грунта потоком, и химическую, когда имеет место растворение и выщелачивание растворимых включений в грунте. Процесс отложения твердых частиц в грунте называется кольматажем. Нарушение структуры грунта под действием взвешивающего давления называется выпором.

Терминология и обозначения

1.7. Скоростью фильтрации называется объем жидкости, фильтрующейся в единицу времени через единицу площади некоторого сечения, приведенного в пространстве, занятом пористой средой и жидкостью. Средняя скорость движения реальной жидкости в порах или трещинах называется истинной скоростью потока. Истинная скорость потока определяется отношением объема фильтрующейся жидкости к площади сечения, занятой этой жидкостью:

$$v = m u,$$

где v — скорость фильтрации; u — истинная скорость потока; m — пористость или трещиноватость грунта.

1.8. Коэффициентом фильтрации называется коэффициент пропорциональности в выражении, характеризующем линейную зависимость скорости фильтрации v от градиента напора J (закон Дарси):

$$v = k J.$$

1.9. Пьезометрический напор в некоторой точке потока определяется как

$$h = z + \frac{p}{\gamma}$$

где z — отметка, определяющая положение точки по отношению к выбранной плоскости сравнения, или иначе геометрическая высота; p — давление в указанной точке; γ — удельный вес жидкости; p/γ — пьезометрическая высота.

Приведенный пьезометрический напор равен

$$h_{\text{п.д.}} = \frac{h - z_{\text{н.б.}}}{H} 100\%$$

где H — напор, действующий на сооружение; $z_{\text{н.б.}}$ — уровень нижнего бьефа.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ФИЛЬТРАЦИЕЙ

2.1. Натурные наблюдения процессов фильтрации, составляющие основу фильтрационного контроля, являются одним из важнейших элементов общей системы обязательных натурных наблюдений на гидросооружениях. Систематические наблюдения фильтрации на сооружениях, начиная с III класса, следует организовывать с начала строительства [13]. На сооружениях низших классов необходимость наблюдений определяется в каждом отдельном случае проектной организацией.

2.2. В задачи контроля фильтрации на гидроузлах входит оценка фильтрационного режима в данных конкретных условиях, сопоставление этого режима с режимом, ожидаемым по расчетам, выявление причин замеченных отклонений существующего в действительности режима от проектных предположений и прогнозирование вероятных изменений существующего режима фильтрации в дальнейшем.

2.3. В соответствии с терминологией, принятой в «Указаниях по организации и проведению натурных исследований на гидротехнических сооружениях» («Энергия», М.-Л., 1964), наблюдения за фильтрацией можно разделить на контрольные и специальные [13].

2.4. Контрольные наблюдения фильтрации, осуществляемые с целью текущего строительного и эксплуатационного контроля за состоянием сооружения, являются обязательными для всех сооружений, начиная с III класса (п. 2.1). Состав контрольных наблюдений определяется проектной или научно-исследовательской организацией с учетом конкретных особенностей данного объекта. Обычно к контрольным наблюдениям относятся наблюдения, осуществляемые практически без вмешательства в существующий фильтрационный режим.

2.5. Специальные исследования проводятся с целью изучения процессов фильтрации в сложных условиях для решения или уточнения отдельных вопросов (например, для уточнения картины фильтрации и для оценки водопроницаемости пород).

К специальным исследованиям относятся все виды наблюдений, не считающихся обязательными для текущего контроля, в частности, любые опытно-фильтрационные работы, связанные с существенным изменением фильтрационного режима во время испытания. Постановка этих исследований в каждом отдельном случае должна быть обоснована проектом или специальной технической программой, составленной проектной или научно-исследовательской организацией.

2.6. В конкретные задачи контрольных наблюдений фильтрации входит определение фильтрационных расходов, противодействия, фильтрационных характеристик пород, формы потока напора, эффективности дренажных и противифльтрационных устройств, а кроме того, при необходимости определение состава потока и его температуры.

2.7. Путем контрольных наблюдений должны быть определены следующие основные факторы:

- а) давление и напор по контуру сооружения и во всех фильтрующих прослойках сооружения;
- б) расходы дренажных устройств;
- в) скорости фильтрационного потока;
- г) химический состав воды потока;

- д) температура воды верхнего и нижнего бьефа, подземного потока, температура воздуха;
- е) содержание газов в воде потока;
- ж) состояние грунта.

Состав и объем наблюдений устанавливаются в проекте в зависимости от типа, характера и условий эксплуатации сооружения [3].

2.8. Контроль фильтрационного режима проводится по данным наблюдений как в потоке, так и в местах выхода потока на дневную поверхность. Основными измерительными приборами при измерениях непосредственно в потоке являются пьезометры и пьезодинамометры. Проект размещения пьезометров составляется проектной организацией. При составлении проекта размещения пьезометров необходимо руководствоваться «Указаниями по составлению проекта размещения контрольно-измерительной аппаратуры» («Энергия», 1965).

2.9. Количество наблюдательных точек и порядок размещения их определяются двумя факторами, а именно: формой подземного контура и фильтрационной неоднородностью пород.

Конструкция пьезометров определяется в соответствии с задачами исследований и местными условиями. В качестве общей особенности конструкции пьезометров, используемых в трещиноватых породах с малой степенью трещиноватости, можно указать только на значительную длину водоприемников пьезометров, превышающую в 3—5 раз соответствующий размер водоприемников пьезометров в пористых средах (приложение I). Кроме того, пьезометры в крепких скальных и полускальных породах могут устанавливаться без фильтра.

2.10. Замеры и первичная обработка результатов наблюдений должны проводиться сотрудниками специально создаваемой в период строительства группы натуральных наблюдений, а затем эксплуатационным персоналом ГЭС. Наблюдения проводятся по специальной рабочей инструкции, учитывающей конкретные особенности изучаемого объекта, имеющуюся аппаратуру и т. д. Такая инструкция составляется проектной или соответствующей научно-исследовательской организацией. Сотрудники, ответственные за наблюдения, должны систематически проходить инструктаж. В случае необходимости авторский надзор за закладкой пьезометров, проведением наблюдений и т. д. осуществляется организацией, выполнявшей проект, или какой-либо специализированной научно-исследовательской организацией.

2.11. Опытно-фильтрационные работы при эксплуатации, требующиеся для уточнения картины фильтрации и для оценки водопроницаемости пород, проводятся обычно по специальным рекомендациям проектной или научно-исследовательской организации.

2.12. Общая обработка и анализ результатов наблюдений проводятся научно-исследовательской и проектной организацией или гидроцехом по рабочей инструкции, разработанной этими организациями. Подведение итогов наблюдений должно осуществляться не реже одного раза в год.

2.13. Рабочая инструкция составляется по произвольной форме, однако при этом она должна удовлетворять определенным требованиям. При составлении инструкции следует учитывать конкретные условия, для чего полезно прилагать к инструкции описание объекта (краткие сведения). В инструкции должны быть последовательно рассмотрены все необходимые виды наблюдений и указаны способы их осуществления. Некоторые виды наблюдений проводятся специальными службами. Результаты этих наблюдений могут заимствоваться гидроцехом, например, сведения о температуре воздуха, воды. Для специальных исследований целесообразно привлекать научно-исследовательские организации.

Для определения общего состава и конкретных сроков наблюдений, предусмотренных рабочей инструкцией, для установления рациональной методики: проведения отдельных наблюдений, таких, как измерения дебитов пьезометров (приложение 11.2) и т. д., следует проводить специальные экспериментальные, а иногда и теоретические исследования.

3. ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА

А. Контрольные наблюдения ¹

3.1. Контрольные наблюдения фильтрационного режима на гидротехнических сооружениях осуществляются визуально и инструментально, т. е. с помощью соответствующих измерительных приборов.

3.2. Визуальные наблюдения проводятся при осмотре сооружений, прилегающей к ним территории, берегов рек и водохранилищ и т. д. Подробный перечень конкретных объектов, подлежащих визуальному осмотру для каждого отдельного случая, должен быть приведен в рабочей инструкции.

3.3. Визуальные осмотры можно разделить на текущие и полные.

Текущие осмотры обычно выполняются попутно со снятием замеров по контрольно-измерительной аппаратуре. Регистрация результатов осмотра проводится в специальном журнале (приложение VII).

Полные визуальные осмотры проводятся специальной комиссией, состав которой утверждается главным инженером ГЭС. Частота полных осмотров не менее трех раз в год. Сроки осмотров устанавливаются применительно к местным климатическим и гидрологическим условиям.

3.4. Во время осмотров следует обращать внимание на общее состояние сооружений с точки зрения доступности наружных поверхностей для поверхностного осмотра. Недопустимо, например, захламливание территории мусором, строительным материалом и т. д. Во время осмотра должны отмечаться различные формы выхода грунтовых вод на дневную поверхность, как-то: заболачивание, грифоны, ручьи, капез, намокание, отпотевание; состояние растительного покрова, наличие трещин и повреждений осматриваемых поверхностей, размывы, оползни, просадки грунта, появление продуктов выноса или выщелачивания, выделение газов и т. д.

¹ К рассматриваемым ниже видам натуральных наблюдений отнесены наблюдения, обычно входящие в состав контрольных наблюдений, осуществляемых на гидроузлах. Опыты с индикаторами, которые, как правило, включают в состав специальных наблюдений, приведены в отдельном пункте данного раздела, а опытно-фильтрационные работы, связанные с активным вмешательством исследователей в фильтрационный режим, здесь вообще не рассматриваются. Сведения и них приводятся в специальной гидрогеологической литературе [4], [11].

3.5. Инструментальные наблюдения проводятся для определения пьезометрического напора, давления, фильтрационных расходов, скоростей, химического состава потока, температуры воды, общего состояния и водопроницаемости грунта, различных деформаций основания и сооружений. В зависимости от вида изучаемого фактора инструментальные наблюдения могут проводиться как непосредственно на участке исследования, так и путем лабораторного анализа образцов изучаемой среды. Непосредственные измерения осуществляются с помощью пьезометров, различных мерных устройств, устанавливаемых в местах сосредоточенного выхода потока на поверхность и т. д. Для непосредственных наблюдений используются осадочные марки, щелемеры, клинометры, отвесы, пьезодатчики и другие приборы и устройства (приложение I). В лабораторных условиях обычно выполняются анализы химического состава проб воды, отобранных из изучаемого потока, образцов грунта, проб газа.

3.6. Измерения расхода в местах сосредоточенного выхода потока проводят с помощью водосливов, мерных сосудов, гидрометрических вертушек, поплавков, а также по производительности насосов, откачивающих воду, и т. д. Соответствующий способ измерений выбирается с учетом конкретных условий.

3.7. Измерения пьезометрического напора осуществляются по данным об уровнях воды в пьезометрах. Измерения положения уровней воды в открытых пьезометрах проводятся с помощью специальных уровнемеров, а в напорных пьезометрах — манометрами (пружинным или ртутным). Для непрерывной записи наблюдений могут применяться самописцы (приложение I).

3.8. В тех случаях, когда пьезометры не могут быть напорными, а установка безнапорных пьезометров неприемлема по гидрогеологическим показателям грунтов для изме-

рения порового давления, используются специальные датчики, закладываемые в толщу грунта — пьезодинамометры (приложение I).

3.9. Для измерения деформаций сооружений, раскрытия швов, трещин используются визирные знаки, триангуляционные марки, отвесы, щелемеры, клинометры.

3.10. Осадки сооружений определяются путем геометрического нивелирования высотных и глубинных осадочных марок. Иногда применяется гидростатическое нивелирование.

3.11. Состояние пород может оцениваться путем отборов кернов грунта или путем снятия кавернограмм и фотографирования стенок скважин. При исследовании керна рационально изучать визуально микротрещиноватость в шлифах под микроскопом. В отдельных случаях целесообразно проводить каротаж скважин геофизическими методами (ультразвук, электроразведка, гамма-каротаж, способ определения мест притока воды геофизическим путем).

3.12. Водопроницаемость грунта оценивается по данным наблюдений за расходами и скоростями существующего фильтрационного потока, а также по данным о результатах искусственного воздействия на поток. Наиболее доступным способом такого опробования водопроницаемости грунта являются: опытные откачки, наливывы и нагнетания, причем для этих целей могут использоваться наблюдательные скважины и пьезометры. Некоторые сведения о водопроницаемости грунта можно получить и в результате наблюдений за пьезометрическими напорами в период неустановившейся фильтрации.

3.13. Измерение скоростей фильтрации в потоке обычно проводится с помощью различных индикаторов (см. п. Б), однако, при благоприятных условиях для измерения скоростей потока в скважинах могут также применяться высокочувствительные гидрометрические вертушки.

3.14. Химический состав потока, как правило, определяется путем анализа проб воды, отобранных из пьезометров. В отдельных случаях для приближенной оценки степени минерализации потока применяются методы геофизической разведки, например, электрометрический метод.

3.15. Дебиты пьезометров определяются в процессе опытных откачек пьезометров (или нагнетаний), осуществляемых с целью оценки водопроницаемости пород. Дебиты пьезометров измеряются объемным способом по специально разработанной методике, учитывающей местные условия и предусматривающей возможно меньшее воздействие на поток откачки пьезометров или нагнетания воды в них (приложение II).

3.16. Газовыделение из воды потока регистрируется путем анализа проб, отобранных в месте выделения газа.

3.17. Измерения температуры потока проводятся с помощью специальных термометров, опускаемых в открытый пьезометр или в пробу воды, отобранную из напорного пьезометра.

3.18. Рациональные сроки наблюдений устанавливаются в соответствии с типом и характером изучаемого объекта после соответствующих рекогносцировочных исследований в течение первых лет жизни сооружений. Некоторые соображения относительно правил выбора рациональных сроков наблюдений приводятся в приложении V.

3.19. В первом приближении можно рекомендовать следующие сроки проведения наблюдений: а) замеры пьезометрических уровней от двух до трех раз в месяц при установившемся режиме, а при резких изменениях бьефов — ежедневно; б) измерения по щелемерам один — два раза в месяц; в) измерения дебитов пьезометров один — два раза в год; г) измерения расхода дренажных устройств один раз в месяц; д) отборы проб для определения химического состава потока один — два раза в год; е) отборы проб для определения газосодержания один раз в квартал.

3.20. Непосредственно после снятия замеров проводится первичная обработка результатов измерения. Первичная обработка данных натуральных наблюдений состоит в определении искомого параметра (например, пьезометрического напора, давления, удельного дебита и т. д.) по результатам непосредственных измерений, с учетом особенностей измерительных приборов.

3.21. По результатам первичной обработки натуральных данных следует составлять следующие документы: а) ведомости пьезометрического напора; б) ведомости с общими сведения-

ми, в которые входят уровни бьефов и температура; в) ведомости дебитов пьезометров; г) ведомости фильтрационных расходов; д) ведомости показаний щелемеров; е) ведомости осадок и деформаций; ж) ведомости результатов химического анализа; з) журнал наблюдений за сооружениями.

Рациональная форма составления указанных документов приводится в приложении VII (приводятся выборочные данные).

Б. Опыты с индикаторами

3.22. При натуральных исследованиях фильтрации опыты с индикаторами проводятся для определения скоростных характеристик потока. К скоростным характеристикам потока, определяемым с помощью индикаторов, относятся: скорость фильтрации, скорость потока и направление потока.

3.23. Для определения скорости фильтрации применяется способ пусковых скважин. В этом случае величина скорости фильтрации устанавливается расчетным путем, по данным об интенсивности разбавления индикатора и пусковой скважине.

3.24. Для определения направления и истинной скорости потока применяется способ наблюдательных скважин. Направление потока устанавливается по данным о появлении индикатора в скважинах, расположенных ниже по течению потока. Истинная скорость потока определяется расчетным путем на основании сведений о времени появления индикатора в наблюдательной скважине.

3.25. В условиях гидротехнических сооружений для опытов с индикаторами следует использовать существующую пьезометрическую сеть. Бурение новых скважин проводится только в тех случаях, когда экспериментально установлено, что имеющихся пьезометров для исследования недостаточно. В дальнейшем эти новые скважины обычно оборудуются в виде пьезометров.

3.26. В зависимости от задач и конкретных условий экспериментирования опыты с индикаторами имеют самостоятельное значение или являются одним из звеньев более широких комплексных исследований. Основными разновидностями опытов с индикаторами являются:

- а) определение скоростей фильтрации способом пусковых скважин в пьезометрах точечного типа;
- б) определение скоростей фильтрации способом пусковых скважин в пьезометрах с длинными водоприемниками, контролирующими поток, у которого в вертикальном направлении напор практически постоянен (выполняются условия плановой фильтрации);
- в) определение скоростей фильтрации комплексным способом с помощью пьезометров с длинными водоприемниками, контролирующими поток с изменяющимся по вертикали напором;
- г) определение скоростей фильтрации потока минерализованных вод комплексным способом с помощью пьезометров с длинными водоприемниками;
- д) определение скоростей движения воды в порах (трещинах) грунта способом наблюдательных скважин в условиях естественного потока;
- е) определение скоростей движения воды в порах (трещинах) грунта способом наблюдательных скважин во время пробных откачек и нагнетаний.

Некоторые подробности методики проведения опытов с индикаторами приводятся в приложении IV, а также в ряде руководств [8], [15].

3.27. Для определения скоростных характеристик потока в качестве индикаторов могут применяться различные вещества. Выбор индикатора, наиболее подходящего для целей исследования, и расчет величины пусковой порции осуществляется с учетом местных условий и избранной методики проведения опытов.

4. ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

4.1. Результаты натуральных наблюдений после первичной обработки (приложение II), представленные сведениями о напорах, дебитах, скоростях, температурах и т. д., для анализа их должны быть подвергнуты дальнейшей обработке.

4.2. Под обработкой результатов натуральных наблюдений понимают представление натуральных данных в удобной для анализа форме. Виды обработки, используемой в фильтрационных исследованиях, весьма разнообразны, и выбор конкретного вида обработки в значительной степени зависит от общего характера изучаемого процесса, что определяется путем анализа. Поскольку обработка и анализ натуральных данных являются тесно связанными процессами, целесообразно проводить изучение натуральных данных по отдельным этапам.

В задачи первого этапа исследования входит прежде всего оценка достоверности и систематизация имеющейся информации, выявление резких изменений изучаемого режима фильтрации, если таковые имели место, и представление натуральных данных в виде, допускающем сопоставление их с данными наблюдений за предшествующие периоды, а также определение форм обработки и анализа натуральных данных на втором этапе исследований.

На втором этапе исследования проводится детальное изучение систематизированных материалов, в результате которого дается оценка существующему режиму, выявляются незначительные по величине изменения режима, определяется характер произошедших изменений, вскрываются причины этих изменений и в случае необходимости разрабатываются рекомендации по мерам поддержания нормальных условий эксплуатации на изучаемых объектах.

При обнаруживании на сооружении наличия процессов суффозии или кольматажа проводится и третий этап исследований, целью которого является прогноз возможных изменений фильтрационного режима в дальнейшем.

Первый этап исследований

4.3. Для анализа данных натуральных наблюдений с целью определения достоверности и полноты полученной информации все имеющиеся сведения о фильтрационном режиме должны быть систематизированы и в случае необходимости обобщены. Большой эффект при систематизации и обобщении натуральных данных дает использование статистических методов анализа.

4.4. Для облегчения систематизации натуральных данных после первичной обработки строятся соответствующие графики (приложение III), даются количественные оценки произошедших в отдельных наблюдательных точках изменений наблюдаемых величин в пространстве и времени.

4.5. Наиболее общими операциями обработки являются:

а) составление специальной ведомости, в которой должны быть указаны в хронологическом порядке как все особенности работы сооружений в течение отчетного периода, так и работы, производившиеся за это время на территории гидроузла, проведение которых могло сказаться на фильтрационном режиме;

б) построение графиков колебаний уровней бьефов;

в) построение графиков температуры воды и воздуха;

г) построение графиков колебаний уровней воды в пьезометрах (приложение III.1);

д) вычисление и построение графиков приведенного пьезометрического напора (приложение III.2);

е) построение графиков фильтрационного расхода (приложение III.6);

ж) построение графиков осадок (приложение III.7);

з) построение графиков раскрытия швов (приложение III.7).

4.6. С помощью графиков, перечисленных в п. 4.5, следует рекогносцировочно в первом приближении оценить характер зависимости локально измеряемых параметров от времени и места расположения наблюдательных точек.

4.7. При анализе зависимости измеряемых в отдельных точках параметров (т. е. пьезометрического напора, давления, скоростей и т. д.) от времени следует прежде всего

установить степень изменчивости внешних факторов, определяющих режим фильтрации, например, изменения уровней бьефов с течением времени, периодичность работы дренажных устройств и т. д. В дальнейшем при оценке изменений указанных параметров во времени следует отмечать степень связанности этих изменений с действием внешних факторов.

4.8. Для анализа показаний большого количества приборов, установленных в отдельных наблюдательных точках, эти показания должны быть сгруппированы по признакам территориальной общности (например, по водоносным горизонтам, по литологии пород в месте установки водоприемников пьезометров или по расстоянию от напорного фронта). Для выделения таких признаков следует оценить зависимость измеряемых "величин от местоположения наблюдательных точек. После группировки необходимо выделить показания тех приборов, у которых закономерности изменения измеряемых величин существенно отличаются от закономерностей изменения этих величин в смежных наблюдательных точках. Аномальные показания следует по возможности подвергнуть дополнительному изучению (например, проверить исправность приборов, провести повторные замеры и т. д.)

4.9. В результате исследований первого этапа следует выявить необходимость определения обобщенных параметров, характеризующих режим в целом, и проведения подготовительной работы для выбора и определения состава этих параметров. Для этой цели совокупность значений измеряемого фактора (напор, давление, коэффициент фильтрации и т. д.) рассматривается как совокупность значений некоторой случайной величины. Из курса теории вероятности известно, что такие совокупности могут быть достаточно полно охарактеризованы малым количеством параметров (таких как математическое ожидание, дисперсия и т. п.).

4.10. Обобщенные параметры служат для общей характеристики изучаемого режима с целью сопоставления его с проектными проработками и для количественной характеристики происходящих изменений фильтрационного режима.

¹ Перечисленные в п. 4.5 графики строятся во времени.

4.11. Наиболее распространенными характеристиками сооружения, представляющими собой обобщенные параметры, являются:

- а) фильтрационный расход через сооружение;
- б) осредненные значения коэффициента фильтрации и водопроницаемости изучаемого массива;
- в) общее фильтрационное давление на сооружение;
- г) осредненные характеристики химического состава потока;
- д) количественные характеристики эффективности противofильтрационных и дренажных устройств.

Указанные параметры могут рассматриваться как функции объема площади или времени, а также всех этих факторов вместе. Осреднение во времени естественно применимо только для часто измеряемых величин, каковыми обычно являются напор, сведения о раскрытии швов и др.

4.12. Необходимость вычисления обобщенных характеристик возникает в тех случаях, когда в результате сопоставления выясняется, что значение заданного параметра (давления, расхода и т. д.) в отдельных наблюдательных точках превышает соответствующее значение, предусмотренное по проекту, а также во всех случаях, когда требуется качественная и количественная оценка наблюдаемых изменений заданных параметров с течением времени. Эти характеристики, изучаемые наряду с характеристиками режима в отдельных наблюдательных точках, имеют то преимущество, что дают наглядную характеристику сооружению в целом. Кроме того, обобщенные характеристики значительно меньше зависят от случайных ошибок измерений и позволяют выявить, аномальные отклонения измеряемых параметров.

4.13. Определение обобщенных характеристик следует проводить только для участков потока, обладающих гидравлической связностью при известной однородности условий фильтрации. Поэтому, как указано в п. 4.8., результаты наблюдений перед обобщением должны быть прежде всего сгруппированы на основании совершенно очевидных признаков общности, таких

как принадлежность к одному и тому же водоносному горизонту, сечения потока перед и после противодиффузионных и дренажных устройств и т. д. Перед расчетом обобщенных характеристик следует оценить однородность обобщаемых данных путем сопоставления значений обобщаемых величин между собой (например, очевидно, что обобщение теряет смысл, если в небольшой группе обобщаемых величин одна больше остальных на 2—3 порядка).

4.14. Однородными показаниями в первом приближении можно считать результаты измерений, которые допускают возможность статистической обработки. Одним из показателей такой возможности является ограничение разброса показаний от математического ожидания величиной 3σ , где σ — среднее квадратическое отклонение (приложение V). В тех случаях, когда рассматриваемые величины не удовлетворяют этому требованию, следует выяснить причины наблюдаемых отклонений.

4.15. При статистической обработке в качестве случайной величины можно рассматривать следующие показатели, а именно: абсолютную величину измеряемого параметра, скорость изменения этой величины в течение наблюдаемого промежутка времени, а также общее количество наблюдательных точек с тем или иным характером изменения изучаемой величины (приложения V и VI).

4.16. Для характеристики степени изменчивости измеряемой величины следует определять приращения изучаемых параметров за некоторый заданный промежуток времени (обычно за промежутки времени между регулярно осуществляемыми измерениями) и составлять соответствующие таблицы (приложения V и VI).

4.17. Путем изучения сведений об изменчивости обобщенных характеристик с течением времени оценивается количественно влияние упомянутых в п. 4.7. основных режимобразующих факторов на них, как-то: влияние изменения условий эксплуатации, климатических условий, уровней бьефов и т. д., и при наличии зависимости изучаемых параметров от этих факторов выбираются сопоставимые периоды работы сооружения. Сопоставимые периоды работ сооружения обычно выбираются в условиях установившейся фильтрации. Одним из основных показателей состояния установившейся фильтрации в натуральных условиях является стабильности значений напора, которую следует оценивать статистическим путем (приложение VI).

Второй этап исследований

4.18. В течение второго этапа исследований должны быть рассчитаны и изучены основные обобщенные параметры, выявленные на первом этапе. Конкретные примеры таких расчетов приведены в приложении VI.

4.19. Наиболее типичным обобщенным параметром является значение пьезометрического напора, средневзвешенное по некоторой площади или объему. При этом можно проводить осреднение как результатов разового измерения напора, так и средних значений для заданного периода наблюдений. Сведения об осредненных во времени значениях напора в отдельных наблюдательных точках используются для построения планов гидроизопьез и гидро-изогипс (приложение III.4). Осредненные во времени характеристики иногда используются и при изучении химического состава потока.

4.20. Осреднение по времени, а также по площади и по объему, проводится при определении диффузионного давления (приложение III.5).

Третий этап исследований

4.21. Третий этап исследований по своему характеру близок к периоду проектирования. Однако наличие довольно обширной информации о диффузионном режиме, накопившейся за период наблюдения, приводит к необходимости использования более сложных расчетных схем, чем это делается в период проектирования.

4.22. Задачи, возникающие на третьем этапе исследований, весьма разнообразны и имеют сугубо индивидуальный характер. При решении их могут использоваться различные

экспериментальные и теоретические методы. Весьма перспективным для этих целей является метод ЭГДА.

5. СОСТАВЛЕНИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ О СОСТОЯНИИ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ОСНОВАНИЙ

5.1. Общее заключение о состоянии исследуемых сооружений составляется на основании результатов анализа данных натурных наблюдений (п. 4).

5.2. В заключении о состоянии сооружений должны содержаться следующие материалы: а) оценка надежности и достаточности имеющихся данных натурных наблюдений; б) общее описание фильтрационного режима, включающее определение формы и направления фильтрационного потока; в) сведения об общих изменениях изучаемого режима с течением времени; г) детальная оценка основных показателей, характеризующих фильтрационный режим, таких как фильтрационные расходы и факторы, определяющие устойчивость сооружений и их оснований; л) оценка надежности работы сооружений путем сравнения натурных данных с проектными; е) выводы и рекомендации, предусматривающие обеспечение нормальных условий эксплуатации сооружения.

5.3. Оценка надежности (достоверности) имеющихся натурных данных выносится на основании сведений о методике проведения наблюдений и информации об аномальных значениях измеряемых величин (п. 4.10). Одним из способов выявления аномальных значений напора является, в частности, сопоставление графиков колебания уровней воды в пьезометрах с соответствующими графиками уровней бьефов (приложение III.1). Сомнительными значениями напора в первом приближении можно считать показания тех пьезометров, колебания уровней воды в которых без видимых причин по форме заметно отличаются от графиков уровней бьефов.

Особое внимание при оценке полноты имеющейся информации обращается на возможность сопоставления данных многолетних наблюдений и, в частности, на стабильность значения напора. Стабильность напора следует оценивать статистическим путем (приложение VI).

5.4. При наличии значительного количества недостоверных показаний или при существенной нестабильности напора заключение о состоянии сооружения и их основании сделать вообще невозможно или окончательные выводы являются условными.

5.5. Определение формы фильтрационного потока проводится на основании сведений о положении поверхности депрессии, планов гидроизопьез и гидроизогипс, а также сведений о наличии обособленных водоносных горизонтов. Сведения о положении поверхности депрессии в трещиноватых породах могут быть представлены уровнями воды в пьезометрах либо отметками сосредоточенного выхода струй на стенки пьезометрической скважины (приложение III.3). В последнем случае для более надежного контроля положения поверхности депрессии следует рекомендовать установку специальных пьезометров с водоприемниками, заложенными примерно на отметках появления струй.

Наличие гидравлической связи между отдельными горизонтами может быть установлено путем сравнительного анализа графиков приведенного пьезометрического напора, построенных по показаниям пьезометров обоих горизонтов. Для этих же целей могут быть использованы сведения о химическом составе потока, температуре, а также результаты специальных опытов с индикаторами.

5.6. Оценка фильтрационных расходов в основании и теле сооружений, а также в обход их проводится по данным о расходах дренажных устройств и скоростях фильтрации, а также по сведениям о значениях коэффициентов фильтрации и градиентах напора. При анализе условий работы сооружения на дренированном основании особое внимание следует обращать на возможность неконтролируемого сброса. В сложных случаях оценка величины фильтрационного расхода проводится с помощью специальных модельных исследований (например, использование методики ЭГДА).

5.7. Фильтрационный расход считается в пределах нормы, если он в целом стабилизиро-

вался и нет оснований предполагать, что он превосходит проектные значения. В противном случае, т. е. при существенном превышении контролируемым расходом величин, предусмотренных по проекту, следует оценить допустимость таких фильтрационных потерь с экономической точки зрения, а также проверить суффозионную устойчивость пород основания при фактически наблюдаемом расходе. Общее заключение о состоянии фильтрационного режима делается только после выяснения указанных вопросов.

5.8. Оценка устойчивости бетонных сооружений при воздействии на них фильтрационного потока проводится путем сопоставления эпюр противодействия с проектными эпюрами, а также путем анализа деформаций, осадок, фильтрационного расхода через сооружения и сведений о химическом составе потока.

5.9. Для оценки силового воздействия потока на бетонные сооружения эпюры противодействия могут строиться по максимальным значениям напора, когда-либо наблюдавшимся в показаниях контактных пьезометров в течение рассматриваемого промежутка времени (приложение III.5). Если при такой условной эпюре противодействие не превышает проектного значения, то заключение о благоприятных условиях работы сооружения может быть составлено сразу. В противном случае для составления заключения приходится анализировать весь цикл работы сооружения. Если превышение проектного значения противодействия действительно имеет место, то для составления заключения следует провести дополнительные расчеты по проверке устойчивости сооружения.

5.10. Устойчивость бетонных сооружений с точки зрения химического и механического воздействия потока при фильтрации через них считается обеспеченной, если деформации, осадки и фильтрационные расходы стабилизировались, не превышают или превышают незначительно проектные данные, а химический состав потока свидетельствует о затухании процесса выщелачивания бетона.

5.11. Устойчивость земляных сооружений не вызывает сомнений в том случае, если положение поверхности депрессии, расход через сооружение и осадки стабилизировались и не превышают проектных значений. При значительном превышении проектных величин или при наличии монотонно развивающихся нежелательных процессов, таких как прогрессирующие осадки, вынос грунта в местах разгрузки потока и т. д., окончательное заключение о состоянии сооружения можно принимать только после специальных исследований.

5.12. Оценка состояния противофильтрационных устройств (цементационных и шпунтовых завес, ядер плотин, понуров и т. д.) обычно проводится в основном по сведениям о пьезометрических напорах. Учитывая возможность локальных изменений фильтрационных свойств пласта по всей длине подземного контура заключение об эффективности противофильтрационных устройств следует делать на основании сведений о перераспределении напора только на участках, непосредственно прилегающих к данному противофильтрационному устройству (приложение VI). Эффективность противофильтрационных устройств оценивается путем сравнения результатов наблюдений в период установившейся фильтрации с проектными данными (при этом проектные данные должны приводиться к виду, сопоставимому с соответствующими натурными данными). Дополнительную информацию о состоянии противофильтрационных устройств дают сведения о химическом составе потока, скоростях потока и водопроницаемости. Эта информация особенно полезна для оценки изменения состояния противофильтрационных устройств с течением времени.

5.13. Заключение об удовлетворительном состоянии какого-либо противофильтрационного устройства делается при условии, что эффективность его более или менее близка к эффективности, предусмотренной по проекту, и в течение рассматриваемого промежутка времени не наблюдается прогрессирующего понижения противофильтрационных свойств изучаемого устройства.

5.14. Эффективность дренажных устройств оценивается отчасти по расходам, но главным образом, по размерам зоны активного влияния дренажа, характеризуемой общим понижением напора, а иногда и изменениями химического состава потока. Для характеристики влияния дренажных устройств в целом весьма полезными являются результаты статистической

обработки (приложения V, VI). Дренаж считается малоэффективным или неэффективным, если нет предусмотренного по проекту снижения напора вблизи дренажа. В общем случае, без специального расчета, при отсутствии проектных данных или теоретического прогноза вопрос о степени эффективности дренажа решить нельзя и можно только определить, работает ли дренаж.

5.15. Одним из основных вопросов определения состояния основания сооружений является оценка водопроницаемости пород основания. Кроме сведений о расходах, скоростях потока, дебитах пьезометров в качестве дополнительной информации о состоянии основания могут использоваться сведения об осадках, явлениях химической и механической суффозии и т.д.

5.16. Во многих случаях указателем возможных изменений водопроницаемости пород служат изменения формы потока и перераспределения напоров по длине потока. Основанием для заключения о повышении водопроницаемости пород основания сооружений является обнаружение следующих явлений: а) увеличения удельного расхода дренажных устройств при сохранении общих размеров зоны активного влияния дренажа; б) увеличения расхода через основания без повышения градиентов напора; в) увеличения скоростей фильтрации без увеличения градиента напора; г) повышения дебитов пьезометров.

Соответственно при уменьшении параметров, перечисленных в пунктах а)—г) когда все сделанные в этих пунктах оговорки в отношении градиентов напора остаются в силе, будет иметь место уменьшение водопроницаемости пород.

5.17. Увеличение водопроницаемости пород можно рассматривать как явление, благоприятное для условий работы сооружения только в том случае, если такие изменения произошли на участке разгрузки потока (при условии, что такое увеличение водопроницаемости не грозит размывами грунта в нижнем бьефе). Соответственно благоприятным фактором является кольматаж грунта в верховой и центральной части потока.

Во всех остальных случаях допустимость произошедших изменений водопроницаемости оценивается только после соответствующего расчета. Исключение из этого правила можно сделать лишь при очевидных доказательствах, что произошедшие изменения водопроницаемости дальнейшего развития не получают.

Следует отметить, что исчерпывающую оценку изменений притока воды к дренажу с течением времени можно проводить только в случаях, когда известна величина удельного расхода, т. е. расхода на 1 м понижения напора (приложение VI).

5.18. При выявлении на сооружении медленно изменяющихся процессов необходимо установить их направленность и оценить количественно интенсивность изменения основных параметров, характеризующих этот процесс. В тех случаях, когда развитие процесса приводит к уменьшению прочности сооружения, необходимо провести специальные расчеты для оценки допустимых значений интенсивности развития этих процессов.

5.19. Постановка дополнительных исследований производится во всех тех случаях, когда имеющихся материалов недостаточно для суждения об устойчивости сооружения и их основания.

5.20. Заключение об удовлетворительном состоянии сооружения делается в том случае, когда все предусмотренные проектом показатели фильтрационного режима не превышают проектных значений. Исключения могут представлять только случаи, когда выявленные превышения предельных значений носят локальный характер и не угрожают нарушением нормальных условий эксплуатации.

5.21. Аварийным состоянием называется всякое отклонение от проектных значений, которое может угрожать нарушением нормальных условий эксплуатации сооружений.

5.22. В случае выявления аварийного состояния результаты наблюдений необходимо сообщить заказчику, проектной организации и руководству организации, осуществляющей исследования.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

ФИЛЬТРАЦИОННОГО РЕЖИМА

I.1. Виды и назначение аппаратуры

А. Приборы для измерения пьезометрического напора

1. **Пьезометры** – это устройства для измерения пьезометрического напора в отдельных точках подземного контура и основания сооружений. При этом величина пьезометрического напора определяется по высоте столба жидкости, непосредственно контактирующей с фильтрационным потоком. Однако, как показывает практика, пьезометры могут быть использованы для определения химического состава и температуры фильтрационного потока, а также для оценки фильтрационных свойств и структуры пласта. Для оценки фильтрационных свойств часто используют сведения о дебитах пьезометров. Дебит пьезометра – расход скважины, в которой установлен пьезометр, при нарушении условий равновесия между давлением в потоке в месте заложения водоприемника пьезометра и давлением в водоприемнике. Основными частями пьезометра являются водоприемник с отстойником, труба и устье пьезометра.

В настоящее время на гидросооружениях встречаются различные конструкции пьезометров, которые могут отличаться между собой по целому ряду признаков: по способу установки — закладные и опускные, прямые и наклонные; по местоположению и устройству водоприемника — глубинные и контактные, с фильтром и без фильтра; точечные и шахтные (с длинными водоприемниками); по местоположению и устройству устья — открытые (безнапорные) и напорные (изливающиеся). Некоторые типы пьезометров, применяемые при контроле фильтрации в скальных основаниях гидросооружений приведены на рис. 1, 2.

Уровни воды в открытых пьезометрах измеряются с помощью специальных приспособлений — свистков, хлопушек и др., а давление в напорных пьезометрах — с помощью ртутных и пружинных манометров (см. приложение II). В последние годы неоднократно предпринимались попытки оснащения пьезометров самозаписывающими устройствами (самозаписывающие устройства были установлены на Иркутской и Горьковской ГЭС), однако эти установки носят пока экспериментальный характер.

2.11. **Пьезодинамометры и грунтовые динамометры** предназначаются для измерения давлений в различных точках сооружения (в швах; на поверхности бетонных сооружений — давление грунта, засыпок и т.д.). Кроме того, пьезодинамометры используются вместо глубинных или контактных пьезометров.

Существуют различные типы пьезодинамометров и грунтовых динамометров. Все они являются дистанционными приборами. По принципу передачи давления на измерительное устройство они могут быть разделены на гидравлические, электрические и пневматические. По принципу устройства приемной части, воспринимающей давление, различают мембранные динамометры и динамометры с жесткой приемной плитой.

В нашей стране наибольшее распространение получили струнные мембранные динамометры конструкции НИСа Гидропроекта и ВНИИГа. Более подробные сведения о динамометрах приведены в литературе [3], [12].

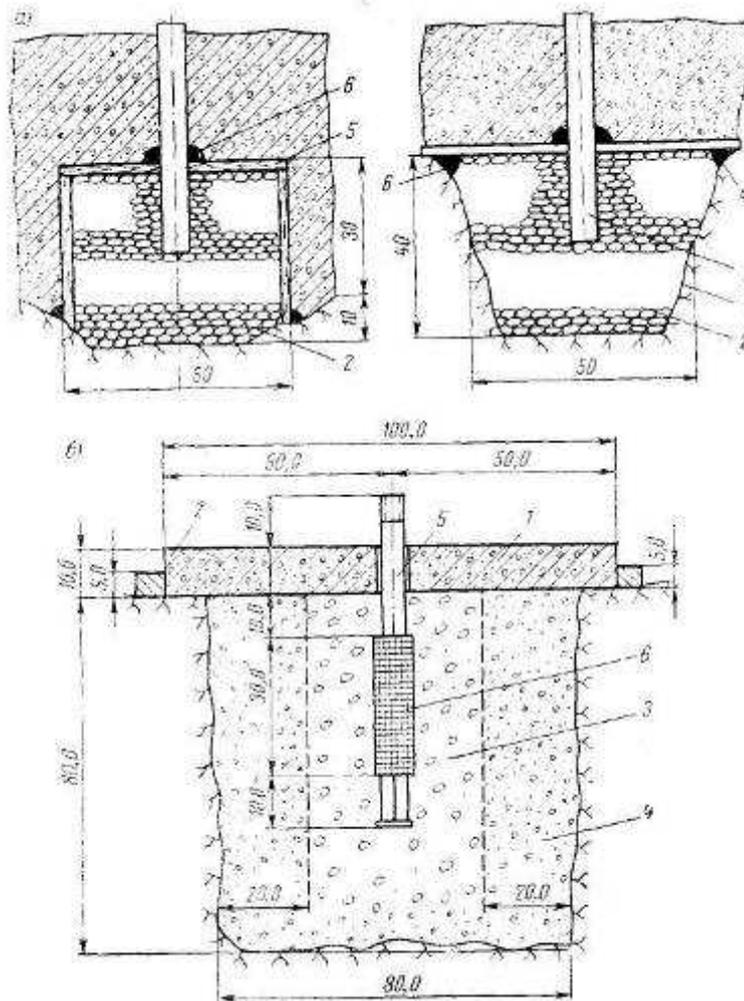


Рис. 1. Устройство водоприемника закладного контактного пьезометра
а) в слаботрещиноватой скале: 1—контур приемка; 2—гравий; 3 — перфорированный конец трубы пьезометра; 4 —деревянный или металлический щит; 5—деревянный ящик; 6 — прокладка из промасленной пакли; *б)* в сильнотрещиноватой скале; 1-железобетонная плита; 2-уплотнение цементным раствором; 3 — крупный гравий или щебень; 4—мелкий гравий или щебень; 5 — труба пьезометра; 6—перфорированный участок трубы обернут гофрированной сеткой из пластмассы и стеклотканью.

Б. Приборы для измерения деформаций сооружений

Для измерения относительных вертикальных и горизонтальных перемещений используются постоянные и рабочие реперы, высотные и глубинные марки, щелемеры, отвесы, клинометры, телетермометры и телетензометры.

Данные измерений по этим приборам используют для сопоставления с результатами наблюдений за пьезометрами, с целью выявления закономерностей развития деформаций сооружения и его основания.

В. Приборы для измерения фильтрационных расходов

Применение тех или иных приборов определяется способами измерения фильтрационных расходов. Сводка сведений о наиболее распространенных способах измерения фильтрационных расходов и используемых приборов дана в табл. 1.

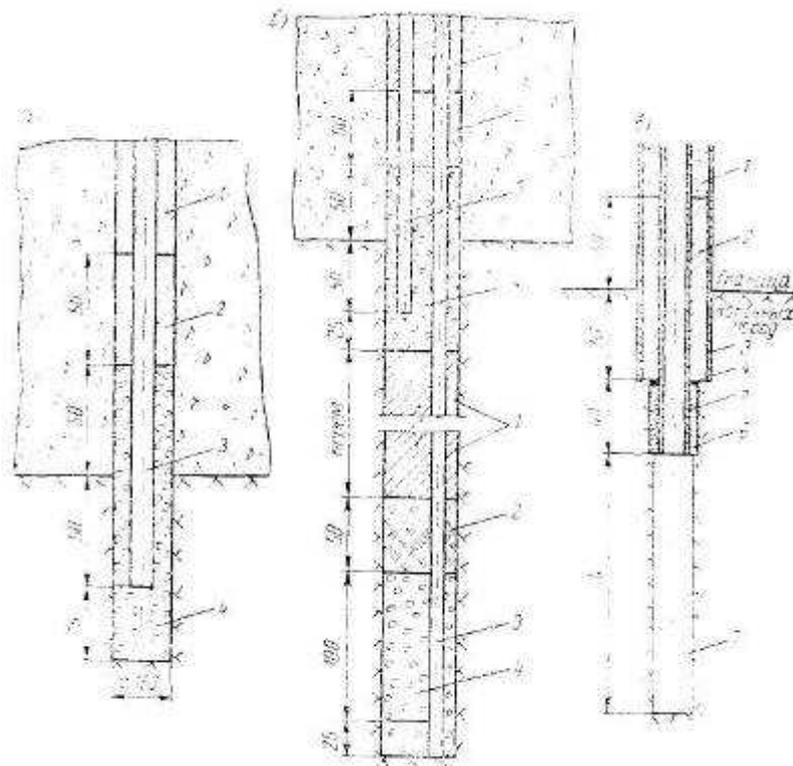


Рис. 2. Устройство водоприемника опускного пьезометра
 а) контактный. б) двухточечный (ДнепроГЭС): 1—цементный раствор; 2 —глиняный тампон.; 3 - перфорированный участок трубы пьезометра; 4 — гравий; в) глубинный пьезометр (Братская ГЭС): 1—засыпка местным грунтом; 2-цементный раствор; 3 —обсадная труба; 4 — металлическая шайба; 5 — оцинкованная труба пьезометра $\varnothing 70$ мм; 6—сальник из промасленной пакли; 7 —необсаженная скважина в скале ($\varnothing 110$ мм, $l=3\div 5$ м).

1.2. Уход за контрольно-измерительной аппаратурой

Одной из важных задач наблюдений с помощью контрольно-измерительной аппаратуры является контроль состояния приборов и устройств, используемых при натурных наблюдениях. Для этого в сроки, определяемые Инструкцией по наблюдениям, проверяется исправность контрольно-измерительного оборудования, установленного на гидроузле. Не останавливаясь на излагаемых во многих руководствах правилах ухода за контрольно-измерительной аппаратурой вообще [12], [17], отметим только основные мероприятия по уходу за пьезометрами.

Отметки среза пьезометрических труб проверяются один раз в год нивелированием. В это же время проверяются отметки «нуля» ртутных и пружинных манометров на напорных пьезометрах.

Все выступающие части пьезометров как в бетонных, так и на земляных сооружениях должны ежегодно покрываться антикоррозийным составом, а на крышке и стояке пьезометра надписывается белой краской его номер.

Все безнапорные пьезометры один раз в год проверяются в отношении их засоренности. Эта проверка заключается в промере глубины пьезометра и сравнении ее с первоначальной.

Для проверки надежности показаний пьезометров следует оценивать их чувствительность, которая определяется временем восстановления уровня воды в пьезометре после принудительного воздействия на него откачки или налива воды.

Критерием чувствительности пьезометров являются результаты сопоставления полученного из опыта времени восстановления уровня воды в пьезометре с некоторым заданным временем, которое обычно устанавливается расчетным путем. Пьезометр считается чувствительным, если время восстановления уровня до первоначального не превышает существенно (т.е. на 2-3 порядка)

Таблица 1

Способ измерения	Область применения	Пределы измерения, л/сек	Расчетная формула	Литература
Объемный (мерные сосуды, приемки)	При каптировании открытых и напорных потоков с устойчивым расходом	От 0 до 20	$Q = \frac{\omega}{t}$ ω —объем сосуда; t - время наполнения	[5]
Тонкостенными затопленными водосливами	Открытые потоки со слабым транзитом наносов сравнительно малой мощности при значительном уклоне	Для водослива треугольного профиля: 0,8 - 1400. Для водослива трапецеидального профиля: 5-200 и 100—10000. Для водослива прямоугольного профиля: 5—200 и 100 — 10000	Для угла 90° при H в пределах 0,05 — 1 м, H - толщина потока над порогом; $Q = 1,86bH^{3/2}$; b - ширина водосливной стенки; при $0,05 < H < 1,25$ $Q = 1,8bH^{3/2}$	[5]
Переносной водосливной рамкой	В тех же случаях, что и измерения водосливами, но при меньших расходах	От 1 до 9	$Q = mbH\sqrt{2gH}$ m -коэффициент расхода	[11]
Гидрометрическим лотком	Для открытых потоков, в случаях, когда применение водосливов и вертушек затруднено из-за обилия наносов	6—500 и 60-7000	При $0,05 < H < 1,0$ м расход определяется по высоте уровня воды над дном приемного раструба. Лоток заранее тарируется	[13]
Гидрометрическими вертушками (ВЖМ-3, ГР-55 и др.)	В открытых и напорных потоках со скоростями не меньше 0,05—0,08 м/сек, при ширине более 0,5 м и глубине менее диаметра лопастного винта вертушки	От 15 - 30 любые расходы	—	[5]

Поплавкамн (поверхностными и глубинными)	В открытых потоках в случае малых скоростей (когда скорость течения меньше допустимой для вертушки)	1 - 2	—	[5]
Способ смешения	В открытых и напорных потоках с бурным течением, с загроможденным дном или в случаях, когда применение других способов затруднено	20 - 10000	$Q = q \frac{k_1}{k_2}$ <p>q - расход раствора в 1 сек; k_1 - начальная концентрация раствора; k_2- концентрация на контрольном</p>	[10]
С помощью водосчетчиков: а) с вертикальной крыльчаткой; б) с винтовой вертушкой	В напорных потоках На прямолинейном участке трубопровода длиной 14—18 м	0,3 – 28 8 - 3600	Расход определяется через угловую скорость вращения водосчетчика, пропорциональную скорости потока	[11]

времени, определенного расчетом.

Для безнапорных пьезометров время восстановления уровня от величины H_0 до H вычисляется по формуле:

$$t = \frac{d^2}{4kD} \ln \frac{H_0}{H}, \quad (1)$$

где H_0 и H — понижения уровня в пьезометре в конце откачки и в момент времени t после начала восстановления уровня; t —время восстановления уровня, *сек.*; d — диаметр трубы пьезометра, *см.*; D — диаметр водоприемной части, включая фильтр, *см.*; k — коэффициент фильтрации грунта основания в месте заложения водоприемника, *см/сек.* Формула учитывает приток только через дно, без учета влияния перфорации.

Чувствительность безнапорных пьезометров целесообразно определять следующим образом: а) измерить уровень в пьезометре; б) в пьезометр залить воду до заданного уровня H_0 (или откачать воду из пьезометра); в) периодически, через определенные интервалы времени измерять уровень воды в процессе его восстановления до заданной величины H . Следует отметить, что при малых притоках чувствительность пьезометра следует проверять в двух направлениях, т. е. откачкой и наливом. Определять чувствительность безнапорных пьезометров следует один—два раза в год.

В зависимости от полученных результатов замера глубины и определения чувствительности пьезометра производится чистка трубы пьезометра. Механическая чистка проводится при помощи бурового оборудования или стальной проволоки, к которой приварен ерш по диаметру трубы. Для очистки пьезометров от заилиenia производят его промывку путем нагнетания воды по гибкому шлангу, опущенному в трубу пьезометра до упора (пробки).

Чувствительность напорных пьезометров определяется по данным наблюдений за сроком и ходом восстановления напора после сброса давления на $0,5—1,0 \text{ кг/см}^2$ с помощью трехходового крана. Для оценки чувствительности напорных пьезометров при измерении с помощью ртутного манометра полученное из опыта время восстановления уровня сравнивается со временем, рассчитанным по формуле

$$t \cong \frac{2 \cdot 10^{-2} d_i^2}{kD} \ln \frac{H_0}{H}, \quad (2)$$

где d_m — диаметр трубки манометра.

Для очистки от заилиenia труб напорных пьезометров можно снять манометры и трехходовой кран и дать воде свободно изливаться из пьезометра. Нередко прочистка засоренных или заиленных пьезометров оказывается невозможной, тогда вместо неисправных пьезометров приходится устанавливать новые в скважины, пробуренные рядом с вышедшими из строя пьезометрами.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

СНЯТИЕ ОТСЧЕТОВ ПО КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ И ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЗАМЕРОВ

II.1. Определение фильтрационного напора

Фильтрационный напор определяется по данным наблюдений за пьезометрами или пьезодинамометрами. При этом величиной, непосредственно измеряемой в натуре, является либо давление (напорные пьезометры и пьезодинамометры), либо уровень воды (безнапорный пьезометр). Для перехода к фильтрационному напору зарегистрированные во время наблюдений данные должны быть подвергнуты некоторой несложной обработке (первичная обработка). Характер обработки в значительной степени зависит от способа измерений.

Рассмотрим технику расчета фильтрационного напора при наблюдениях с помощью пьезометров, поскольку в случае пьезодинамометров для расчета искомого-напора требуется предварительная тарировка, на подробностях которой мы здесь останавливаться не будем [12]. Измерение давления в напорных пьезометрах осуществляется с помощью ртутных или пружинных манометров, которые соединены с устьями пьезометров стационарно или подключаются на

время измерения. В последнем случае наблюдатель должен сперва удостовериться в отсутствии каких-либо течей и подождать полной стабилизации измеряемого давления. При измерении давления ртутным манометром определяется положение уровней ртути в трубках относительно «нуля» манометра.

Уровни воды в безнапорных пьезометрах измеряются с помощью рулеток и присоединенных к ним лотовых приспособлений, таких как хлопушки, свистки и т. д., или электроконтактных приборов. В момент звукового или светового сигнала, соответствующего соприкосновению лота с поверхностью воды, берется отсчет по рулетке относительно постоянной точки устья, отметка которой зановелирована.

Примечание. При измерении уровней воды в открытых пьезометрах (водоприемник в виде необсаженной части скважины в скале) необходимо также фиксировать отметку сосредоточенного выхода над уровнем воды в скважине струй воды.

Форма регистрации пьезометрических уровней

№ скважины _____ № трубки _____

Местоположение _____

Отметки: _____ *Координаты пьезометра в плане:*

верха трубки _____ расстояние от верховой грани _____

устья скважины _____ расстояние от _____ м

контакта _____ коэффициент поправки _____

забоя _____ за наклон $K =$ _____

№№ п/п	Дата наблюдения	Отсчет по лоту или манометру	Глубина уровня ниже (—) выше (+) нуля замера	Отметка нуля замера	Отметка горизонта воды в трубке	Примечание

В процессе обработки результаты измерений как в напорных, так и в безнапорных пьезометрах приводятся к отметкам уровня воды в пьезометре z или к пьезометрическим напорам, если все эти уровни отсчитываются от одной плоскости сравнения. Измерения уровней воды в пьезометрах в настоящее время, как правило, проводятся дискретно в сроки, установленные Инструкцией по натурным наблюдениям. В связи с этим следует отметить, что использование самописцев для непрерывной регистрации уровней представляется весьма желательным, поскольку суточные колебания напора в пьезометрах могут быть довольно значительны и для обоснованного выбора величины напора в данной наблюдательной точке, отвечающего некоторым фиксированным значениям уровней бьефов, следует иметь результаты круглосуточных измерений. Для иллюстрации этого положения на рис. 3 приведены результаты ежечасных измерений пьезометрических уровней некоторых пьезометров Камской ГЭС, производившихся в течение четырех суток. Для сравнения показаны графики пьезометрических уровней этих же пьезометров; построенные по результатам ежедекадных измерений (на рисунке осредненные значения напора отмечены знаком штрих). По графикам на рис. 3 видно, что в данном конкретном случае истинные и осредненные значения напора отличаются на 1,5—2,0 м, что, естественно, может отрицательно сказаться на результатах анализа натуральных данных.

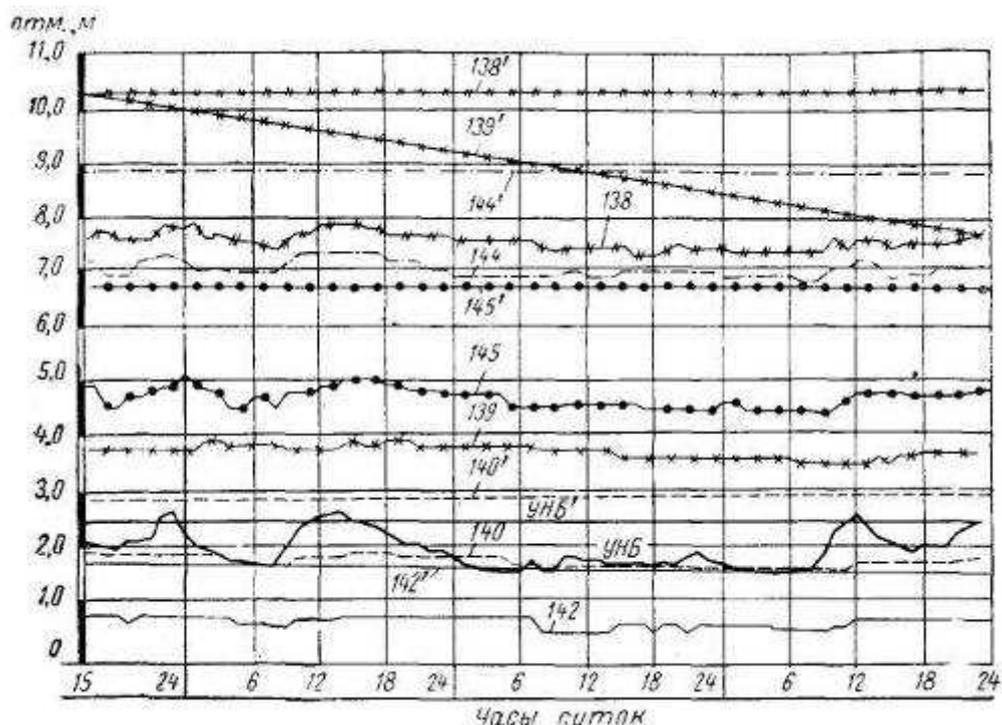


Рис. 3. Сравнение результатов ежечасных и ежедекадных измерений пьезометрических уровней
УНБ — уровень нижнего бьефа; 138—уровни воды в пьезометре при ежечасных измерениях; 138¹ — уровни воды в том же пьезометре при ежедекадных измерениях.

Рассмотрим основные правила первичной обработки результатов наблюдений за уровнями воды в пьезометрах. При измерениях с помощью ртутных манометров пьезометрический уровень определяется по формуле:

$$z = z_0 + (h_{\text{в}} + C) 13,6 - h_{\text{н}} \quad (3)$$

где z_0 — занивелированная отметка «нуля» ртутного манометра; $h_{\text{в}}$ — отсчет от «нуля» до верхнего уровня столбика ртути; $h_{\text{н}}$ — отсчет от «нуля» до нижнего уровня столбика ртути.

При пользовании пружинным манометром пьезометрический уровень определяется как:

$$z = z_{\text{м}} + P, \quad (4)$$

где $z_{\text{м}}$ — отметка центра манометра; P — измеренное по манометру давление в метрах водяного столба.

Примечание. Нередко наблюдатели допускают ошибку, принимая за $z_{\text{м}}$ отметку точки подключения манометра к пьезометру.

При измерении глубины лотом-хлопушкой уровень воды в пьезометре вычисляется по формуле

$$z = z_{\text{п}} - (a + c), \quad (5)$$

где $z_{\text{п}}$ — отметка верха трубки пьезометра, от которой производится измерение; a — отсчет по мерной ленте; c — расстояние от нуля мерной ленты до низа хлопушки.

При измерении глубины лотом-свистком уровень воды вычисляется по формуле

$$z = z_{\text{п}} - (a + m + n), \quad (6)$$

где $z_{\text{п}}$ и a — то же, что и в предыдущей формуле; m — расстояние от нуля мерной ленты до пулевого кольца лота-свистка; n — номер чашечки лота-свистка, заполненной водой.

II.2. Определение дебитов пьезометров

Дебиты напорных и безнапорных пьезометров определяются по-разному; для определения дебитов напорных пьезометров проводятся откачки, осуществляемые путем самоизлива, а для определения дебитов безнапорных пьезометров — откачки и наливов. Надо сказать, что определение дебитов безнапорных пьезометров проводится значительно реже ввиду некоторых технических трудностей. Эти трудности обусловлены большой трудоемкостью откачек скважин малого диаметра, какими являются пьезометрические скважины. Замена откачек наливками не всегда приемлема потому, что при наливах нередко имеет место понижение водопропускной способности водоприемников пьезометров из-за кольматации фильтра и стенок пьезометрических скважин мелкими частицами, находящимися в воде пьезометра. Впрочем, в случае безнапорных пьезометров, контролирующих потоки при сравнительно резких колебаниях уровней бьефов, если наблюдения за безнапорными пьезометрами проводятся достаточно часто, необходимость в специальных наливах и откачках таких пьезометров практически отпадает. В подобных условиях для характеристики водопроницаемости грунта вместо дебитов пьезометров могут быть использованы сведения об изменениях пьезометрических напоров в период неустановившейся фильтрации (см. приложение VI).

Для определения дебита напорный пьезометр должен быть оборудован тройником. Один конец тройника жестко соединяется с пьезометром, ко второму подключается манометр, а с помощью крана, установленного на третьем конце, предусматривается возможность сброса воды из пьезометра. Перед определением дебита измеряется давление в пьезометре. Затем кран для сброса воды открывается и устанавливается определенная интенсивность истечения воды из пьезометра. Желательно, чтобы соответствующее понижение давления во время отбора воды из пьезометра было возможно меньшим (2—3 м). Значительное понижение напора вплоть до свободного излива допустимо только в случаях низкодебитных пьезометров (с капельным расходом).

Дебит пьезометров измеряется объемным способом после установления достаточно стабилизированного значения напора. Время установления такого значения определяется экспериментально с учетом конкретных условий. С этой целью типовые пьезометры следует поставить на длительное истечение (6—10 часов) при постоянном понижении, а затем оценить зависимость объема вытекшей воды W от времени t . Если зависимость $W = f(t)$ окажется линейной (или очень близка к линейной), то время измерения дебита после открытия крана и начала истечения воды из пьезометра можно назначать приблизительно (например, через 2—5 минут после открытия крана). В противном случае, т. е. если зависимость $W = f(t)$ существенно отличается от линейной и за время опробования стабилизации достигнуть не удалось, определение дебита приходится проводить в условиях неустановившегося движения. Тогда для наблюдателя начало отбора воды для измерения дебита после открытия крана, так же, как и величина понижения напора при истечении, должны быть строго зафиксированы с тем, чтобы измерения проводились всегда в одних и тех же условиях.

На основании измеренного в опыте значения W можно найти дебит Q

$$Q = W/t, \quad (7)$$

где t — время, за которое вытекает объем W .

Поскольку по ряду причин во время определения дебита понижение напора в пьезометре S при разных опробованиях одного и того же пьезометра нередко бывает различным, то для анализа большой интерес представляет величина удельного дебита, т. е. дебита, отнесенного к 1 м понижения напора, иначе говоря, удельный дебит пьезометра

$$q = Q/S. \quad (8)$$

Следует отметить, что указанная зависимость представляет собой объективную характеристику пьезометра только при условии, что зависимость $Q = f(S)$ линейна. Опыт показывает, что при малых понижениях S указанное условие, как правило, соблюдается, однако в каждом отдельном случае желательно провести специальную экспериментальную проверку.

II.3. Определение химического состава воды потока

Для определения химического состава воды потока в лабораторных условиях проводится химический анализ проб воды, отобранной из пьезометров. Правила отбора проб воды на химический анализ подробно излагаются в специальной инструкции [14], потому мы здесь на них останавливаться не будем. Укажем только, что в результате химического анализа должны быть определены следующие показатели потока (см. форму представления результатов химического анализа проб воды), которые имеют значение при дальнейшем изучении фильтрационного режима как индикаторы. Так, например, при анализе условия фильтрации через бетонные сооружения особый интерес представляет процент содержания иона хлора, так как в процессе выщелачивания бетона количество этого иона практически остается постоянным. Поэтому резкое изменение содержания иона хлора скорее всего свидетельствует о подпитке воды изучаемого потока водой из другого горизонта. Содержание ионов дается в *мг-экв/л* и *мг/л*.

ПРИЛОЖЕНИЕ III

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

III.1. Графики колебания уровней воды в пьезометрах

Графически представленная зависимость уровней воды в пьезометрах от времени наблюдений, так называемые графики колебания уровней являются весьма наглядным средством изображения результатов наблюдений и при своевременном их построении способствуют организации оперативного контроля за фильтрационным режимом. Графики колебания уровней воды в пьезометрах целесообразно строить на миллиметровой бумаге с масштабом по оси абсцисс $1 \text{ мм} — 1 \text{ день}$. Масштаб по оси ординат принимается в соответствии с общей величиной напора на сооружение, но при этом желательно учитывать, что наиболее благоприятное впечатление графики производят при соотношении между высотой и длиной графика, примерно равном $1 : 2$.

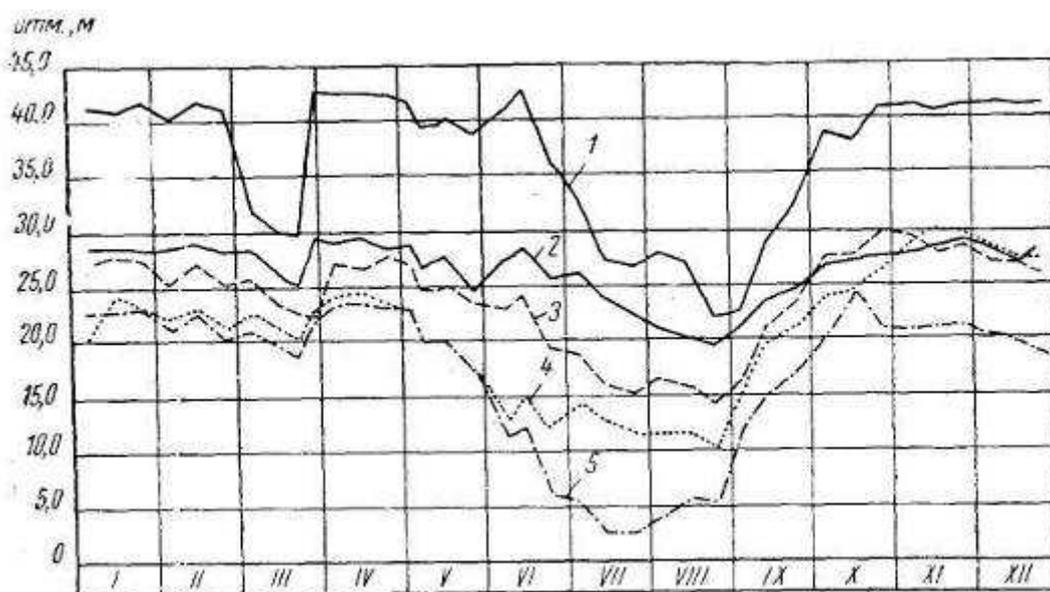


Рис. 4. Графики колебания уровней воды в пьезометрах
1 — уровень верхнего бьефа; 2 — пьезометр № 1; 3 — пьезометр № 2;
4 — пьезометр № 3; 5 — уровень нижнего бьефа.

В целях облегчения анализа на листах с графиками колебания уровней воды в пьезометрах полезно в том же масштабе строить графики уровней бьефов. При большом количестве графиков для экономии времени графики уровней бьефов целесообразно наносить на прозрачную кальку и затем при анализе накладывать ее на лист с изучаемыми графиками. Заметим, что анализ значительно упростится, если на той же кальке с графиками уровней бьефов отметить время проведения всех мероприятий, которые могли сказаться на общем характере фильтрационного режима (например, указать время выполнения цементационных работ, время включения дренажных устройств и т. д.). Наконец, на той же эталонной кальке можно нанести график температуры воздуха. Последнее обстоятельство особенно важно в случае анализа фильтрации в бетонных сооружениях. Примерный вид графиков колебания уровней воды в пьезометрах приведен на рис. 4.

III.2. Графики приведенного пьезометрического напора

Графики приведенного пьезометрического напора характеризуют собой зависимость $h=f(t)$, где $h = \frac{H - H_{t,d}}{H_0} 100\%$ -- приведенный напор, причем H — уровень воды в пьезометре; $H_{н.б}$ — уровень нижнего бьефа; H_0 — напор на сооружение; t — время. При определении h для каждого заданного момента времени t необходимо знать значения H , $H_{н.б}$ и H_0 , отвечающие этому моменту. Построение графиков приведенного пьезометрического напора целесообразно в случаях, когда в течение года имеют место достаточно заметные колебания уровней бьефов (превышающие 5—10% напора).

Так же, как и в случае графиков колебания уровней воды в пьезометре, основным достоинством такого способа представления сведений о напорах является наглядность. В отношении масштаба графиков приведенного напора остаются в силе рекомендации, сделанные выше, а для анализа эти графики тоже полезно совмещать с графиками уровней бьефов, а иногда и с графиками колебаний уровней воды в пьезометрах. Типовые графики приведенного пьезометрического напора приведены на рис. 5.

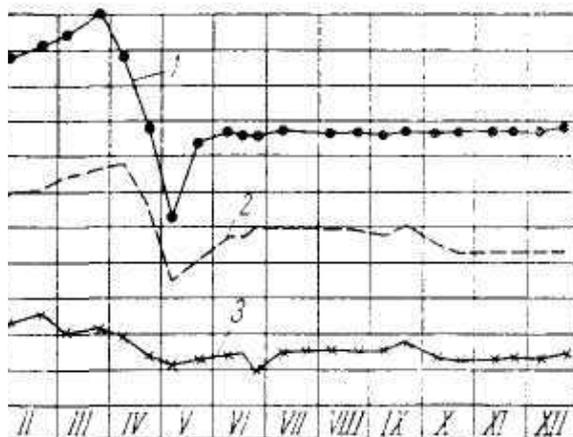


Рис. 5. Типовые графики приведенного пьезометрического напора
1—пьезометр № 1; 2—пьезометр № 2; 3 — пьезометр № 3,

III.3. Кривые депрессии

Поверхностью депрессии в водонасыщенном грунте называется поверхность с давлением, равным атмосферному. Определение положения поверхности депрессии при фильтрации в трещиноватых породах нередко представляет существенные трудности. Это объясняется тем, что для трещиноватых пород характерна слоистая анизотропия. Исследования отечественных и зарубежных авторов показывают, что трещиноватые породы характеризуются ярко выраженной фильтрационной анизотропией. С помощью натуральных наблюдений за особенностями взаимодей-

ствия скважин возможны определения параметров анизотропии водоносных фильтрующих горизонтов в основании сооружения, что естественно должно значительно уточнить расчеты фильтрации. Следствием слоистости строения может явиться образование в литологически однородном массиве до известной степени обособленных отдельных горизонтов и когда напоры в нижнем горизонте оказываются ниже напоров в верхнем горизонте, гидравлическая сплошность потока в вертикальном сечении может быть нарушена. В верхней части потока в таких условиях возможно образование подвешенных горизонтов. При контроле потока пьезометрами с длинными необсаженными водоприемниками, заглубленными в нижний горизонт, нередко имеют место явления сосредоточенного выхода воды на стенках пьезометрической скважины, выше уровня воды в ней. Если такие выходы не носят четко выраженного характера, свидетельствующего о наличии на изучаемом участке сосредоточенного фильтрационного хода, то до оборудования новых пьезометров с водоприемниками в пределах только верхнего горизонта следует определять положение поверхности депрессии по высотным отметкам выхода струи на стенки скважины.

Для наглядной характеристики положения поверхности депрессии строят так называемые кривые депрессии. Для этого выбирают наблюдательный створ, предположительно расположенный по линии тока. На разрезе, совмещенном с наблюдательным створом, в соответствии с принятым вертикальным масштабом наносятся отметки высотного положения поверхности депрессии. На этом разрезе следует нанести все пьезометры, показания которых использовались для построения кривой депрессии, с указанием высотных отметок верха и низа водоприемников (в пьезометрах шахтного типа следует указывать высотную отметку гравийной обсыпки). На указанном разрезе для контроля желательно также отметить положение кривой депрессии по проекту и сведения по геологии основания. Заметим, что в условиях пространственного потока для определения положения поверхности депрессии и для построения кривой депрессии, строго говоря, можно использовать только показания неглубоких пьезометров, заглубленных на 2—3 м ниже поверхности депрессии.

Построение кривых депрессии является обязательным в тех случаях, когда подъем поверхности депрессии выше некоторых предельных отметок угрожает нарушением условий нормальной эксплуатации сооружений и за положением поверхности депрессии необходим оперативный контроль (например, контроль за положением кривой депрессии на низовом откосе земляной плотины). Построение кривых депрессии проводят по выборочным датам (подробнее см. приложения V и VI). Один из характерных случаев построения кривых депрессии приведен на рис. 6.

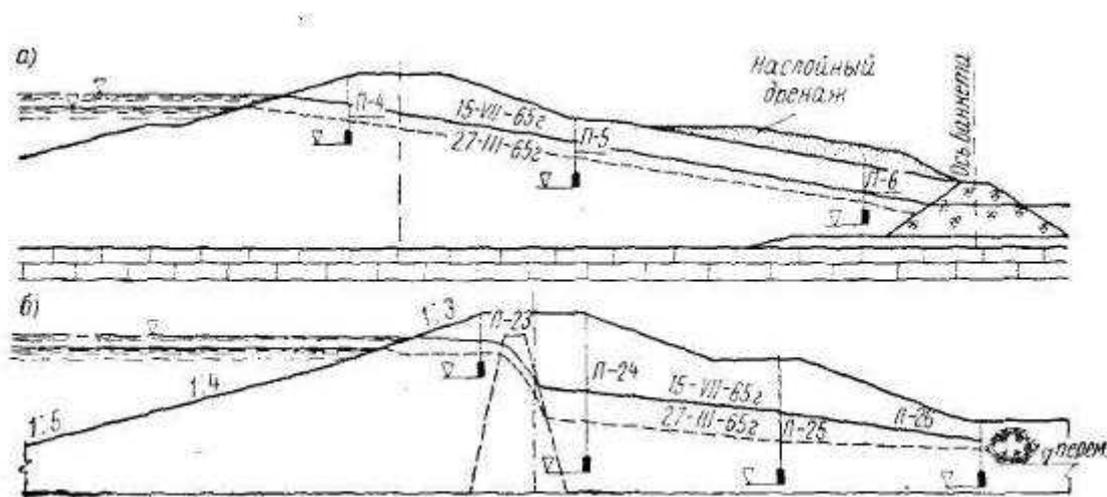


Рис. 6. Кривые депрессии в земляных плотинах
а) плотина однородного профиля; б) плотина с ядром.

III.4. Карты гидроизопьез и гидроизогипс.

Карты гидроизопьез (линий равных напоров в напорном горизонте) и планы гидроизогипс (линий равных отметок поверхности депрессии) необходимы для изучения формы и направления фильтрационного потока. Карты гидроизопьез и гидроизогипс строятся по данным наблюдений за пьезометрическими напорами. Гидроизопьезы или гидроизогипсы наносятся

непосредственно на план изучаемого участка сооружения. Для построения данной карты используются показания всех пьезометров, водоприемники которых контролируют поток примерно в одной горизонтальной плоскости. Если отметки заложения водоприемников существенно отличаются по высоте и есть основания сомневаться в наличии гидравлической связности между контролируемыми слоями, то использовать показания таких пьезометров для построения общего плана без соответствующих оговорок можно только после экспериментальной проверки гидравлической связности с помощью пробных откачек, индикаторов или каким-либо другим путем. Гидроизогипсы и гидроизопъезы могут быть построены по данным о пьезометрических или приведенных пьезометрических напорах.

В целях сопоставления последний вариант представляется наиболее предпочтительным, однако для сравнения с отметками дневной поверхности больший интерес представляют изолинии, выраженные в пьезометрических или фильтрационных напорах. При построении планов изолиний на плане сооружения у соответствующих наблюдательных точек выписывают отвечающие им значения напора. Затем все смежные наблюдательные точки соединяются между собой прямыми линиями и на этих линиях путем линейной интерполяции определяются положения точек искомых изолиний. Изолинии (гидроизопъезы и гидроизогипсы) обычно строятся через определенные интервалы. Например, для изолиний, представленных в приведенных напорах при интервале, часто принимаемом равным 20% (если приведенный напор выражается в процентах), изолинии могут иметь значения 90, 70, 50, 30 и 10% и т. д. Примеры карт гидроизопъез приведены на рис. 7—9.

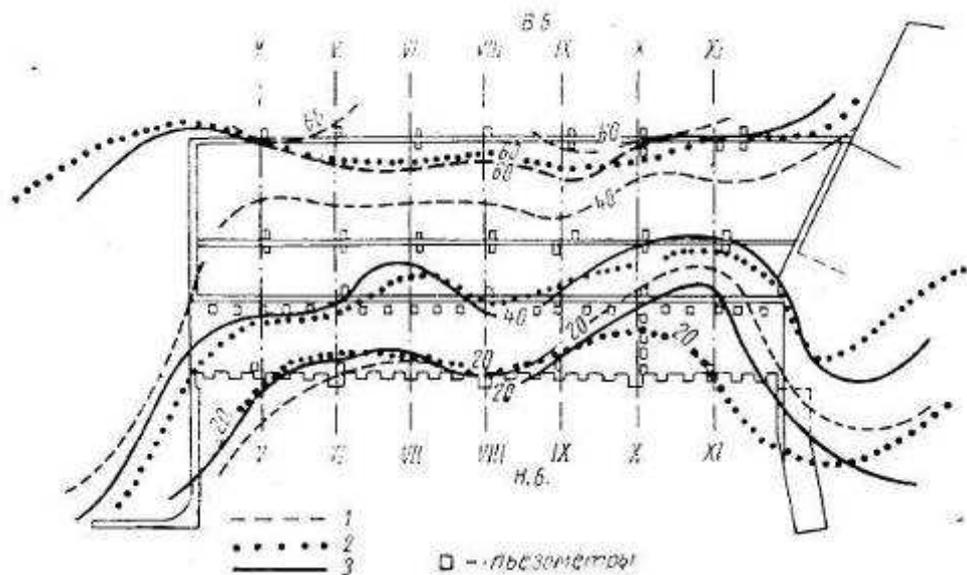


Рис. 7. План гидроизопъез татарского горизонта
 1—1961 г.
 2—1963 г. } изолинии приведенных
 3—1965 г. } пьезометрических напоров

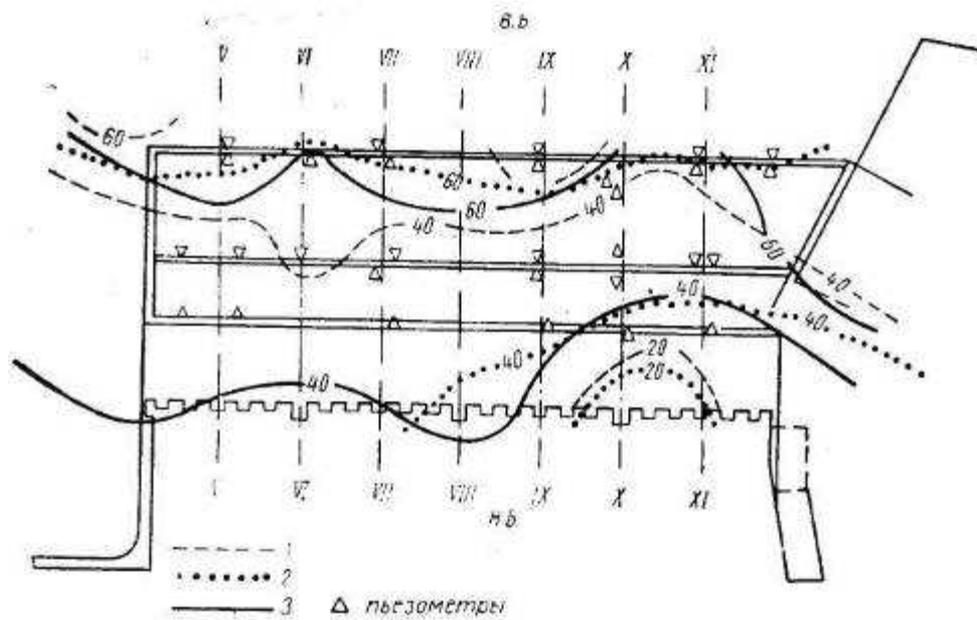


Рис. 8. План гидроизопьез верхне-соликамского горизонта
 1—1961 г.
 2—1963 г. } изолинии приведенных
 3—1965 г. } пьезометрических напоров

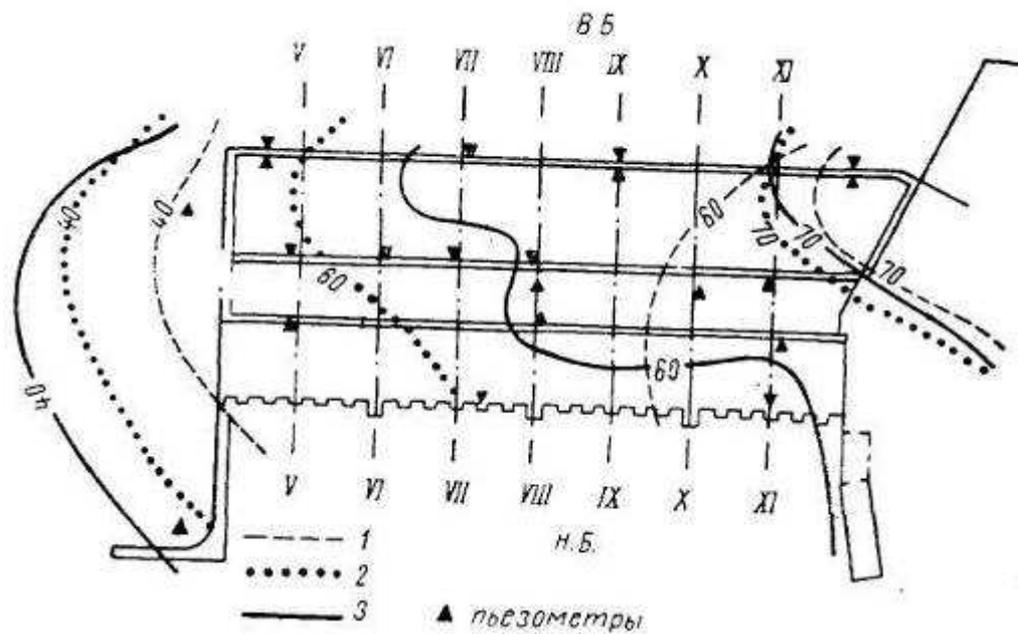


Рис. 9. План гидроизопьез ниже-соликамского горизонта
 1—1961 г.
 2—1963 г. } изолинии приведенных
 3—1965 г. } пьезометрических напоров

Как разновидность карт изолиний можно рассматривать также планы изолиний разности напоров между смежными горизонтами. Разность напоров определяется на основании карт гидроизопьез. Принципы построения планов изолиний разности напоров те же, что и в случае карт гидроизопьез и гидроизогипс. Необходимые для построения опорные значения разностей напора определяются в характерных точках плана обычно там, где имеются пары близко расположенных в плане пьезометров, контролируемых сравниваемые горизонты. Пример планов изолиний разности напоров приведен на рис. 10 - 11. Построение планов изолиний проводится по выборочным датам.

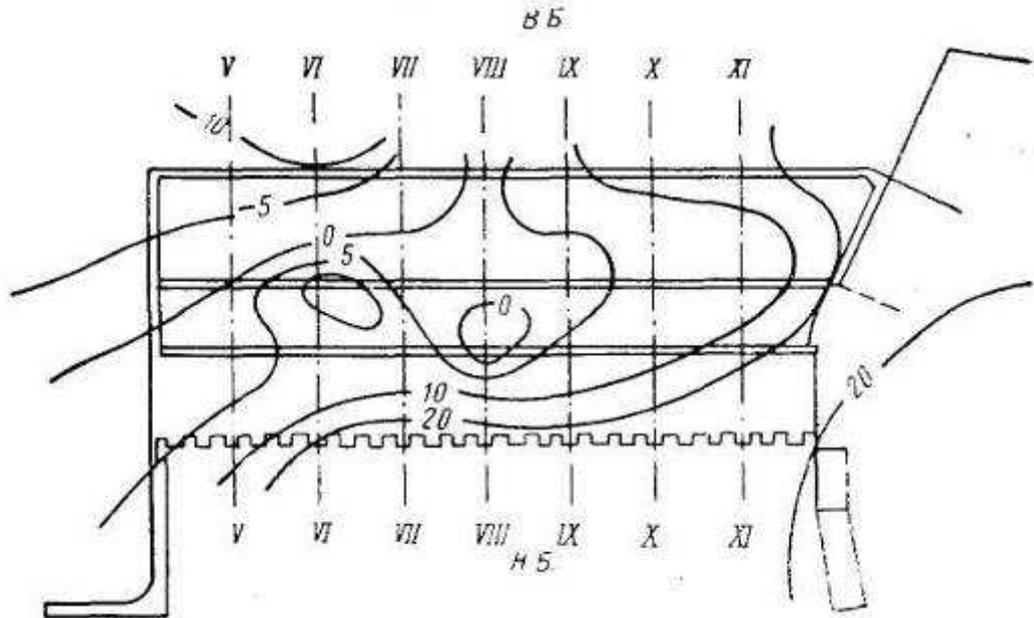


Рис. 10. План изолиний разности напоров между верхне-соликамским и татарским горизонтами.

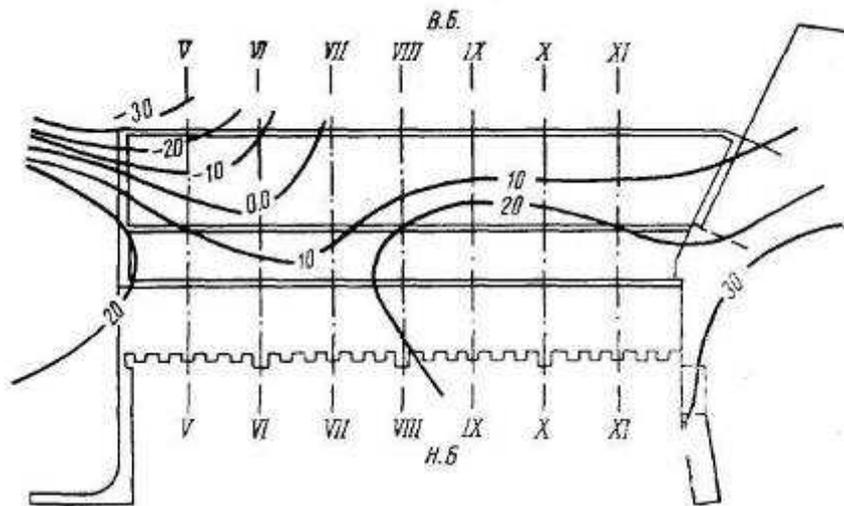


Рис. 11. План изолиний разности напоров между нижне-соликамским и верхне-соликамским горизонтами.

III.5. Эпюры фильтрационного давления

Эпюры фильтрационного давления используются при анализе устойчивости бетонных со-

оружений. С помощью этих эпюр характеризуется давление фильтрационного потока на сооружение, избыточное по сравнению с уровнем нижнего бьефа. Пример эпюры фильтрационного давления приведен на рис. 12. Для характеристики общего давления на сооружение используют эпюры противодействия, на которых определяется давление непосредственно на подошву сооружения. Для определения противодействия к фильтрационному давлению, измеренному по показаниям контактных пьезометров, надо прибавить ординаты, характеризующие погружение рассматриваемой точки подземного контура ниже уровня нижнего бьефа.

Для наглядности эпюры давления желательно совмещать с изображением подземного контура. Эпюры могут строиться при выражении давления в метрах водяного столба, что особенно удобно при построении эпюр противодействия. Для сопоставления результатов многолетних наблюдений особенный интерес представляют эпюры фильтрационного давления, построенные в приведенных пьезометрических напорах. Построение эпюр проводится по выборочным датам. Для оценки наиболее неблагоприятных условий работы сооружений полезно проводить построение эпюр по максимальным значениям напора. Максимальные значения напора в показаниях контактных пьезометров могут достигаться не одновременно, и потому эпюра, построенная по результатам наблюдений, проводившихся в разное время, является сугубо условной

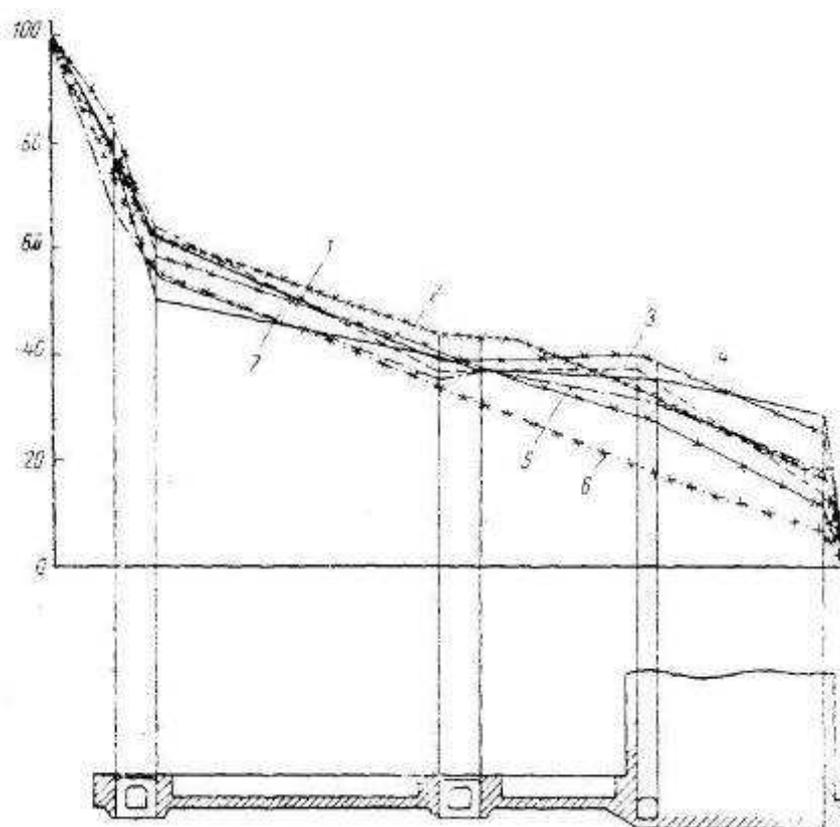


Рис 12. Эпюры фильтрационного давления в основании Камской ГЭС
 1 – створ VIII – VIII; 2 – створ X – X; 3 – створ VI – VI;
 4 – створ V – V; 5 – створ VII – VII; 6 – створ XI – XI; 7 – створ IX – IX

III.6. Графики фильтрационных расходов

Графики фильтрационных расходов весьма полезны при анализе эффективности дренажных устройств и при оценке изменений водопроницаемости пород основания. Графики расходов строятся в произвольном масштабе. Преследуя максимальную наглядность, эти графики следует совмещать с графиками уровней бьефов. Пример подобного графика приведен на рис 13. Весьма полезным для анализа является график зависимости расхода от уровня верхнего бьефа.

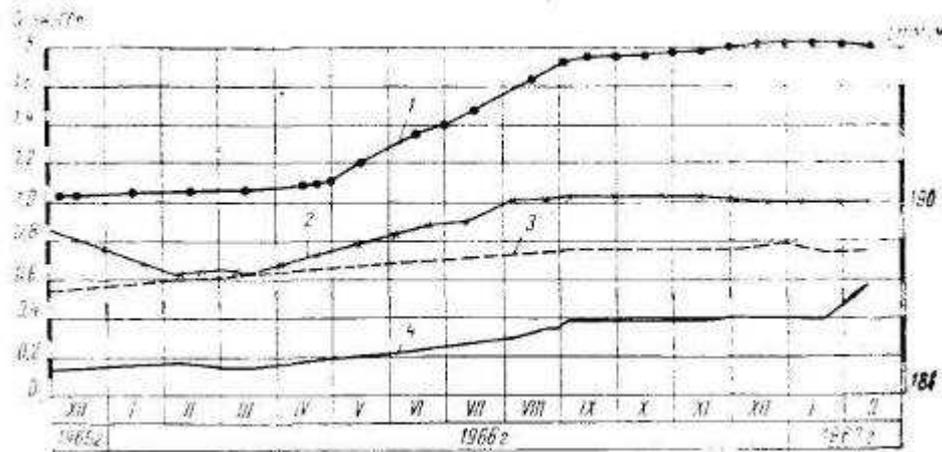


Рис. 13. Графики фильтрационного расхода в нижнем бьефе левобережной плотины Братской ГЭС
 1—уровень верхнего бьефа; 2—нижний измерительный створ; 3—средний измерительный створ; 4—верхний измерительный створ.

III.7. Графики осадок и деформаций сооружений

Графики осадок и деформаций сооружений используются для оценки общего состояния сооружений и их оснований. Виды этих графиков весьма разнообразны и зависят от конкретных задач исследований. Осадки и деформации сооружений можно характеризовать изменениями рассматриваемых факторов с течением времени, а также по площади или по высоте сооружения. В ряде случаев большой наглядности изображений можно достигнуть с помощью аксонометрии. Наиболее простыми и распространенными видами графиков осадок являются графики зависимости осадок отдельных марок от времени наблюдений. На рис. 14 приведены примеры таких графиков. Графики строятся в произвольном масштабе, однако желательно масштаб по оси абсцисс, где откладывается время наблюдений, выбирать таким, чтобы на одном графике можно было представить результаты многолетних наблюдений. Графики осадок бетонных сооружений полезно совмещать с графиком температуры воздуха и отмечать проектные значения осадок.

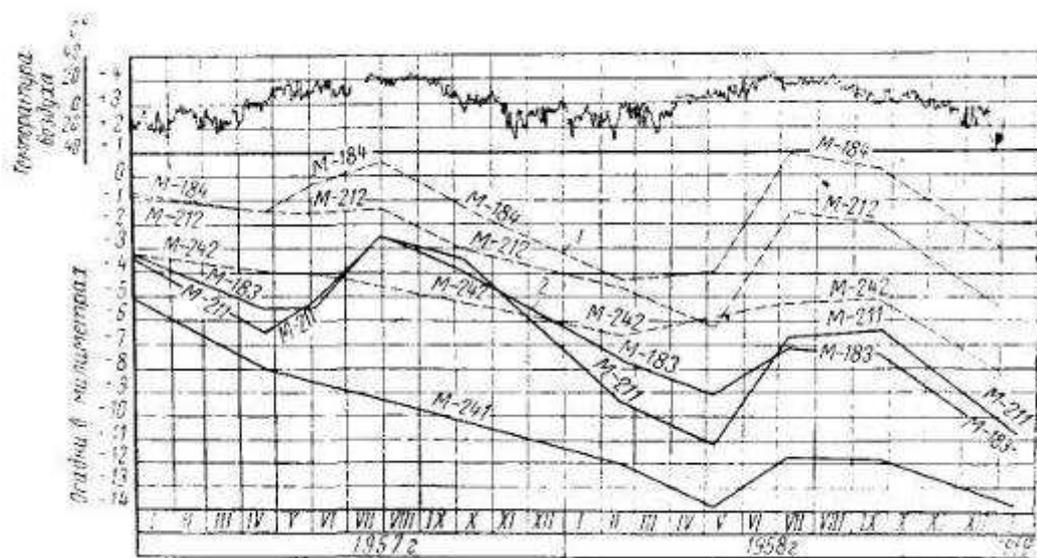


Рис. 14. График изменения осадок (Камская ГЭС)
 1 — марки установленные со стороны Н.Б.; 2 - марки, установленные со стороны В.Б.; (знак «->» — осадки, знак "+" — превышения).

Не останавливаясь на построении графиков, характеризующих различные деформации сооружений [3], [17], отметим только еще графики деформаций швов. Эти графики строятся на основании показаний щелемеров. Результаты многолетних измерений целесообразно по возможности наносить на один и тот же график, как это сделано на рис. 15.

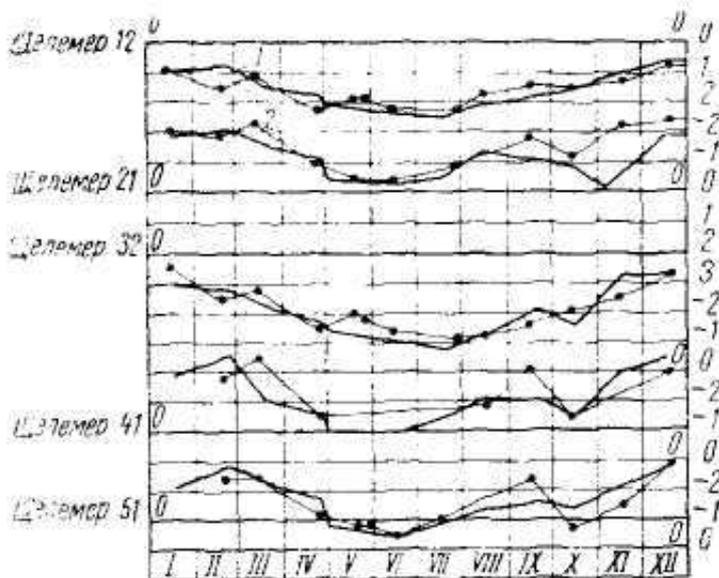


Рис. 15. Графики деформаций температурных швов (Камская ГЭС)
1—1961 г.; 2—1960 г. (знак "+"—закрытые шва, знак "--"—открытые шва).

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

ОСНОВЫ ОПЫТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА С ПОМОЩЬЮ ИНДИКАТОРОВ

IV.1. Постановка исследований с индикаторами

Успешность проведения опытов с индикаторами во многом зависит от соответствия вида индикатора и выбранного способа проведения опыта изучаемой фильтрационной обстановке. Вопросы выбора вида индикатора и способы проведения опыта тесно взаимосвязаны и решаются применительно к данным конкретным условиям, исходя из общих задач исследований. Так, например, если задачей исследования является оценка величины фильтрационного расхода через некоторый участок основания, контролируемый относительно большим количеством пьезометров открытого типа (см. приложение I), то опыты с индикаторами целесообразно проводить способом пусковых скважин, причем тип опыта а)—г) (п. 3.26) выбирается в зависимости от устройства наблюдательных скважин (пьезометров) и общего характера потока. В таких условиях выбранный индикатор в сущности должен удовлетворять только трем требованиям: этот индикатор должен легко регистрироваться в пусковой скважине, по плотности и вязкости должен быть возможно более близким к соответствующим характеристикам изучаемого потока и не должен адсорбироваться в пусковой скважине.

Иначе обстоит дело, если в задачи исследований входит определение направления потока, когда опыты должны проводиться по способу наблюдательных скважин. В этих случаях требования к индикатору в зависимости от выбора типа опыта (5 или 6) будут в той или иной степени отличаться от требования указанных выше. Так, при проведении опытов типа 5 не только возрастают требования в отношении идентичности физических характеристик индикаторного раствора и потока, но в дополнение к сказанному выше индикатор не должен адсорбироваться грунтом, быть дешев, поскольку количество индикатора для опытов с наблюдательными скважинами несравненно выше, чем в опытах с пусковыми скважинами.

При проведении опытов типа е) (п. 3.26) требования к индикатору несколько смягчаются, так как при откачке воды из наблюдательных скважин регистрация появления индикатора и

измерение его количества могут осуществляться уже вне грунтовой толщи, а при отборе проб определение содержания индикатора в потоке может проводиться не только непосредственно в натуральных, но также и в лабораторных условиях. В дополнение к сказанному следует еще отметить, что в зависимости от расположения участка исследования по отношению к населенным пунктам или производственным объектам могут ставиться те или иные ограничения по токсичности веществ, используемых в качестве индикаторов.

В настоящее время в качестве индикаторов используются различные вещества и в зависимости от техники их обнаруживания в потоке можно выделить несколько разновидностей индикаторных методов, из которых наиболее распространенными являются колориметрический (индикаторы — различные красители: флюоресцеин, эозин и др.), электрометрический (индикаторы — растворы электролитов: поваренная соль и др.), химический и метод радиоактивных индикаторов.

Для определения количества индикатора, необходимого при проведении того или иного исследования, в случае способа пусковых скважин следует исходить из разрешающей способности измерительных приборов, обнаруживающих наличие индикатора в водоприемнике пусковой скважины. Во избежание нежелательного воздействия пусковых порций на изучаемый поток желательно ограничиваться минимальными количествами индикатора, причем, концентрации индикатора при запуске должны быть возможно более низкими и во всяком случае не должны превосходить предел чувствительности измерительного прибора более, чем в десять раз. Если в качестве индикатора выбрано вещество, которое содержится в воде изучаемого потока, то соответствующее требование при запуске предъявляется к концентрации индикатора, избыточной по отношению к концентрации в природных условиях (фон).

При проведении опытов по способу наблюдательных скважин расчеты весьма осложняются, так как ориентиром расчета является не только чувствительность измерительного прибора при регистрации индикатора в наблюдательной скважине. В данном случае при определении исходного количества индикатора необходимо еще учитывать сорбционную способность грунта по отношению к избранному индикатору, рассеивающее влияние фильтрующей среды, миграцию индикатора в потоке под действием молекулярной диффузии, влияние неоднородностей скоростного поля и т. д., т. е. потерн индикатора на пути от пусковой скважины к наблюдательной.

Некоторые, весьма ориентировочного характера рекомендации по расчету пусковых порций индикатора имеются в литературе [8], [15], однако наиболее надежным путем решения указанного вопроса является непосредственный эксперимент в натуре. Например, пробный запуск индикатора при минимальном расстоянии между пусковой и наблюдательной скважиной с последующей экстраполяцией полученных значений на большее расстояние. Разумеется, сказанное справедливо только при неременном условии полной идентичности геологии опытного участка и исследуемого массива.

IV.2. Проведение опытов по методу пусковых скважин

Успешность опытов по методу пусковых скважин в значительной степени зависит от качества подготовки к опыту исследуемого участка. При подготовке к опытам необходимо произвести тщательную прочистку пьезометров, убедиться в возможности доступа пусковых приспособлений непосредственно в водоприемник и получить все сведения о характерных размерах пьезометра — глубина, внутренний диаметр водоприемника, длина фильтра, размер водоотстойника. Необходимо также иметь точные координаты, определяющие расположение пьезометра в плане. Специальному изучению подвергаются химический состав потока и прежде всего определяется фон, т. е. содержание в воде потока в естественных условиях вещества, выбранного в качестве индикатора.

При проведении опытов по методу пусковых скважин в зависимости от выбранного типа исследования запуск индикатора проводится точечный или равномерно распределенный по высоте водоприемника, а иногда и по высоте всего столба воды в пьезометре. Приспособления для ввода индикатора в скважину изготавливаются с учетом конструктивных особенностей, используемых для опыта скважин и избранного способа ввода индикатора в поток.

При точечном запуске индикатор в пусковую скважину вводится в специальной закрытой емкости. Для этих целей обычно используют мешочки из тонкой резины или полиэтилена. После установки пусковой емкости на заданную отметку емкость вскрывается с помощью соответствующего устройства. Самым простым решением является использование для вскры-

тия емкости ударника, выполненного в виде отрезка трубы. На нижнем конце трубы напаяются специальные шипы-зубья. Ударник насаживается на трос, на котором укреплена емкость. Во время запуска ударник падает и зубья прорывают стенки пусковой емкости.

Самым простым приемом распределенного запуска индикатора является непосредственная заливка раствора индикатора в скважину (ведром или через погружаемый в скважину шланг). Распределенный запуск индикатора также может осуществляться с помощью отдельных пусковых емкостей, только при этом емкости укрепляются более или менее часто по длине несущего троса (через 1—2 м). В случае применения солевых индикаторов ввод индикатора в скважину иногда производится путем неоднократного протаскивания по всей высоте столба воды в скважине матерчатого мешочка с солью.

При распределенном запуске следует добиваться перед началом опыта возможно более эффективного размешивания индикатора в объеме пьезометра. В случае запуска индикатора в напорный пьезометр необходимо обеспечивать герметичность устья пьезометра во время запуска и в течение всего времени проведения опыта, что достигается с помощью специальных крышек.

В напорном пьезометре вскрытие пусковой емкости (или пусковых емкостей) в скважине осуществляется дистанционным путем. Для этих целей может быть, например, использован электрический способ вскрытия емкостей. Не исключается также применение ударника при условии что механизм удерживания ударника в верхнем положении до начала опыта отвечает требованиям герметичности устья. Как один из вариантов конструкции пускового приспособления может быть рекомендовано использование магнитного устройства для выдергивания чеки, удерживающей ударник до момента запуска. При определении скоростей методом пусковых скважин началом опыта фактически считается момент после запуска, когда проводится первое измерение концентрации индикатора в пусковой скважине. Концентрацию индикатора измеряют по всей высоте столба воды в скважине через 1—2 м. При точечном запуске зона измерений может быть сокращена, так как контролю подлежит только область размешивания индикатора, непосредственно прилегающая к месту запуска (расстояние 3—5 м от места запуска). Кроме величины концентрации индикатора в различных точках по высоте скважины во время опыта должны быть зафиксированы значения пьезометрического напора в пусковом пьезометре и на прилегающей территории. Типовые кривые распределения индикатора по высоте пусковой скважины в разные моменты времени приводятся на рис. 16 (каротажные кривые).

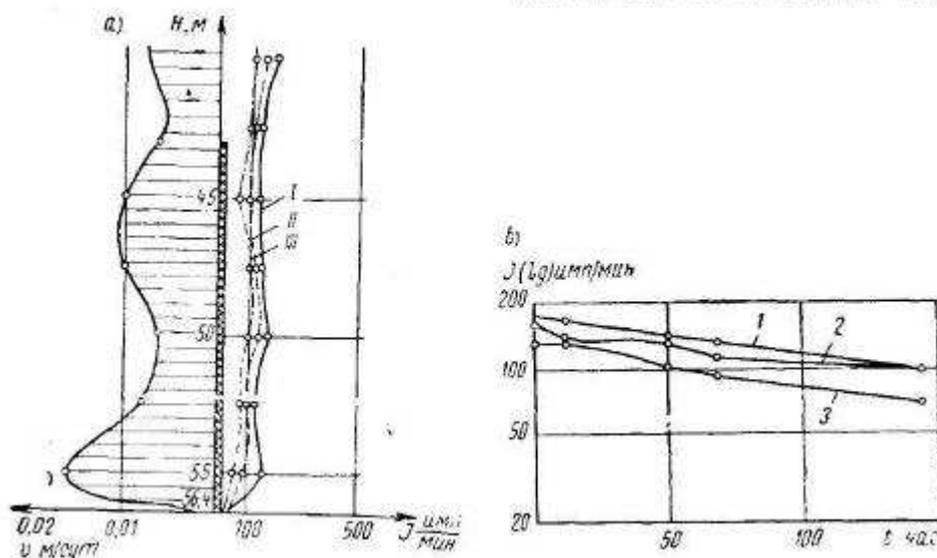


Рис. 16. Результаты опыта по фильтрационному каротажу пьезометра
 а) скорости фильтрации; кривые разбавления: I - через 12 ч.50 мин. после запуска; II — через 58 ч. после запуска; III — через 144 ч. после запуска; б) кривые разбавления на разных отметках: 1 — на глубине 50 м; 2—на глубине 47,5 м; 3—на глубине 52,5 м.

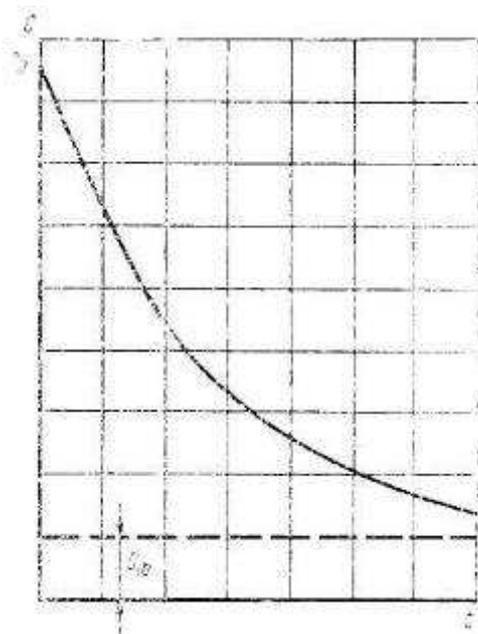


Рис. 17. Кривая разбавления
 C_0 — начальная концентрация индикатора; C_ϕ — концентрация индикатора в условиях естественного потока (фон).

Результаты измерений концентрации индикатора во время опыта на заданной высотной отметке затем используются для построения так называемой кривой разбавления (рис. 17). Опыт считается законченным, когда концентрация индикатора равна фону или приближается к нему.

Построение кривой разбавления на основании сведений о содержании индикатора при распределенном запуске требует специального анализа этих кривых с тем, чтобы обоснованно выбрать моменты, характерные для разбавления индикатора только под действием горизонтальной составляющей скорости фильтрации. Известная расчетная зависимость, используемая для определения скорости фильтрации по кривой разбавления, получена в предположении, что через выделенный цилиндрический объем в скважине с диаметром d проходит поток воды с некоторой постоянной скоростью v , направленной перпендикулярно оси скважины. Указанная зависимость имеет вид:

$$v = \frac{\pi d}{nt} \ln \frac{c_0 - c_\delta}{\tilde{n} - \tilde{n}_\delta}, \quad (9)$$

где c_0 — начальная концентрация индикатора в момент времени $t = 0$, принятый за начало опыта; c — концентрация индикатора в момент t ; c_ϕ — концентрация индикатора в условиях естественного потока (фон); d — диаметр фильтровой части; n — коэффициент дренирования, принимаемый от 1 до 4.

Величина коэффициента дренирования зависит от состояния фильтра скважины и принимается равным 2 в случае чистого, нормально работающего фильтра. Значение n , меньшее 2, отвечает скважине с закольцованным в той или иной степени фильтром, n , большее 2 — повышенной водопроницаемости грунта в месте заложения водоприемника.

Из сказанного следует, что значение v будет характеризовать искомую скорость фильтрации потока только в том случае, если поток в скважине горизонтален. При наличии вертикальной составляющей скорости фильтрации значение v полученное по формуле (9) будет преувеличено по сравнению с действительной скоростью.

При проведении опытов с индикаторами в составе общих комплексных исследований (по типу 3 и 4) соответствующие дополнительные измерения по времени их осуществления должны быть настолько близки ко времени проведения опытов с индикаторами, чтобы их практически можно было считать одновременными. Сведения об исследованиях минерализованных потоков (тип 3) приводятся в [14], а на методике изучения пространственных потоков, имеющих особую специфику, следует остановиться подробнее. Это сделано ниже в приложении IV.4.

IV.3. Проведение опытов по методу наблюдательных скважин

Для успешного проведения опытов по методу наблюдательных скважин чрезвычайно большое значение имеет рациональный выбор (при использовании существующей сети скважин) или проектирование наблюдательных створов. Это объясняется тем, что попадание индикатора в наблюдательную скважину возможно только при условии расположения данной наблюдательной скважины ниже по течению и непосредственно на линии тока. Точно положение таких линий тока заранее неизвестно и потому наблюдательные скважины принято располагать веером в створах, примерно перпендикулярных предполагаемому направлению потока. Учитывая, что поперечные размеры объема, занятого индикатором (индикаторного пакета), в плане обычно бывают малы (2—3 диаметра пусковой скважины) по сравнению с расстояниями между наблюдательными скважинами, легко представить, что вероятность попадания индикатора в одну из этих скважин относительно невелика.

К этому можно еще добавить, что при неправильном расчете пусковой порции индикатора вследствие разбавления концентрация его может упасть ниже порога чувствительности измерительного прибора. Для повышения надежности исследований целесообразно выбирать меньшие расстояния между наблюдательными скважинами измерительного створа¹. Следует проводить исследования в два этапа: сначала в условиях возмущенного потока с нагнетанием индикатора в пусковую и с откачкой из наблюдательных скважин, а затем в условиях естественного потока. Вряд ли следует пояснять, что в условиях возмущенного потока вероятность попадания индикатора в наблюдательную скважину при этом значительно возрастает.

¹ Приблизенно, но Е. А. Замарину, для пород легко водопроницаемых — средне- и крупнозернистые пески, гравий, галечники—расстояния рекомендуется выбирать от 3 до 7 м, для слабопроницаемых — мелкозернистые пески, супеси, суглинки, лесс — от 0,75 до 1,5 м.

Начало опыта по способу наблюдательных скважин определяется моментом запуска индикатора в пусковую скважину. Во время опыта наблюдения проводятся за появлением индикатора в наблюдательных скважинах. Кроме того, так же как при исследованиях способом пусковых скважин проводятся измерения пьезометрического напора. Регистрируются уровни воды в пусковой и в наблюдательных скважинах. Полученная в результате наблюдений зависимость концентрации индикатора в наблюдательной скважине от времени называется кривой хода индикатора (типовым вариант таких кривых приведен на рис. 18).

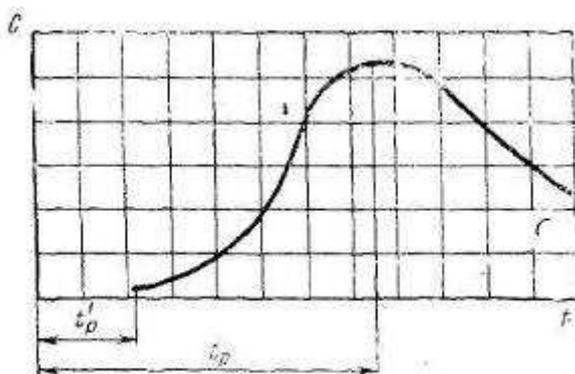


Рис. 18. Кривая хода индикатора.

Искомая скорость движения воды в порах в условиях невозмущенного потока определяется по зависимости

$$u = l/t_p, \quad (10)$$

где l — расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами; t_p — расчетное время движения индикатора, определяемое по кривой хода индикатора.

Общепринятых правил определения этого времени до сих пор еще нет. Большинство исследователей рекомендует оценивать t_p в зависимости от общего вида кривой хода индикато-

ра, допуская возможное преувеличение искомых значений в невыгодную для целей расчета сторону. Например, в тех случаях, когда для изучаемого явления представляет опасность чрезмерное повышение скоростей движения потока, как при исследованиях с целью проверки суффозионной устойчивости пород, t следует определять по моменту первого появления индикатора. Аналогичное решение следует принимать и в случае быстрого роста концентрации и резко выраженного «хвоста» на кривой хода индикатора, свидетельствующих о влиянии сорбционных явлений.

В противоположность рассмотренным случаям при кривой хода с медленно нарастающей концентрацией индикатора для расчетов, оценивающих общий расход потока, следует определить искомое t_p по положению максимума на кривой хода индикатора.

Кроме расчетной зависимости (10) для случаев интенсивной откачки из наблюдательных скважин при условии $l/r < 1000$ и $I < 10^{-4}$ и $l/r < 100$ и $I < 0,01$ можно рекомендовать

$$u \cong \frac{l^2}{2t_p} \ln \frac{l}{r} \quad (11)$$

где r — радиус наблюдательной скважины; I — уклон потока.

IV.4. Изучение фильтрационных характеристик потока комплексным путем с помощью индикаторов и расходомеров

Изучение фильтрационных характеристик потока при совместном использовании расходомеров и индикаторов целесообразно проводить в условиях высокоскоростного потока (например, потока в трещиноватых породах, вблизи дренажных устройств), контролируемого при помощи наблюдательных скважин с водоприемниками значительной протяженности. В таких водоприемниках нередко возникает движение воды вдоль оси скважины. При высокой скорости потока исследование водообмена в таких скважинах с помощью индикаторов представляет существенные трудности.

Для иллюстрации на рис. 19 приведен пример ошибочного построения эпюры скоростей фильтрации в трещиноватом пласте при условии распределенного запуска индикатора. В стволе рассматриваемой скважины имеет место восходящее движение воды из нижней трещины в верхнюю. Пользуясь принятой методикой определения кривых разбавления для заданных фиксированных уровней, можно определить соответствующие значения скоростей фильтрации, эпюра которых приведена на рис. 19. Рассчитанный по этой эпюре расход потока во много раз будет превышать расход реального потока. Для правильного расчета расхода потока требуются дополнительные исследования. Необходимый для расчета материал можно получить путем измерения расхода в скважине с помощью расходомера.

$$t_0 < t_1 < t_2 < t_3$$

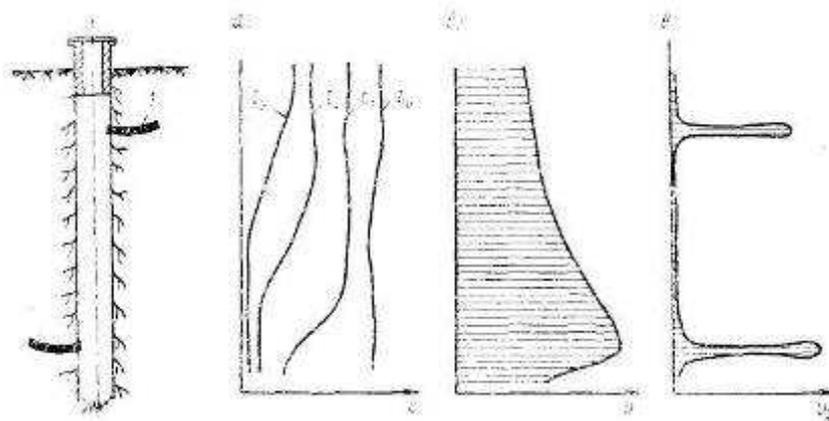


Рис. 19. Пример ошибочного построения эпюры скоростей
 а) кривые распределения индикатора в скважине для разных моментов времени;
 б — эпюра скоростей, построенная по результатам опыта;
 в) фактическая эпюра скоростей; I — трещина.

Для измерения горизонтального потока в скважинах малого диаметра при скоростях, ха-

рактерных для фильтрационных потоков, по техническим причинам расходомеры в настоящее время не применяются. Однако измерение вертикальной составляющей потока при расходах свыше 0,01 л/сек в стволе скважин диаметром 70—100 мм вполне возможно.

Поскольку интенсивность разбавления индикатора в каком-либо поперечном сечении скважины определяется не только горизонтальной, но и вертикальной составляющей потока, то следует полученные кривые распределения индикатора сопоставить с результатами измерения расхода в скважине на разных отметках.

Для определения фильтрационных характеристик потока в трещиноватых породах комплексным методом может быть рекомендована следующая методика определения искомым скоростей фильтрации, применявшаяся лабораторией природных исследований ВНИИГ при исследованиях фильтрационного потока на Братской ГЭС.

Опыты проводились при одновременном использовании расходомеров и радиоактивного индикатора йода-131 в водном растворе йодистого калия. Следует отметить, что радиоактивные индикаторы для этих целей представляются наиболее подходящими, поскольку эти индикаторы могут иметь очень низкие массовые концентрации и позволяют использовать высокочувствительную и оперативную в управлении аппаратуру. Для расчетов применялся датчик, сконструированный на базе интенсивметра «ТИСС». Запуск индикатора проводился точечный, что позволяло не только фиксировать изменения концентрации в заданном сечении, но и следить за процессом миграции индикаторного пакета. Полученные в результате опыта кривые разбавления и расходограммы сравнивались между собой.

Типовая расходограмма, свидетельствующая о резко выраженной слоистой анизотропии пласта, для одной из опробованных скважин приведена на рис. 20.

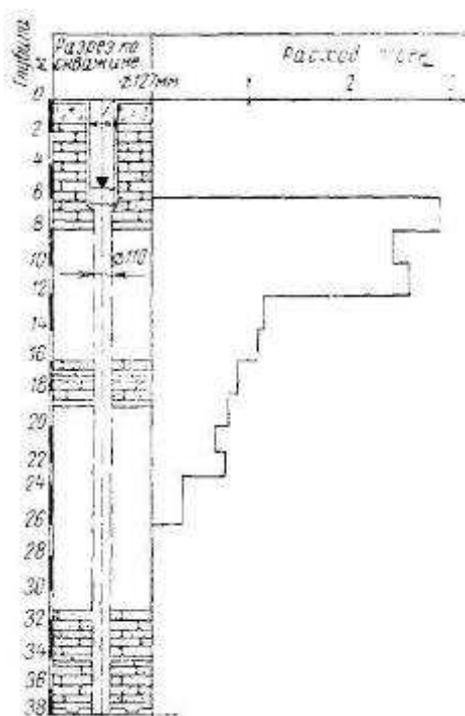


Рис. 20. Расходограмма по результатам опыта скважина № 19858, левобережный грунтовый массив Братской ГЭС.

По приведенным в расходограмме данным на заданной отметке определялась величина вертикальной составляющей скорости потока в скважине v_v . Полученное значение скорости сравнивалось с некоторым расчетным значением.

$$v'_a = \frac{2,3}{t} \lg \frac{c_0 - c_\delta}{\tilde{n} - \tilde{n}_\delta} \quad (12)$$

Формула получена в предположении, что в рассматриваемом сечении скважины отсутствует горизонтальная составляющая потока. Если значения v_v и v'_v совпадают в пределах точности

опытов, то предположение об отсутствии горизонтальной составляющей потока в рассматриваемом сечении скважины считалось подтвержденным. В противном случае величина горизонтальной составляющей потока определялась по зависимости:

$$v_{\bar{a}} \frac{4n}{\pi d} + v_{\bar{a}} \Delta = \frac{\ln \frac{c_0 - c_{\bar{o}}}{\bar{n} - \bar{n}_{\bar{o}}}}{t}, \quad (13)$$

где Δ —размер, характеризующий толщину меченого индикатором слоя воды в пьезометре, определяется эмпирически. (По данным опытов, проведенных на Братской ГЭС $\Delta = 200$ см).

ПРИЛОЖЕНИЕ V

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТОЯНИИ ВОПРОСА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ФИЛЬТРАЦИИ

V.1. Общая постановка вопроса

В процессе натуральных исследований фильтрации исследователь сталкивается с необходимостью обработки и обобщения большого количества натуральных данных. В подавляющем большинстве эти данные имеют явно выраженный локальный характер, зависят от целого ряда случайностей и к тому же не являются абсолютно достоверными. При оценке общего характера фильтрационного режима в основные задачи обобщения и обработки таких данных входит:

а) определение параметров, характеризующих результаты наблюдений в целом. Например, определение величины противодавления на подошву сооружения, осредненного значения коэффициента фильтрации основания и т.д.

б) оценка общих характеристик пласта по данным наблюдений за потоком в отдельных наблюдательных точках (или створах), т. е. оценка достоверности представления искомым характеристик по данным наблюдений локального характера;

в) оценка изменений характеристик пласта путем сопоставления результатов наблюдений локального характера, полученных в разные периоды времени или по разным объектам. Например, оценка изменений водопроницаемости пласта по данным многолетних наблюдений.

Весьма эффективным средством решения перечисленных выше задач, встречающихся во многих областях науки и техники, являются методы статистического анализа. Методы эти в настоящее время хорошо разработаны [9]. [16], но должного применения в области фильтрационных наблюдений на гидротехнических сооружениях пока еще не получили. Указанное обстоятельство объясняется прежде всего сравнительно малым количеством наблюдательных точек на изучаемых объектах. Однако, в последние годы ввиду принятия смелых инженерных решений в гидростроительстве, требующих усиления текущего контроля их работы, а также возведения очень крупных гидроузлов количество наблюдательных точек резко возросло. Возрос также и общий объем получаемой информации о фильтрационных процессах. В результате создалась потенциальная возможность обработки натуральных данных статистическими методами. К тому же, как уже отмечалось в литературе [16], даже в случае недостаточного количества информации для обоснованного определения статистических характеристик фильтрационного режима статическая модель в натуральных исследованиях фильтрации является более общей, чем детерминистическая, т. е. модель, при которой имеет место полная воспроизводимость опытов, осуществляемых в одних и тех же условиях.

V.2. Основные понятия и определения

При использовании методов статистического анализа для решения практических задач большое значение имеет выбор рациональной статистической модели. Не приводя здесь обзора работ и не входя в подробности затронутого вопроса, отметим только, что при решении фильтрационных задач большинство авторов используют в качестве случайной величины значение напора

и коэффициента фильтрации. Можно предложить и другие параметры в качестве случайной величины. При этом очевидно, что представление измеряемого параметра в качестве случайной величины следует понимать в гносеологическом смысле [16]. В любом случае изучаемая случайная величина должна быть задана некоторой статистической совокупностью, т. е. рядом значений этой величины. Достоинством введения понятия случайной величины является возможность достаточно строгого определения ее путем задания нескольких определенных параметров, например, среднего значения и степени рассеяния, оцениваемой так называемой дисперсией. Напомним, что дисперсией называется средний квадрат отклонения случайной величины от среднего ее значения.

При возрастании количества членов ряда среднее значение случайной величины асимптотически приближается к некоторому пределу, так называемому математическому ожиданию.

Представление целого ряда на первый взгляд беспорядочно изменяющихся величин с помощью двух или трех параметров дает возможность резко уплотнить информацию. Указанное уплотнение информации и является одной из основных задач статистической обработки.

Поскольку при рассмотрении некоторого ряда значений какого-либо параметра, принятого в виде случайной величины, мы имеем дело с выборкой из всех возможных значений этого параметра, то определение статистических характеристик этой выборки интересует нас только в той степени, насколько такие характеристики совпадают с соответствующими характеристиками всей совокупности. Подобная задача также ставится и в той или иной степени решается методами статистического анализа.

Наконец, в качестве третьей очень важной задачи статистического анализа можно назвать решение вопроса об определении различий между совокупностями путем сопоставления между собой выборок из этих совокупностей.

Для решения указанных задач, полностью отвечающих перечисленным в п.V.1, имеющаяся информация должна быть, прежде всего, систематизирована. Систематизация информации может проводиться по количественным, качественным и порядковым признакам.

Поскольку методы решения всех затронутых в данном параграфе вопросов нельзя изложить в рамках настоящего приложения, а методика использования методов математической статистики для решения задач натурных исследований фильтрации на гидротехнических сооружениях должна стать предметом специальной инструкции, то ниже ограничимся изложением только самых элементарных приемов обработки натурных данных, иллюстрируя применение этих приемов на конкретных примерах.

V.3. Способы обработки результатов натурных наблюдений

Как уже отмечалось выше, для обработки данных натурных наблюдений значения величины, принятой в качестве случайной, должны быть предварительно систематизированы. С этой целью прежде всего выбираются результаты наблюдений тех точек, для которых имеет место определенная мощность наблюдений. Например, выделяются пьезометры одного горизонта, пьезометры, теоретически расположенные примерно по одной эквипотенциали и т.д. Затем, в зависимости от задач анализа, производится сортировка по какому-либо признаку, обычно по количественному или качественному. Количественный признак предполагает оценку частоты появления каких-то определенных значений измеряемой величины. Для этого весь числовой ряд возможных значений изучаемой величины обычно разбивают на отдельные разряды и подсчитывают число появлений значений каждого разряда.

Нередко встречаются величины, для которых нет количественной оценки и ранжирования по местам. Особенно интересно в этом случае альтернативное распределение, когда возможны только два взаимно исключающих события, например, исправный пьезометр и неисправный.

По полученным рядам значений случайной величины можно определить среднее значение и дисперсию.

Расчитанные для конкретных измеряемых параметров, такие показатели играют большую роль при анализе. Расчеты искомым показателей в зависимости от целей исследований и особенностей имеющейся информации могут быть весьма разнообразными. Методика расчета их должна стать предметом специального руководства. Поэтому здесь мы ограничимся приведением только одного частного случая обработки натурных данных, когда в качестве случайной величины был выбран пьезометрический напор. Целью расчета являлось сопоставление фильтрационной неоднородности трещиноватых пород и мягких грунтов. Расчеты проводились по данным наблюдений на Братской и Каховской ГЭС.

С помощью дисперсии делалась попытка оценить разброс значений напора по показаниям

пьезометров створа, теоретически расположенного вдоль эквипотенциали. В целях сравнения вычислялось значение коэффициента вариации, т. е. выраженное в процентах отношение среднего квадратичного отклонения к среднему значению случайной величины.

В результате расчетов были получены следующие значения коэффициентов вариации:

Братская ГЭС. Характеристики variability напора по показаниям пьезометров бетонной русловой плотины.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
а) пьезометры перед цемзавесой								
$\frac{\sigma}{[H]}$ %	80	80	90	70	100	110	100	90
б) пьезометры за цемзавесой								
$\frac{\sigma}{[H]}$ %	55	93	90	100	110	100	120	120

Каховская ГЭС. Характеристики variability напора по показаниям пьезометров здания ГЭС

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
а) пьезометры перед шпунтом								
$\frac{\sigma}{[H]}$ %	16	12	26	15	9	14	15	20
б) пьезометры за шпунтом								
$\frac{\sigma}{[H]}$ %	37	36	30	54	50	49	59	76

Примечание. [H] — средний напор.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

КОНКРЕТНЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКОМЕНДУЕМОЙ В УКАЗАНИЯХ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

VI. 1. Определение формы потока в основании водосливной бетонной плотины

Определение формы потока по методике, изложенной в разделе III, проводилось на Камском гидроузле при анализе фильтрационного режима в основании бетонной водосливной плотины, совмещенной со зданием ГЭС. Основание этого гидроузла сложено полускальными трещиноватыми и отчасти загипсованными породами (подробные сведения о Камском гидроузле приводятся в литературе, например, [6], [7]). Воды, фильтрующиеся в основании сооружений, можно разделить на три более или менее самостоятельных водоносных горизонта: татарский, верхне- и нижне-соликамские (считая сверху вниз).

Для защиты основания бетонной плотины от процессов химической суффозии предусмотрен длинный (100-метровый) понур, в верховой части которого оборудована глубокая цементационная завеса, пересекающая все три водоносных горизонта. Ниже завесы, в центральной части понура устроен глубокий вертикальный дренаж (схематизированный разрез сооружения приведен на рис. 21). Вопрос о времени ввода дренажа в постоянную эксплуатацию, так же, как вопрос о рациональной форме использования вертикального дренажа, не был решен априори при проектировании и являлся предметом длительных исследований после ввода сооружения в эксплуатацию. С целью определения его эффективности проводились многократные испытания, когда дренаж временно

включался.

Периодические включения и выключения дренажа, происходившие на фоне сезонных изменений уровней бьефов, к которым добавлялось еще влияние работ по дополнительной цементации завесы и некоторые другие обстоятельства, обусловили существенную нестабильность фильтрационного режима на изучаемом гидроузле.

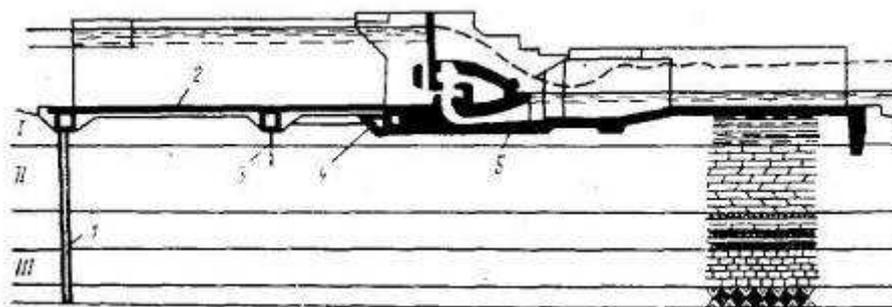


Рис. 21. Схематический поперечный разрез водосливной ГЭС
 1—цементационная завеса; 2 — понур; 3—вертикальный дренаж; 4 —горизонтальный дренаж; 5 —фундаментная плита здания ГЭС;
 водосливные горизонты: I—татарский; II—верхне-соликамский; III—нижне-соликамский.

Такая нестабильность значительно осложняет анализ и потому, при изучении материалов натуральных наблюдений, особенно большое внимание уделялось выбору периода установившейся фильтрации. С этой целью были построены графики приведенного пьезометрического напора для 150 пьезометров, контролирующих все три горизонта основания водосливной плотины. По полученным таким образом значениям приведенного напора для каждого пьезометра в отдельности для данного года наблюдений рассчитывались приращения напора в течение месяца и составлялась соответствующая таблица приращений. В качестве примера в табл. 2 приведена выдержка из проведенного расчета.

Таблица 2

Номер пьезометра	Значения приведенного пьезометрического напора (%) по показаниям пьезометров бетонной плотины Камской ГЭС в IV квартале 1963 г.									Среднемесячные приращения приведенного напора у пьезометров бетонной плотины в 1963 г.		
	октябрь			ноябрь			декабрь			октябрь	ноябрь	декабрь
	7	18	28	10	18	27	7	17	27			
112	61,5	54,3	62,1	61,8	62,5	62,0	60,4	59,5	60,3	+0,3	-1,4	-0,1
124	67,1	62,5	67,8	68,0	68,0	68,3	66,5	65,0	67,2	+0,9	-1,5	+0,7
133	45,8	36,3	45,6	45,1	46,1	45,0	42,2	41,1	42,7	-0,7	-2,9	+0,5
158	37,1	29,2	36,7	36,1	37,2	36,6	34,6	33,4	34,5	-1,0	-1,5	-0,1
174	44,5	35,6	45,3	45,1	45,0	45,0	43,5	41,4	42,0	+0,6	-1,6	-1,5
210	9,5	9,7	12,3	9,7	9,6	9,8	8,2	6,4	6,9	+0,2	-1,5	-1,3

Далее, для каждого месяца наблюдений определялось число пьезометров, у которых напор не изменился (условно было принято, что практически неизменным можно считать приращение напора не более $\pm 1\%$). Количество таких пьезометров, выраженное в процентах от общего числа наблюдаемых пьезометров, характеризует стабильность значений пьезометрического напора. На рис. 22 приведены графики стабильности значений напора для пьезометров бетонной плотины. По рис. 22 видно, что наибольшая стабильность имеет место в октябре месяце, который, по-видимому, и следует выбирать в качестве типового для данного года наблюдений (1963 г.):

Для характеристики формы потока в основании сооружения для всех трех горизонтов были построены планы гидроизопьез, приведенные на рис. 7—9.

По этим рисункам видно, что непосредственно в черте сооружения гасится от 20 до 40% напора, и подпитка, как и разгрузка потока, происходит за пределами сооружения. Сопоставление

планов гидроизопьез между собой свидетельствует о значительно большей общности между татарским и верхне-соликамским горизонтами, чем между верхне- и нижне-соликамскими. В последнем поток явно направлен по диагонали, что вполне соответствует данным изысканий о расположении зон повышенной трещиноватости.

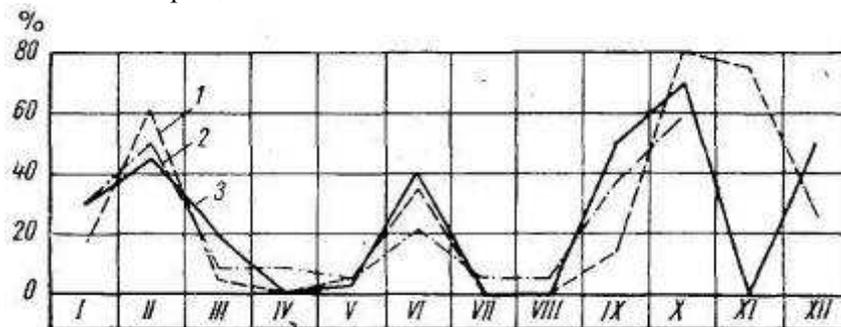


Рис. 22. Графики стабильности значений приведенного пьезометрического напора
1 — пьезометры нижне-соликамского горизонта ; 2—контактные пьезометры;
3 - пьезометры верхне-соликамского горизонта.

Для характеристики гидравлической связи между горизонтами были построены планы изолиний разности приведенных напоров между горизонтами. Искомые разности напоров определялись по показаниям пьезометров, водоприемники которых расположены примерно по одной вертикали. Такие планы приведены на рис. 10—11. Знаки минус определяют превышение приведенного напора в верхнем горизонте над напорами ниже расположенного горизонта. По названным рисункам видно, что возможность подпитки нижне-соликамского горизонта из верхне-соликамского и верхне-соликамского из татарского имеет место в правобережной части верхового участка потока. Соответственно разгрузка потока возможна в центральной и низовой части потока и главным образом на низовых участках левобережной части. Более определенного заключения о взаимодействии потоков на основании текущих наблюдений за пьезометрическими напорами сделать нельзя. Однако и соображения о расположении вероятных участков подпитки и разгрузки могут быть успешно использованы в качестве отправных пунктов для получения дополнительной информации. Например, такие соображения служат основанием для сопоставления сведений о химическом составе потока на указанных участках, температуры воды и т. д.

Не останавливаясь более на деталях анализа, отметим, что в данном конкретном случае материалом для обоснованного заключения о форме фильтрационного потока явились результаты статистической обработки сведений о пьезометрических напорах, поскольку только с помощью такой обработки можно было выделить характерные периоды наблюдений, отвечающие условиям установившейся фильтрации.

VI.2. Оценка эффективности работы дренажа

В качестве конкретного примера оценки эффективности работы дренажа можно привести исследования вертикального дренажа бетонной плотины Камской ГЭС, уже упоминавшегося в VI.1 настоящего приложения. Вертикальный дренаж бетонной плотины Камской ГЭС представлен системой дренажных скважин, которые защищают основание под фундаментной плитой с трех сторон вдоль напорного фронта в центральной части понура с шагом в 5 м и вдоль устоев с шагом 10 м. Водоприемники дренажных скважин установлены в пределах верхне-соликамского горизонта. Все дренажные скважины подсоединены к дренажному коллектору, давление в котором может регулироваться в довольно широких пределах.

Включения вертикального дренажа в работу за последние 6 лет проводились многократно. Дренажирование основания осуществлялось при различных значениях напора в дренажном коллекторе. Обычно при включении дренажа изменение напора в дренажном коллекторе проводилось ступенчато, причем на каждой ступени дренаж работал в течение некоторого промежутка времени, достаточного для создания установившегося режима. В результате накопилось довольно большое количество экспериментальных данных.

Во время включения дренажа наблюдалось истечение из дренажного коллектора и общее понижение напора на большей части основания. Таким образом, работоспособность дренажной системы не вызвала сомнений. По планам гидроизопьез можно было оценить также сопровож-

дающие включение дренажа изменения формы потока.

Для количественной оценки влияния включений дренажа была проведена статистическая обработка результатов наблюдений за пьезометрическими напорами. Для этого рассматривались показания всех пьезометров, контролирующих основание бетонной плотины, и значения приведенного пьезометрического напора потока до включения дренажа сравнивались с соответствующими значениями приведенного напора на каждой ступени понижения напора в дренажном коллекторе. По показаниям всех пьезометров, расположенных в одном и том же измерительном створе (имеются в виду створы, перпендикулярные оси плотины), на каждую рассматриваемую дату последовательно определялись величины падения напора от одного пьезометра к другому в направлении от верхнего бьефа к нижнему. Как известно, градиент напора между двумя точками пропорционален величине падения напора между этими же точками. Отсюда следует, что изменение указанных разностей напора характеризует также изменение градиентов напора. Для оценки изменений градиентов напора, следовательно и расходов, произошедших при включении дренажа, для каждой двух фиксированных наблюдательных точек вычислялось отношение величины падения напора между ними до включения дренажа: к соответствующей величине падения напора, установившейся после включения дренажа.

Все эти отношения были выписаны в виде соответствующей таблицы, выдержка из которой дана в табл. 3. С помощью указанных отношений по значениям средних цифр для отдельных участков потока оказалось возможным охарактеризовать общее приращение расхода в верховой части потока при включении дренажа (в каждом горизонте отдельно) и соответственно уменьшение расхода в низовой части (под фундаментной плитой). Эти цифры для одного из испытаний дренажа приведены в табл. 4. По этой таблице можно выделить наиболее рациональный режим включения дренажа с точки зрения эффективности защиты основания под фундаментной плитой, не вызывающий чрезмерного увеличения расхода в верховом клине.

Таблица 3

Оценка влияния включения вертикального дренажа по показаниям группы пьезометров верхне-соликамского горизонта

Год	Дата	Напор (%) в пьезометрах				Разность напора (%) в пьезометрах			Примечание
		256	112	115	118	256-112	112-115	115-118	
1964	15.VI	66,0	61,5	47,0	46,3	4,5	14,5	0,7	до включения дренажа
-	25.VI	57,0	51,5	33,0	34,6	$\frac{5,5}{1,2}$ *	$\frac{18,5}{1,3}$	—	дренаж включен отметка в дренажном коллекторе 96 м
-	6.VII	54,0	45,5	26,6	26,5	$\frac{8,5}{1,9}$	$\frac{18,9}{1,3}$	$\frac{0,1}{0,14}$	отметка в дренажном коллекторе 94 м
-	15.VIII	46,5	39,0	13,2	7,7	$\frac{7,5}{1,7}$	$\frac{25,8}{1,8}$	$\frac{5,5}{7,9}$	отметка в дренажном коллекторе 92 м
-	14.IX	41,0	33,0	5,2	6,7	$\frac{8,0}{1,8}$	$\frac{27,8}{1,9}$	—	отметка в дренажном коллекторе 90 м

* В числителе дроби—разность напора в процентах, а в знаменателе — отношение этой разности к разности по данным измерений 15.VI 1964 г.

Не останавливаясь на подробностях анализа влияния различных способов включения дренажа на фильтрационный и суффозионный режим в породах основания, которые приводятся в литературе [7], упомянем еще только методику оценки приведенного расхода дренажа.

В данном случае под термином приведенный расход дренажа подразумевается расход, отнесенный к 1 м понижения напора в дренажном коллекторе. Такой расход при линейной зависимости Q от S (S — понижение) является объективной характеристикой фильтрационной способности пласта.

Для оценки величины приведенного расхода в каждый заданный момент времени необходимо знать величину общего расхода дренажа и соответствующее этому расходу понижение напора в коллекторе по сравнению с напором, имеющим место на линии дренажа в условиях недренированного основания. Как известно, искомое понижение напора в скважине или траншее при откачке определяется по разности напора в статическом, т. е. недренированном состоянии и во время работы скважины (траншеи).

Таблица 4

Характеристика расходов в основании ВГЭС в зависимости от работы дренажа

Характеристика изменения расхода	Горизонт	Напор в дренажном коллекторе, м			
		96	94	92	90
Уменьшение расхода под фундаментной плитой Q_0' / Q_d'	$\text{О} \text{à} \text{à} \text{à} \text{ñ} \text{ê} \text{é} \text{é}$	1,5	2,0	4,0	10,0
	$\text{À} \text{à} \text{ä} \text{õ} \text{í} \text{à} - \text{ñ} \text{î} \text{è} \text{è} \text{à} \text{ì} \text{ñ} \text{ê} \text{é} \text{é}$	1,5	2,0	4,0	6,5
Увеличение расхода на участке от цементационной до дренажной потерны Q_d'' / Q_0''	$\text{О} \text{à} \text{à} \text{à} \text{ñ} \text{ê} \text{é} \text{é}$	1,2	1,4	1,7	1,9
	$\text{À} \text{à} \text{ä} \text{õ} \text{í} \text{à} - \text{ñ} \text{î} \text{è} \text{è} \text{à} \text{ì} \text{ñ} \text{ê} \text{é} \text{é}$	1,3	1,5	1,8	1,9

Примечание. Q_0 —расход до включения дренажа; Q_d - расход при включенном дренаже.

В случае работы дренажа в основании сооружения определение такого понижения напора представляет существенные технические трудности. В самом деле, как видно из планов гидроизопьез на рис. 7—8, линия дренажа (ось дренажной потерны) в условиях недренированного потока не совпадает с какой либо гидроизопьезой, т. е. напор вдоль линии дренажа непостоянен. Поэтому для оценки расчетного значения напора в статическом состоянии приходится определять среднее значение напора по показаниям пьезометров в дренажной потерне, контролирующих верхне-соликамский горизонт (напомним, что водозабор дренажных скважин происходит из верхне-соликамского горизонта). Однако, это еще не все. Графики колебания уровней воды в пьезометрах показывают, что величина указанного напора подвержена довольно существенным сезонным изменениям. Поэтому фактически в каждый заданный момент времени для работающего дренажа величина действительного понижения напора остается неизвестной. Учитывая указанное обстоятельство, по-видимому, гораздо обоснованнее вычислять приведенный расход, пользуясь представлениями о приведенном напоре.

Для этого необходимо иметь сведения о величинах осредненного приведенного напора на линии дренажа в условиях недренированного основания. (например, приведенный напор перед включением дренажа). По заданной величине приведенного напора можно найти напор в момент определения расхода, иначе говоря, то значение напора H_{O_t} , которое имело бы место на линии дренажа в данный момент времени t , если бы дренаж был включен. Поскольку напор в дренажном коллекторе в рассматриваемый момент времени H_{ϵ_t} должен быть известен, то соответствующее понижение определяется как

$$S_t = H_{O_t} - H_{K_t} \quad (14)$$

и соответствующий приведенный расход

$$q_t = Q_t / S_t \quad (15).$$

Анализ полученных значения q_t позволил выявить некоторую тенденцию к повышению приведенного расхода дренажа с течением времени, что, в свою очередь, позволило оценить изменения водопроницаемости пласта. Сопоставление значений q_t со значением расхода, предусматриваемым по расчету, свидетельствовало о достаточной эффективности дренажа.

VI.3. Оценка эффективности цементационной завесы

Так же как и в первых двух пунктах настоящего приложения, в качестве примера оценки эффективности цементационной завесы рассмотрим исследования, проводившиеся на Камской ГЭС. Для оценки эффективности цементационной завесы в основании бетонной плотины Камской ГЭС были использованы сведения о пьезометрических напорах, о химическом составе воды, о дебитах пьезометров, а также результаты опытов с индикаторами.

А. Характеристика состояния завесы по сведениям о пьезометрических напорах

Сведения о пьезометрических напорах являются наиболее многочисленными, но в то же время обладают очень большой изменчивостью. В условиях фильтрационного режима на Камской ГЭС исследования значений пьезометрического напора осложняются тем, что за годы наблюдений происходило перераспределение в эпюре фильтрационного давления на подошву сооружения. Одной из причин этого перераспределения являлось затруднение разгрузки потока из-за кольматации разгрузочных колодцев в нижнем бьефе. В результате был создан подпор со стороны нижнего бьефа, что привело к заметному изменению величины падения напора на завесе.

Для того чтобы возможно полнее исключить влияние этих побочных факторов, следует рассматривать относительное изменение напора не по всей длине подземного контура, а только на участках, непосредственно прилегающих к завесе. С этой целью падение напора на завесе было определено по зависимости

$$\frac{h_1 - h_2}{H_{a.a} - h_3} \% \quad (16)$$

где h_1 — пьезометрический напор перед завесой; h_2 — пьезометрический напор после завесы; h_3 — пьезометрический напор по оси дренажной потерны. При этом, разумеется, имеется в виду, что все три пьезометра, с помощью которых определяются искомые напоры, расположены в одном наблюдательном створе (рис. 21).

С помощью указанной зависимости по данным наблюдений в октябре 1963 г. и в сентябре 1967 г. были рассчитаны значения напора на завесе во всех створах, где имелось необходимое количество пьезометров. В качестве примера в табл. 5 приведены результаты расчета для татарского горизонта. Результаты расчета падения напора в верхне-соликамском горизонте показали, что в этом горизонте завеса менее эффективна, чем в татарском, причем в некоторых створах падение напора на завесе практически равно нулю.

Таблица 5

Падение напора на завесе (%). Татарский горизонт

Год	Дата	Створы				
		V	VI	IX	X	XI
1963	7.X	46,0	9,5	19,2	35,2	-
	18.X	44,8	8,2	21,6	34,0	10,2
	28.X	38,9	7,4	20,3	35,5	9,0
1965	9.VIII	46,0	8,1	23,3	39,5	9,3
	18.VIII	43,0	8,3	23,8	43,0	10,7
	28.VIII	46,0	5,5	21,3	48,0	12,1
1967	8.IX	43,6	7,7	25,6	39,6	12,0
	19.IX	50,0	9,5	24,8	30,0	12,0
	28.IX	49,3	8,4	27,6	37,2	11,8

Достоверность аномальных значений напора в отдельных наблюдательных точках была подвергнута особому исследованию. С этой целью изучались графики приведенного пьезометрического напора соответствующих, пьезометров за ряд лет. Было установлено, что первоначально на рассматриваемых участках наблюдалось заметное падение напора. Сближение показаний исследуемых пьезометров произошло в 1964 г. и, по-видимому это сближение свидетельствует о местном нарушении целостности завесы.

Б. Характеристика состояния завесы по результатам наблюдений за химическим составом воды

Охарактеризовать состояние завесы по данным о химическом составе потока можно двумя путями, а именно, путем сопоставления результатов химического анализа проб воды, отобранных из пьезометров перед завесой, с соответствующими результатами анализа проб воды, отобранных из пьезометров за завесой, и путем контроля изменений состава воды в этих пьезометрах с течением времени.

Сопоставление химического состава воды пьезометров до и после завесы показывает, что в татарском горизонте степень минерализации воды в низовых пьезометрах (т. е. в пьезометрах после завесы), как правило, выше минерализации воды из пьезометров, расположенных перед завесой. В большинстве створов с течением времени наблюдается некоторая тенденция к сближению уровней минерализации воды пьезометров, расположенных по разные стороны от завесы.

Различие уровней минерализации сохраняется у большинства пьезометров татарского горизонта, причем с течением времени эта разница возрастает, в верхне-соликамском горизонте у ряда пьезометров, расположенных за завесой, обнаруживаются уровни минерализации более низкие, чем у пьезометров, расположенных перед завесой.

В парных пьезометрах ниже-соликамского горизонта, т. е. в пьезометрах одного створа, расположенных до и после завесы, резкие отличия в пробах воды отмечаются только у двух пьезометров. Что же касается других пар, то состав воды в пробах из этих пьезометров практически не зависит от положения пьезометра по отношению к завесе.

Подводя итог сказанному, можно заключить, что, по-видимому, завеса играет заметную роль в формировании химического состава потока, хотя в некоторых случаях с течением времени это влияние несколько понижается.

В. Характеристика состояния завесы по данным о дебитах пьезометров

Из данных наблюдений за дебитами пьезометров для характеристики состояния завесы могут быть использованы сведения о количестве пьезометров с высокими дебитами в районе завесы и о количестве пьезометров с возрастающими дебитами. По сведениям о дебитах известно, что в районе цемзавесы имеются только два пьезометра с возрастающими дебитами: один контактный и один ниже-соликамский. Обращает на себя внимание большое количество пьезометров с относительно высокими дебитами в ниже-соликамском и особенно в верхне-соликамском горизонтах. Отсюда следует, что водопроницаемость в районе завесы в этих горизонтах является сравнительно высокой.

Для оценки изменений водопроницаемости грунта в районе завесы с течением времени представляет также интерес анализ общих закономерностей изменения дебитов одних и тех же пьезометров за весь период наблюдений.

На Камской ГЭС дебиты пьезометров измеряются два раза в год. Можно выписать значения дебита, наблюдавшиеся у каждого пьезометра в отдельности в течение последних лет, и расположить их в хронологическом порядке.

По полученному ряду будет видно, что значения дебитов изменяются довольно обеспокойно, попеременно увеличиваясь и уменьшаясь. Однако, если фиксировать время появления максимальных значений дебитов у целой группы пьезометров, то легко заметить, что по годам эти максимумы распределены неравномерно и распределение их явно подчиняется определенным закономерностям. Анализ частоты появления максимальных значений дебита в течение наблюдаемого промежутка времени показывает, что в верхне-соликамском горизонте появление максимумов дебита у большинства пьезометров приходится на 1964 г. и совпадает с завершением одного из испытаний вертикального дренажа.

Аналогичные выводы можно сделать и на основании графика изменения средневзвешенного удельного дебита.

Г. Характеристика состояния завесы по результатам опытов с индикаторами

Фильтрационный режим в районе цемзавесы изучался способом наблюдательных скважин (пьезометров). Опыты проводились осенью 1962 г. и летом 1967 г. В качестве индикатора исполь-

зовался органический краситель (флюоресцеин). Изучению подлежало 7 пар пьезометров: 3 — контактных, 2 верхне-соликамских и 2 ниже-соликамских. Из них только в одной паре пьезометров флюоресцеин не был обнаружен, в то время как в 1963 г. аналогичные опыты дали положительные результаты. Сравнительные данные по проведенным исследованиям приведены в табл. 6.

Из табл. 6 видно, что по сравнению с данными 1962 г. заметное увеличение коэффициента фильтрации произошло в двух пьезометрах верхне-соликамского горизонта. В двух других случаях (контактные и ниже-соликамский горизонт) произошедшие изменения находятся в пределах точности расчета и только в одном случае (контактные пьезометры) коэффициент фильтрации уменьшается.

Таблица 6

Значения коэффициентов фильтрации по данным опытов с флюоресцеином

257-111 (контактные)	2,00	7,00
256-112 (в.-соликамские)	9,00	6,00
245-244 (в.-соликамские)	5,00	1,00
264-261 (н.-соликамские)	3,00	3,00
263-182 (контактные)	0,30	0,30

Примечание. Коэффициент фильтрации определен в предположении, что трещиноватость составляет 0,01.

Надо сказать, что уменьшение коэффициента фильтрации, обнаруженное при испытании контактных пьезометров, вероятнее всего объясняется заилинием фильтра этих пьезометров, вряд ли это кажущееся уменьшение коэффициента фильтрации можно приписать уплотнению исследуемого участка завесы. Отсюда следует, что результаты опытов с индикаторами свидетельствуют об уменьшении плотности завесы.

На основании изложенных результатов проведенных наблюдений можно сделать следующие выводы. Состояние цементационной завесы в татарском горизонте можно признать удовлетворительным, поскольку эффективность этой завесы с течением времени почти не изменяется, но в верхне- и ниже-соликамском горизонтах имеются несомненные признаки нарушения целостности завесы. В связи с этим были сделаны рекомендации о целесообразности проведения в ближайшее время специальных исследований по определению рациональной технологии работ для усиления цемзавесы.

VI.4. Оценка водопроницаемости пород основания

А. Оценка водопроницаемости основания земляных пород

Главным источником информации о водопроницаемости пород основания, земляных плотин обычно являются результаты наблюдений за пьезометрами. Легко показать, что данные только об общем характере распределения напора в основании плотины сами по себе еще не могут характеризовать водопроницаемости, поскольку одни и те же распределения напора могут вызываться совершенно различными причинами. В этом отношении гораздо более интересную информацию дают сведения о колебаниях напора в период неустановившейся фильтрации, вызванной относительно резкими изменениями уровней бьефов. Одним из способов характеристики чувствительности показаний пьезометров к изменениям напора в пласте является изучение показателей инерционности.

Представление об инерционности было введено для оценки величины отклонения приведенного пьезометрического напора от некоторого определенного и постоянного значения, которое характерно для рассматриваемой точки в условиях фильтрационного потока с неизменяемыми линиями тока. Эти отклонения могут быть результатом собственной инерционности пьезометра и явлений неустановившейся фильтрации в пласте. В первом случае причиной инерционности является емкость пьезометра, вследствие чего любые изменения напора сопровождаются притоком или отбором соответствующего объема воды, и напор пьезометра в отдельные моменты времени может более или менее существенно отличаться от соответствующего напора потока. Во втором случае, когда скорость распространения изменений давления на границах питания (изменения уровней бьефов) относительно невелика, во время распространения этих изменений приведенный пье-

зометрический напор потока в изучаемой точке может отличаться от соответствующего значения напора в условиях установившейся фильтрации.

Величина показателя инерционности, вычисленная по результатам измерений для двух смежных моментов времени, характеризует способность пьезометра изменять уровень воды в нем в зависимости от изменения напора потока. Поскольку скорость притока воды к пьезометру и скорость распространения возмущений в потоке зависит от водопроницаемости пласта, то названный показатель характеризует фильтрационные свойства пласта.

Значения показателя инерционности для некоторого промежутка времени можно определять по формуле

$$\eta = (H_2 - H_{i_2}) / (H_1 - H_{i_1}) \quad (17)$$

где H_{i_1} — пьезометрический уровень в момент t_1 , H_{i_2} — пьезометрический уровень в момент t_2 , H_2 — пьезометрический уровень, соответствующий условиям установившейся фильтрации в момент t_2 ;

$$H_2 = h_c H_{o_2} + H_{f.A_2} \quad (18)$$

где h_c — приведенный пьезометрический напор в рассматриваемом пьезометре, определяемый по участку графика, соответствующему периоду установившейся фильтрации; H_{o_2} — действующий напор на сооружение в момент t_2 ; $H_{f.A_2}$ — уровень нижнего бьефа в момент t_2 . Значения t_1 и t_2 отвечающие началу и концу участков монотонного изменения уровня бьефов (например, период паводка), устанавливаются по гидрографам.

Показатель инерционности равен нулю в случае, когда пьезометрический напор, измеряемый в пьезометре, все время равен соответствующему напору установившегося фильтрационного потока и будет тем выше, чем более инерционен пьезометр, т. е. иначе говоря, чем более отстаёт уровень воды в пьезометре от напора в условиях установившегося потока. Можно показать, что показатель инерционности зависит от конструкции и условий заложения пьезометра, но при малых отличиях в геометрии пьезометров в первом приближении этой зависимостью можно пренебречь. Тогда показатель инерционности любого пьезометра допустимо рассматривать как величину, однозначно характеризующую водопроницающую способность пористой среды и фильтра, и чем больше будет η , тем менее проницаемой является характеризующая им пористая среда.

При обработке материалов исследований для характеристики инерционности пьезометров был выбран период паводка (от последнего замера в апреле t_1 до последнего замера в мае t_2). Значение h_c определялось по среднему значению приведенного пьезометрического напора в период наибольшей стабильности потока (в сентябре месяце). С помощью показателя инерционности проводилась сравнительная оценка проницаемости пород на различных участках основания земляных плотин. Осредненные значения этих показателей для основания двух земляных плотин Камской ГЭС (русловой и пойменной) приведены в табл. 7.

Таблица 7

Значения показателей инерционности, осредненные по горизонту

Год	Горизонт	Русловая плотина	Пойменная плотина
1964	Татарский	0,33	0,49
1963		0,37	0,41
1964	Верхне-Соликамский	0,19	0,48
1963		0,29	0,40
1964	Нижне-Соликамский	0,28	0,57
1963		0,36	0,48

Из табл. 7 видно, что проницаемость основания русловой плотины значительно выше проницаемости основания пойменной плотины и с течением времени в породах основания русловой

плотины наблюдается тенденция к повышению водопроницаемости.

Б. Оценка проницаемости основания бетонных сооружений

Оценку водопроницаемости основания бетонного сооружения рассмотрим на примере исследований на Иркутской ГЭС. На этом гидроузле для контроля проницаемости пород основания бетонного сооружения (здания ГЭС) систематически определялись дебиты пьезометров. Однако методика контроля этих дебитов была определена неудачно — излив воды из пьезометров проводился при различных открытиях вентиля, причем давление в пьезометре в момент излива не измерялось. В результате накопилось большое количество данных, точность измерения которых является весьма невысокой. В таких условиях сделать какие-либо заключения о наличии изменений водопроницаемости можно только путем статистического анализа.

В соответствии с известными методами обработки, имеющаяся информация о дебитах была разбита на разряды. Результаты такой разбивки для двух лет наблюдений 1965 и 1967 гг. приведены в табл. 8.

Таблица 8

Год	Месяц	Значения дебита пьезометров, л/сек									
		1-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
1967	VI	27	10	4	1		1				
1965	I	22	11	6	1		2	1			

Из табл. 8 видно, что с течением времени обнаруживается легкая тенденция к уменьшению дебитов. Такая тенденция скорее всего является следствием некоторого заиливания водоприемников пьезометров, а не свидетельствует о понижении водопроницаемости пород основания.

На основе полученных данных можно полагать, что сколько-нибудь существенных изменений водопроницаемости пород основания за рассматриваемый промежуток времени не произошло, так как в противном случае эти изменения несомненно сказались бы на распределении дебита.

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ФОРМЫ РЕГИСТРАЦИИ НАТУРНЫХ ДАННЫХ

Приведенные в указаниях формы журналов для регистрации натуральных данных получили должную апробацию на практике. Однако при большом количестве наблюдательных точек, при накоплении информации в ходе многолетних наблюдений возникают некоторые трудности хранения натуральных данных. Поэтому в области хранения информации для облегчения работы групп наблюдателей на крупных гидроузлах представляется рациональным переходить к более прогрессивным формам малой механизации. Таким средством малой механизации являются ручные перфокарты. Ниже приводится проект применения перфокарт для регистрации результатов наблюдений за пьезометрами.

VII.1. Краткие сведения о хранении информации с помощью перфокарт

Ручные перфокарты (перфокарты ручного управления) относятся к малой механизации систематизирования информации. Несомненно, что перфокарты — это простейшее приспособление для хранения и поиска информации любого содержания, особенно удобное для случаев повторяющихся данных о любом количестве объектов. Одной из категорий назначения перфокарт являются карты текущего учета, примером которого может служить оперативный учет сведений о пьезометрических уровнях. Системы текущего учета предназначены для обработки непрерывно поступающих информационных данных при более или менее постоянном числе признаков.

Перфокарты представляют собой стандартных размеров листок довольно плотной бумаги, по краям которого нанесены перфорации. При нанесении на перфокарту какой-либо информации о

контролируемом объекте устанавливается соответствие между характерным признаком для данного объекта и одной из имеющихся перфораций. Наличие или отсутствие указанного признака фиксируется с помощью определенного надреза. Установление соответствия между выбранными признаками объекта и формой фиксации их на краевой перфорации называется кодированием.

В СССР приняты перфокарты ручного обращения трех размеров: К-4 (297X207 мм); К-5 (207X147 мм); К-6 (147X105 мм).

Наиболее распространены перфокарты типа К-5 и К-6, снабженные однорядной или двухрядной перфорацией. Количество ячеек, которые можно использовать для записей любых данных, составляет:

Тип перфораций	Размер перфокарт	
	К-5	К-6
Однорядная	100	66
Двухрядная	200	132

В целях сохранения карт в массиве, исключения ошибок и порчи карт, вызываемых перекосами, угловые отверстия не рекомендуется использовать для кодирования. Эти отверстия используются для уравнивания пачек карт перед их сортировкой.

Перфокарты с краевой перфорацией, предназначенные для ручной обработки, не приспособлены для вычислительных операций и мало пригодны для статистической обработки, поскольку в этом случае требуется их ручной пересчет. Ручные перфокарты призваны помочь легко и быстро осуществить подбор, группировку и сортировку объектов по любому признаку и группе признаков, а также обеспечить поиск зависимости между количественными и качественными показателями (или группами показателей). Информация, нанесенная на поля карты путем комбинации вырезов, может быть легко найдена. Для ее отыскания и декодирования не требуется сложной аппаратуры или специально обученного персонала.

В каждой системе для каждого признака (или группы признаков) отводится раз навсегда определенное поле (участок перфорации) или поле на чистом участке. Выбирается также способ (ключ) кодирования. В результате составляется «кодовая карта» (макет заполнения перфокарт), действительный только для данной системы.

В качестве примера, можно предложить перфокарты типа К-5 с двухрядной краевой перфорацией для обработки данных по наблюдениям за пьезометрами на гидротехнических сооружениях (рис. 23 а, б).

По верхней стороне карты слева направо, начиная с третьей пары, закодированы данные о конструкциях, типах и местоположении пьезометров на земляных и бетонных сооружениях или на прилегающих территориях. Кодированные признаки перечислены в нижеследующих таблицах и кодируются мелким вырезом при наличии признака, или отсутствием выреза при его отсутствии (табл. 9).

Таблица 9

Но- мер пары	Земляные сооружения		Бетонные сооружения	
	признак	наличие выреза	признак	наличие выреза
1	В теле сооружения		В теле сооружения	
	В основании сооружения	+	В основании сооружения	+
2	С фильтром	+		
	Без фильтра			
3	Опускные		Опускные	+
			Закладные	+
4	С напором	+	С напором	+
	Без напора		Без напора	
5	Точечные	—+	Контактные	+

	Шахтные	Глубинные	
6		Прямые	
7		Наклонные	+
8	Временный резерв	С выделением газа	+
9		Без выделения газа	
10		Временный резерв	

Примечание. Знак + указывает на наличие выреза.

На остальных 10 парах отверстий верхнего края закодированы геологические данные пласта, контролируемого данным пьезометром. Первые 8 пар кодируются ключом 1-2-4-7 и разделяются на скальные и нескальные. Кодирование признаков приведено в табл. 10.

Таблица 10

Номер признаков	Скальные породы	Нескальные породы
1	Аргиллиты	Галька и щебенка крупная
2	Алевриты	Валунно-каменный грунт
3	Песчаники	Галька и щебенка мелкая
4	Известняки	Песок крупнозернистый
5	Доломиты	Песок мелкозернистый
6	Гипс-ангидриты	Супесь (песок пылеватый)
7	Мерзлотные	Суглинок
8	Бетон	Глина
9	Изверженные	Лесс
10	Метаморфизованные	Строительный мусор

Оставшиеся 2 пары кодируют физико-механическое состояние грунтов.

Код	9 пара	10 пара
Нет выреза	Естественное	Состояние (сложение) грунтов
Мелкий вырез	Насыпные	Трещиноватые
Глубокий вырез	Намывные	Выветрелые

С левой части карты снизу вверх размещены 2 признака: кодовое наименование сооружения (от 1 до 1000)¹ и год заложения пьезометра (две последние цифры XX века).

С правой стороны карты отведены поля для номера пьезометра. Учитывая систему нумерации пьезометров на Братской ГЭС, номера предусмотрены пятизначные. Обе стороны закодированы ключом 1-2-4-7 (см. рис. 24). Внутреннее поле карты лицевой стороны занято данными по местоположению пьезометра его отметкам, конструкции, геологическим данным, а также сведениями о ремонте пьезометра, его чистках, работе и т. п. Внутреннее поле карты с обратной стороны занято данными по замерам уровней в пьезометрах по годам (1 карта на 4 года из расчета 1 замер в 10 дней).

¹ Список наименований сооружений и их кодовых номеров в данном случае не составлялся.

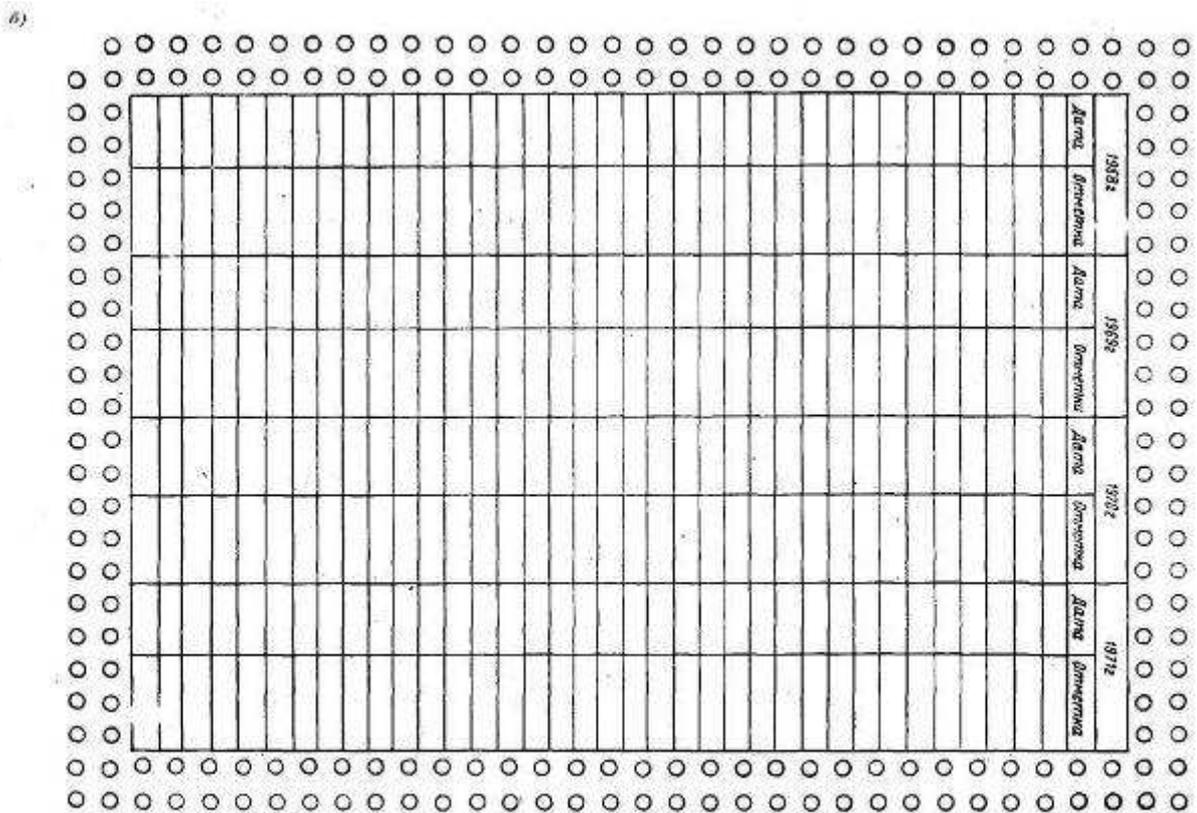
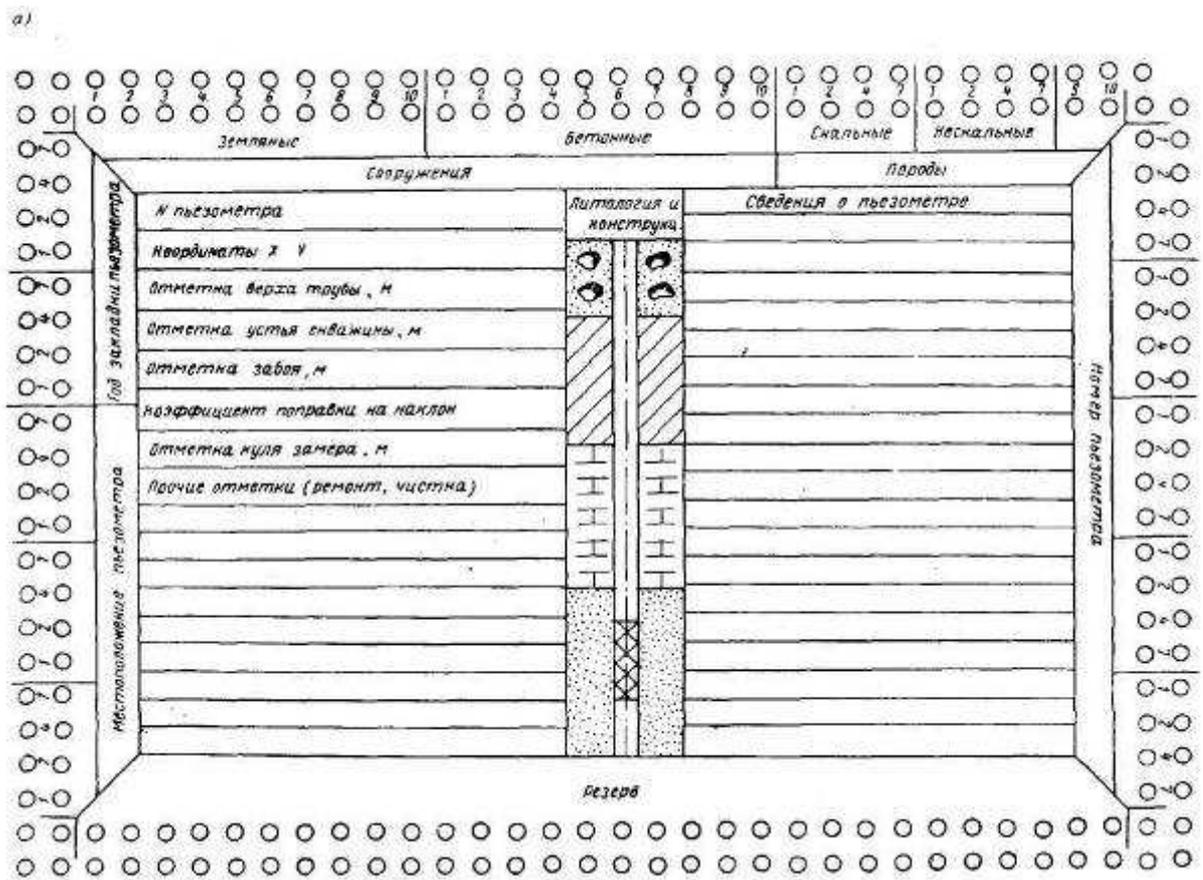


Рис. 23. Перфокарта типа К-5 с двухрядной краевой перфорацией
 а) лицевая сторона; б) обратная сторона

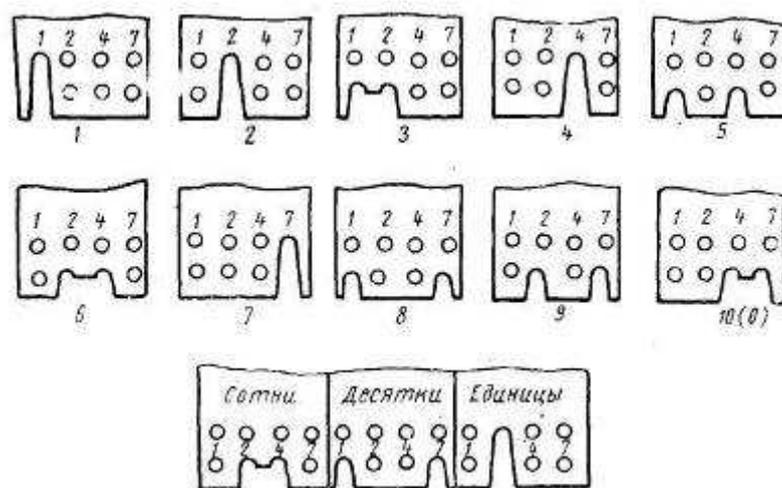


Рис. 24. Двухрядный ключ 1-2-4-7. Закодированы цифры от 1 до 10(0), (например, внизу закодировано число 682).

VI 1.2. Некоторые рекомендации

1 Рабочий массив перфокарт для ручной обработки не должен превышать 500—1000 экз., которые целесообразно хранить в одном ящике, сделанном строго по размерам карт (особенно по ширине).

2. Срезанный угол необходимо располагать в ящике и при работе в правом верхнем углу.

3. При пользовании перфокартами следует придерживаться временной «Инструкции по эксплуатации комплекта оборудования для картотек на картах с краевой перфорацией», составленной сотрудниками ВИНТИ и Таллинского завода металлоизделий, и пользоваться комплектом оборудования, выпускаемого Таллинским заводом. В комплект входят: кодирующая линейка, краевой и шлицевой компостеры, селекторный ящик К-5 и ящик для хранения карт, десять селекторных и две ручных спицы ¹.

¹ В конце 1965 г. стоимость комплекта составляла 35 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аравин В. И., Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. Госстройиздат, 1955.
2. Аравин В. И., Носова О. Н. Натурные исследования фильтрации (теоретические основы). «Недра», 1968.
3. Гинзбург М. Б. Натурные исследования крупных гидротехнических сооружений. «Энергия», 1964.
4. Инструкция и методические указания по определению коэффициентов фильтрации водонесных пород методом опытных откачек из скважин. И-38-67. «Энергия», 1967.
5. Наставление гидрометрическим станциям и постам. Вып. 6, ч. I и II. 1957.
6. Носова О. Н. Общие правила обработки результатов наблюдений за пьезометрами при натурных исследованиях фильтрации. «Известия ВНИИГ», т. 81, 1966.
7. Носова О. Н. О задачах и методике натурных исследований работы дренажных устройств в суффозионно-неустойчивых основаниях сооружений. «Известия ВНИИГ», т. 85, 1967.
8. Определение направления и скорости течения вод. Госэнергоиздат, 1949.
9. Применение методов математической статистики для анализа и прогноза режима уровня подземных вод, 1967.
10. Соломенцев Н. А. Гидрометрия. Гидрометиздат, 1958.
11. Справочное руководство гидрогеолога. «Недра», 1967.
12. Технические указания по установке контрольно-измерительных приборов в бетонные гидротехнические сооружения, производству отсчетов и первичной их обработке (проект). «Энергия», 1967.

гия», 1964.

13. Указания по организации и проведению натуральных наблюдений на гидротехнических сооружениях. «Энергия», 1964.

14. Указания по методике натуральных наблюдений химической суффозии в основаниях гидротехнических сооружений. «Энергия», 1968.

15. Указания по применению радиоактивных индикаторов для исследования фильтрации в гидротехнических сооружениях. «Энергия», 1965.

16. Швидлер М. И. Фильтрационные течения в неоднородных средах. Гостоптехиздат, 1963.

17. Эйдельман С. Я. Натурные исследования бетонных гидротехнических сооружений. Госэнергоиздат, 1960.