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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАТУРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ДИАГНОСТИКЕ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

П81–2001
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2001

gost.e-ecolog.ru

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

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО НАТУРНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ
И ДИАГНОСТИКЕ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН,
РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

П81–2001
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2001

УДК 624.139.34:626/627

Рекомендации предназначены для использования в качестве практического пособия при проектировании и проведении контрольных натурных наблюдений и диагностировании грунтовых плотин, расположенных в районах распространения вечномерзлых и талых грунтов.

Рекомендации содержат подробные методические указания по выбору элементов диагностирования, назначению диагностических параметров и критериев, контролирующих состояние грунтовых плотин, по составу и методике натурных наблюдений за плотинами и технике их диагностирования.

© ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Техническая диагностика гидротехнических сооружений, повреждения и аварии которых, как правило, приводят к большим материальным ущербам и даже человеческим жертвам, является механизмом эффективного инженерного контроля их эксплуатационной надежности и безопасности.

Для напорных сооружений, построенных в зоне вечной мерзлоты, контроль и диагностирование их работы и состояния имеют особую актуальность ввиду значительного, чаще неблагоприятного для сооружений влияния процессов деградации мерзлоты под воздействием тепла водохранилищ и фильтрующейся воды. При этом переход грунтов оснований сооружений из мерзлого в талое состояние обычно сопровождается весьма значительными деформациями системы "основание-сооружение".

Настоящие Рекомендации составлены на основе накопленного отечественного опыта натурных наблюдений за грунтовыми плотинами, эксплуатируемыми в условиях сурового климата и вечной мерзлоты и призваны способствовать установлению единого методического подхода к задачам натурных наблюдений и техническому диагностированию надежности и безопасности работы таких сооружений. Рекомендации базируются на современных методах и технических средствах натурного контроля гидротехнических сооружений, получивших широкое применение на отечественных и зарубежных объектах. Освещаемые вопросы диагностирования грунтовых плотин с применением предельно допустимых показателей (критериев) надежности в значительной мере носят пионерный характер и в последующем подлежат более углубленным проработкам.

В Рекомендациях рассматриваются: общие положения по их применению; особенности эксплуатации грунтовых плотин в условиях сурового климата; цели, задачи, состав, методика и техника контрольных натурных наблюдений, выполняемых на плотинах; основные принципы технической диагностики сооружений и назначения критериев их надежности и безопасности.

Рекомендации разработаны в лаборатории натурных исследований и технической диагностики гидротехнических сооружений ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева" канд. техн. наук В.С. Кузнецовым.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Назначение Рекомендаций и область их применения

1.1. Настоящие Рекомендации следует применять как практическое пособие при проектировании и проведении контрольных натурных наблюдений и диагностировании грунтовых плотин всех видов и классов, расположенных в районах распространения вечномерзлых и талых грунтов.

1.2. Рекомендации содержат методические указания по соблюдению общих положений технического диагностирования эксплуатационной надежности грунтовых плотин, выбору элементов диагностирования, назначению диагностических параметров и критериев, контролирующих их состояние, по составу и методике натурных наблюдений за плотинами, технике их диагностирования.

Целью настоящих Рекомендаций является установление единого методического подхода к диагностированию грунтовых плотин, в том числе расположенных в зоне вечной мерзлоты.

Нормативные ссылки

1.3. В тексте Рекомендаций используются ссылки на следующие нормативные документы:

СНиП 2.06.05-84*. Плотины из грунтовых материалов. М.: Госстрой СССР.1991.

СНиП 2.06.02-85. Основания гидротехнических сооружений. Нормы проектирования. М.: Стройиздат. 1985.

Внесены ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева»	Утверждены РАО «ЕЭС России» письмо № 02-1-03-4/633 от 03.07.98	Срок введения в действие I кв. 2002 г.

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / РД 34.20.501-95. 15-е издание. М. 1996.

Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечной мерзлоты: ВСН 30-83 / Минэнерго СССР. Л. 1983.

Временные указания по проведению контрольных наблюдений и исследований на плотинах из местных материалов во время их возведения и эксплуатации: ВСН 35-70 / Минэнерго СССР. Л., 1971.

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

Руководство по натуным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами: П-648. Л., 1980.

Положение об отраслевой системе надзора за безопасностью гидротехнических сооружений электростанций. РД 34.03.102-94. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1981.

ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.

ГОСТ 27.002-83. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1983.

Рекомендации по наблюдениям за напряженно-деформированным состоянием бетонных плотин: П 100-81/ВНИИГ. Л., 1982.

Рекомендации по проведению визуальных наблюдений и обследований на грунтовых плотиных: П 72-2000/ВНИИГ. СПб, 2000.

Рекомендации по проведению натурных наблюдений за осадками грунтовых плотин: П 87-2001/ВНИИГ. СПб, 2001.

Рекомендации по проведению натурных наблюдений за температурным режимом грунтовых плотин в условиях сурового климата: П 88-2001/ ВНИИГ. СПб, 2001.

Рекомендации по диагностическому контролю фильтрационного режима грунтовых плотин: П 71-2000/ВНИИГ. СПб, 2000.

Термины и определения

1.4. Термины и определения, использованные в настоящих Рекомендациях, приняты в трактовке ГОСТ 19185-73, ГОСТ 27.002-83 и Рекомендаций П 100-81/ВНИИГ.

Особенности эксплуатации грунтовых плотин в условиях сурового климата и наличия вечной мерзлоты

1.5. Грунтовые плотины, возведенные в условиях сурового климата и вечной мерзлоты, обладают определенными специфическими конструктивными и эксплуатационными особенностями.

1.6. Зоны вечной мерзлоты, как правило, характеризуются наличием мощной толщи четвертичных отложений (100-200 м). Повсеместно распространены покровные, преимущественно делювиальные отложения, представленные пылеватыми суглинками высокой влажности, песками, супесями, мореной и др. [1]

1.7. Вечномерзлые грунты при изменении температурного режима являются ярко выраженными структурнонеустойчивыми грунтами. Основной и определяющей особенностью вечномерзлых грунтов является наличие в них льда. В глинистых грунтах (глины, суглинки, супеси) льдистость обуславливается концентрацией ледяных включений в виде отдельных линз и прослоек. Для песчаных и гравийно-галечных грунтов типична массивная и корковая криогенная текстура, "цементирующая" частицы. В скальных и полускальных грунтах лед содержится в виде заполнителя трещин и пустот. В вечномерзлых грунтах может встречаться погребенный лед в виде линз толщиной до нескольких метров. Льдистость по объему может достигать 25-50% и более. Для сильнольдистых грунтов при их оттаивании характерна весьма малая несущая способность и большая сжимаемость. Мерзлые грунты в зависимости от их состава способны к значительному и неравномерному морозному пучению, явлениям солифлюкции, к морозобойному растрескиванию, интенсивному выветриванию, ползучести и другим неблагоприятным изменениям своих свойств при изменениях температурного режима. При низких отрицательных температурах механическая прочность мерзлых грунтов сильно повышается, при оттаивании – они снижают, либо теряют несущую способность, приобретая текучую консистенцию, становятся фильтрационноспособными, сильно сжимаемыми под нагрузкой. Изменение физико-механических свойств мерзлых грунтов при оттаивании неодинаково для грунтов разной текстуры.

1.8. При эксплуатации плотин, построенных по мерзлому принципу (принцип I), оттаивание мерзлоты в пределах их противофильтрационных элементов (ядро, призма, мерзлотная завеса и др.), низового клина и основания под ним, а также фильтрация не допускаются. К моменту наполнения водохранилища грунты основания и тела плотины должны находиться в мерзлом состоянии.

При оттаивании мерзлоты в процессе эксплуатации такого типа плотины возможны значительные и неравномерные ее осадки и просадки, нарушения фильтрационной прочности и статической устойчивости сооружения.

1.9. При эксплуатации плотин, построенных по талому принципу (принцип II), допускается оттаивание вечномерзлых грунтов основания и тела плотины, если оно проморожено в процессе строительства. Водонепроницаемость таких плотин обеспечивается соответствующими противофильтрационными элементами (ядро, экран, диафрагма) с допущением фильтрации в расчетных пределах.

1.10. Основные проблемы, возникающие при эксплуатации этого типа плотин, а также мерзлых плотин, перешедших в талое состояние, заключаются в возможных нарушениях их фильтрационной прочности и статической устойчивости, появлении контактных размывов в зонах сопряжения плотин с основанием и встроенными бетонными сооружениями, в появлении и развитии в теле плотин опасных трещин, в том числе фильтрующих, в перенапряжении противофильтрационных элементов вследствие значительных и неравномерных деформаций сооружения и основания и др.

Примечание. Согласно ВСН 30-83 и СНиП 2.06.05-84*, в районах распространения вечномерзлых грунтов при проектировании гидротехнических сооружений и их оснований принимается один из следующих принципов строительства:

Принцип I. Вечномерзлые грунты в основании сохраняются в процессе строительства и в течение всего заданного периода эксплуатации, а талые грунты промораживаются, обеспечивая водонепроницаемость и фильтрационную прочность противофильтрационного устройства сооружения, основания и его контакта с сооружением.

Принцип II. Допускается оттаивание вечномерзлых грунтов в процессе строительства и эксплуатации либо предусматривается их искусственное оттаивание на заданную глубину до начала или в процессе возведения сооружений.

Смешанный принцип. Допускает использование принципов I и II на разных по длине участках одного и того же сооружения или для разных сооружений одного гидроузла.

1.11. В соответствии с положениями пп. 1.7-1.10 температурный режим грунтовых плотин и основания следует рассматривать как один из главных факторов, определяющих их эксплуатационную надежность, требующий систематических контрольных натурных наблюдений за его изменениями.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ СООРУЖЕНИЙ

Общий порядок диагностирования

2.1. При диагностировании гидротехническое сооружение (плотина) должно рассматриваться как система взаимодействующих и функционально взаимосвязанных диагностических элементов [2]. Эксплуатационная надежность плотины, как технической системы, оценивается по известным (полученным наблюдениями) параметрам и признакам надежности ее элементов и соответствующим им предельно допустимым показателям (критериям).

2.2. В общем случае порядок диагностирования сооружения должен предусматривать следующее:

а) выбор наиболее ответственных для контроля элементов диагностирования плотины и их диагностических параметров и признаков;

б) организацию и проведение систематических натурных наблюдений и специальных исследований по определению диагностических параметров и признаков работы и состояния элементов плотины;

в) назначение соответствующих предельно допустимых показателей (критериев) для каждого из выбранных диагностического параметра или признака;

г) оценку надежности и безопасности сооружения и основания путем многофакторного анализа и сравнения фактических (полученных натурными наблюдениями) значений диагностических параметров, контролирующих их работу и состояние, с соответствующими этим параметрам критериальными показателями, характеризующими нормативные и проектные требования к сооружению.

2.3. Технические состояния плотины определяются следующими соотношениями:

при исправной работе $$R_{\text{ном}} \le R_{\text{нат.}} \le R_{\text{пред доп.}};\qquad (2.1)$$

при неисправной работе $$R_{\text{пред доп.}} < R_{\text{нат.}} < R_{\text{пред.}};\qquad (2.2)$$

при предельном (предаварийном) состоянии

$$R_{\text{пред доп}} < R_{\text{нат}} \approx R_{\text{пред}},\qquad (2.3)$$

где $R_{\text{нат}}$, $R_{\text{ном}}$, $R_{\text{пред.доп}}$, $R_{\text{пред}}$ – соответственно фактическое (измеренное в натуре), номинальное, предельно допустимое и предельное критериальные значения диагностического параметра R работы плотины (или их совокупности).

Методическая схема диагностирования

2.4. Методическая схема технического диагностирования плотины должна включать в себя следующие основные этапы:

а) анализ конструктивных особенностей и условий работы сооружения, выбор объектов (элементов) его диагностирования;

б) выбор диагностических параметров и признаков, контролирующих работу и состояние элементов диагностирования;

в) выполнение статических, фильтрационных, температурных и других расчетов или специальных исследований плотины и назначение на их основе первоначальных предельно допустимых значений (критериев) диагностических параметров;

г) определение начальных фактических значений диагностических параметров работы и состояния элементов плотины и действующих на них нагрузок натурными наблюдениями и исследованиями (на этапе наполнения водохранилища);

д) уточнение систематическими натурными наблюдениями и специальными исследованиями фактических значений диагностических параметров работы и состояния элементов плотины и действующих на них нагрузок и воздействий на начальном и последующих этапах эксплуатации сооружения при проектном напоре;

е) сопоставление фактических натурных значений диагностических параметров и признаков работы и состояния элементов плотины, полученных в ходе наполнения водохранилища и в последующие периоды эксплуатации, с соответствующими им критериальными показателями надежности и безопасности сооружения;

ж) проведение многофакторного анализа результатов комплекса инструментальных и визуальных натурных наблюдений за работой и состоянием плотины, оценку выявленных процессов и тенденций и обоснование на основе этого анализа эксплуатационной надежности и безопасности сооружения.

2.5. Первоначально устанавливается степень соответствия или несоответствия фактических значений всех диагностических параметров и признаков состояния плотины их критериальным показателям на основе неравенств (2.1)-(2.3). Кроме того, оцениваются степень соответствия геотехнических, геометрических и других характеристик показателей работы и состояния элементов плотины требованиям проекта, а также наметившиеся тенденции развития процессов.

2.6. При выполнении всеми фактическими диагностическими показателями условия неравенства (2.1) делается заключение о соответствии

работы и состояния плотины нормативным и проектным требованиям и условиям эксплуатационной надежности и безопасности. Такое заключение о надежности плотины не должно снижать требований к проведению систематических натурных наблюдений и текущих ремонтов сооружений.

2.7. При превышении одним или совокупностью фактических диагностических параметров их номинальных критериальных значений в пределах неравенства (2.2) следует считать плотину неисправной и частично неработоспособной.

Степень неработоспособности плотины определяется многофакторным анализом ее работы и состояния на основе результатов натурных наблюдений и расчетов по уточненным расчетным схемам и математическим моделям, учитывающим отмеченные дефекты сооружения.

2.8. При выполнении натурных диагностических параметров работы плотины условиям равенства (2.3) состояние ее должно оцениваться как предаварийное.

Рекомендации по выбору объектов (элементов) диагностирования плотины

2.9. В состав объектов диагностирования плотины должны включаться те из ее элементов (в том числе основание), состояние которых в значительной степени определяет надежность и безопасность сооружения.

2.10. При выборе элементов диагностирования необходимо учитывать размеры и конструктивные особенности плотины, класс ее капитальности, инженерно-геологические, криологические, климатические и гидрологические условия ее эксплуатации, а также особенности и дефекты строительства сооружения.

2.11. В общем случае для плотин I-III классов в состав элементов диагностирования должны быть включены следующие: противофильтрационные элементы (ядро, экран, диафрагма, шпунты, инъекционная или мерзлотная завесы и т.п.); дренажные устройства, переходные слои и обратные фильтры; грунтовое тело плотины в целом и боковые призмы в отдельности; гребень и бермы; противоволновые и другие защитные крепления откосов; зоны сопряжения противофильтрационных элементов (ядро, экран, диафрагма и др.) с основанием, берегами, цементационной завесой и бетонными сооружениями, встроенными в плотину (водосбросы, водоспуски, цементационные и смотровые галереи и др.); граничные зоны сопряжения талых и мерзлых грунтов; талики в основании; территории, прилегающие к низовому откосу, подверженные воздействиям нижнего бьефа, фильтраци-

онного потока, промерзания и других факторов; береговые склоны в приплотинных зонах водохранилища и акватории нижнего бьефа.

Для каждой конкретной плотины, в зависимости от конструктивных особенностей и условий эксплуатации, состав элементов и объектов диагностирования ее работы и состояния должен уточняться. В качестве примера на рис. 2.1 показаны элементы диагностирования состояния плотины с диафрагмой.

2.12. Каждый из назначенных для контроля элементов диагностирования плотины должен характеризоваться одним или совокупностью диагностических параметров или качественных признаков его технического состояния. Значения диагностических параметров (расходов, напряжений, напоров и т.п.) должны регистрироваться в период эксплуатации сооружения систематическими натурными измерениями, а качественные признаки состояния (наледи, просадки, заиления, мутность воды и т.д.) - визуальными или другими органолептическими методами с использованием простейших технических средств и приспособлений.

Рекомендации по выбору диагностических параметров и признаков, контролирующих работу и состояние грунтовых плотин

2.13. В общем случае состав контролируемых диагностических параметров и признаков грунтовой плотины должен определяться проектом натурных наблюдений в соответствии с особенностями конструкции и классом капитальности плотины, составом элементов диагностирования, условиями строительства и эксплуатации.

2.14. Контрольные диагностические параметры и признаки должны быть представлены важнейшими количественными и качественными характеристиками работы и состояния элементов плотины, совокупность которых должна, по возможности, однозначно определять состояние как элементов, так и плотины в целом на различных стадиях ее эксплуатации.

2.15. В первые годы эксплуатации плотины состав контрольных диагностических параметров и признаков должен быть уточнен с учетом проявившихся за этот период времени особенностей ее работы. Аналогичные периодические уточнения параметров следует производить и в последующем по мере проявления признаков старения плотины.

2.16. В общем случае в состав контролируемых диагностических параметров и признаков грунтовых плотин I-III классов капитальности, фиксируемых натурными наблюдениями, могут быть включены следующие:

фактические физико-механические и теплофизические характеристики материалов плотины, отдельных элементов, основания (коэффициенты теплопроводности, фильтрации, пористости, внутреннего трения; плотность; удельное сцепление, модуль деформации, грансостав и др.);

фактические размеры очертания профиля плотины, ее элементов и створа (крутизна откосов; размеры гребня, берм, элементов крепления откосов, противофильтрационных и дренажных элементов и т.д.);

уровни верхнего и нижнего бьефов и скорости их сработки;

положение поверхностей депрессии в контролируемых створах и сечениях, береговых и других примыканиях;

пьезометрические напоры в контролируемых точках (тело плотины, противофильтрационные и дренажные устройства, основание);

фильтрационные расходы на отдельных участках плотины и общий расход;

наличие и местоположение очагов сосредоточенной фильтрации, зон обходной фильтрации, зон выхода фильтрационного потока на низовой откос;

наличие и местоположение очагов механической или химической суффозии (в плотине, берегах, основании, на прилегающих территориях), объем твердого стока или содержание химических элементов;

наличие и местоположение зон образования ледовых наплывов на откосах, у дренажей, на бортах створа;

температура грунта в теле плотины и в основании, температура воды по глубине водохранилища и на выходах фильтрующейся воды, температура воздуха в районе плотины;

общие и местные градиенты напора в теле плотины, на противофильтрационных элементах, на выходах потока в дренажи и на поверхность;

поровое давление в теле плотины, противофильтрационных элементах, в основании;

осадки плотины, ее элементов и основания;

горизонтальные (поперечные и продольные) смещения гребня, берм, противофильтрационных элементов (диафрагм, ядер);

взаимные относительные смещения элементов тела плотины (“ядро”-”переходные зоны”-”упорные призмы” и др.);

напряжения и деформации в различных элементах тела плотины, в основании, в зонах сопряжения;

трещины различной ориентации в теле плотины, в ее элементах, в зонах примыкания к другим сооружениям; раскрытия (закрытия) трещин во времени;

наличие, местоположение и характеристики локальных воронок проседания грунта и оползневых "цирков" на гребне, откосах, бермах и других участках;

наличие, местоположение и характеристики локальных повреждений креплений откосов;

заиление (зарастание) или перемерзание дренажных устройств плотины и основания;

льдообразование в пустотах материала низовой упорной призмы и в зонах переменного смачивания откосов.

2.17. Кроме отмеченных в п. 2.16 параметров и признаков состояния плотины в их число должны быть включены все основные нагрузки и воздействия на данное сооружение или отдельные его элементы, определяющие как условия их работы, так и эксплуатационную надежность. В их состав могут входить нагрузки от собственного веса грунта тела плотины; гидростатическое и гидродинамическое давления; противодавление воды; активное и пассивное давление грунта; нагрузки от трения грунта на ответственные элементы плотины; нагрузки от волновых и ледовых воздействий; динамические и сейсмические нагрузки, нагрузки температурного характера и др. Фактические значения нагрузок и воздействий на плотину или ее отдельные элементы должны быть использованы при оценке реакции элементов на эти нагрузки, при корректировках расчетных схем и математических моделей сооружения, используемых для установления и последующего уточнения критериев безопасной его работы.

2.18. Применительно к конкретной грунтовой плотине, для которой уже выбраны элементы диагностирования, выбор диагностических параметров и признаков производится последовательным анализом конструктивных особенностей, условий работы и последствий повреждений каждого из элементов. В результате из общей совокупности показателей работы и состояния элементов выбирается 1-3 главных параметра и (или) признака (характеризующих их прочность и эксплуатационную надежность), которые возможно систематически контролировать натурными наблюдениями или специальными исследованиями.

Принятые для контроля состояния конкретной грунтовой плотины элементы диагностирования и соответствующие им диагностические параметры и признаки заносятся в специальную "Карту технической диагностики" (см. табл. на с.17).

2.19. Для иллюстрации изложенной методики ниже рассмотрен пример выбора элементов диагностирования и диагностических параметров, контролирующих состояние и эксплуатационную надежность плотины, показанной на рис. 2.1.

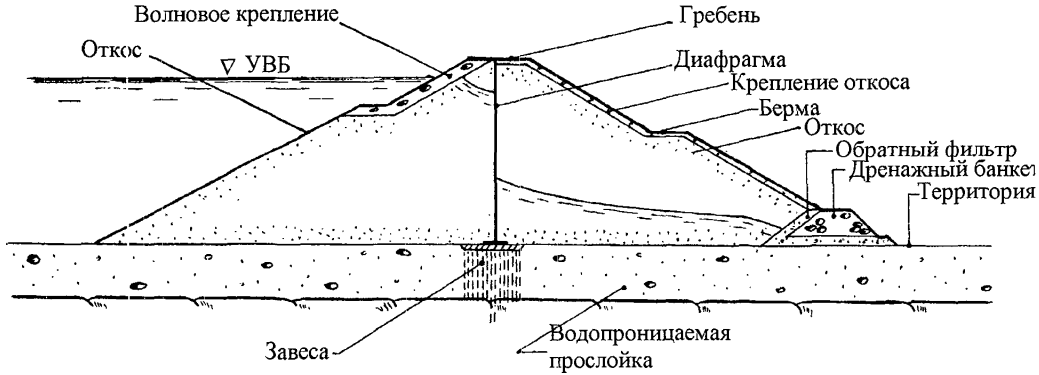


Рис.2.1. Объекты (элементы) диагностирования состояния плотины (пример)

Плотина однородная из среднезернистого песка. Возведена на аллювиальном песчано-гравийном основании, подстилаемом коренными скальными породами. Противофильтрационными элементами плотины являются тонкая стальная диафрагма толщиной 10 мм и инъекционная завеса, перекрывающая фильтрующую прослойку песчано-гравийного грунта в основании. Верховой откос имеет каменное крепление (наброска), низовой - покрытие из щебня. Дренажом плотины служит каменный банкет, сопряженный с низовой призмой слоем фильтра из песчано-гравийного материала.

Анализ показывает, что прочность и эксплуатационная надежность этой плотины обуславливается главным образом механической прочностью и коррозионной долговечностью стальной диафрагмы; статической устойчивостью верхового и низового откосов; фильтрационной прочностью низового клина плотины, зоны инъектирования (завесы) и массива грунта в основании, примыкающего к низовому банкету; исправной работой дренажного банкета и сопрягающего фильтра; целостностью волнового и ливневого креплений верхового и низового откосов и некоторыми другими факторами.

В качестве главных элементов диагностирования состояния и эксплуатационной надежности плотины, соответственно, принимаются:

верховой и низовой откосы (призмы);

стальная диафрагма;

зона инъекции (завеса) в основании и фильтрующая песчано-гравийная прослойка;

дренажный банкет и переходный фильтр;

крепление верхового и низового откосов;

территория, примыкающая к банкету;

гребень и низовые бермы.

В свою очередь, состояние и эксплуатационная надежность выбранных основных элементов диагностирования (соответственно, и плотины) определяются и контролируются следующими параметрами и признаками:

диафрагма – напряжениями, деформациями изгиба, скоростью коррозии металла, потерями напора на диафрагме, фильтрационными расходами;

откосы – запасом устойчивости, прочностными характеристиками грунта, положением поверхности депрессии, наличием (отсутствием) оползневых и просадочных явлений, очертанием (крутизной) поверхностей откосов;

зона инъекции (завеса) и фильтрующая прослойка в основании – фильтрационными расходами, действующими градиентами напора, скорос-

Карта технической диагностики состояния грунтовой плотины (пример)

Элементы диагностирования плотины	Диагностические параметры и признаки состояния плотины, контролируемые наблюдениями
Верховой откос (призма)	Очертание (крутизна) надводной и подводной поверхностей; просадки, трещины, оползни; коэффициент внутреннего трения грунта
Низовой откос (призма)	Очертание (крутизна) поверхности; просадки, трещины, промоины, оползни; высачивание фильтрующейся воды на поверхность; коэффициент внутреннего трения грунта; наледи
Стальная диафрагма	Вертикальные и горизонтальные нормальные напряжения; прогибы и горизонтальные смещения; скорость коррозии, потери напора на диафрагме, пьезометрические напоры перед и за диафрагмой
Зона инъекции (завеса) в основании и фильтрующая прослойка	Пьезометрические напоры перед и за завесой; градиенты напора на завесе; скорости фильтрации
Территория, примыкающая к низовому откосу банкета	Пьезометрические напоры; выходные градиенты напора; фильтрационный расход; "мутность" профильтровавшейся воды; наледи
Дренажный банкет	Осадка гребня; деформации низового откоса; заиление; зарастание; замерзание воды; "мутность" профильтровавшейся воды
Переходный фильтр дренажного банкета	Пьезометрические напоры перед и за фильтром
Крепление верхового откоса	Крупность камня, толщина слоя крепления, переработка крепления волнами, оползни
Крепление низового откоса	Сплошность и толщина слоя крепления, промоины, зарастание кустарником
Гребень плотины	Осадка, просадки, оползни, трещины
Низовые бермы	Осадка, просадки, оползни, трещины, высачивание профильтровавшейся воды
Тело плотины	Пьезометрические напоры, поверхность депрессии, осадка, фильтрационный расход

тью фильтрации, суффозионными свойствами грунта, "мутностью" фильтрующейся воды;

крепление откосов – крупностью и прочностью материала крепления, сплошностью и толщиной крепления;

дренажный банкет и сопрягающий фильтр – пьезометрическими напорами перед фильтром, пропускной способностью дренажа и фильтра, промерзанием, заилением и зарастанием дренажа и фильтра;

гребень плотины – осадкой, наличием (отсутствием) трещин, просадок, оползней;

низовые бермы – осадкой, наличием (отсутствием) трещин, просадок, оползней, выходов профильтровавшейся воды;

тело плотины – осадкой, фильтрационным расходом, пьезометрическими напорами, поверхностью депрессии, градиентами напора, скоростью фильтрации, характеристиками грунта.

Из всей совокупности диагностических параметров и признаков, характеризующих состояние и эксплуатационную надежность элементов плотины и сооружения в целом, выбираются наиболее значимые, подлежащие натурному контролю, и заносятся в "Карту технической диагностики плотины".

2.20. На плотинах, где имеют место серьезные дефекты, например, очаги сосредоточенной фильтрации, крупные трещины, просадки и т.п., рекомендуется включать их в число самостоятельных контролируемых объектов диагностирования и наделять соответствующими диагностическими параметрами и признаками.

В ряде случаев в число диагностических параметров элементов плотины необходимо включать внешние нагрузки, всецело определяющие состояние и надежность элементов, на которые они воздействуют (например, гидростатическое давление и давление грунта на диафрагму или подпорную стенку, нагрузку от веса грунта на галерею в теле плотины и т.п.).

2.21. Количественные значения и качественные показатели регламентируемых для конкретной плотины контрольных диагностических параметров и признаков, а также основные нагрузки и воздействия должны определяться на различных стадиях эксплуатации сооружения систематическими натурными наблюдениями или специальными исследованиями. Ввиду особой значимости таких натурных наблюдений и специальных исследований в диагностировании плотины к ним должны предъявляться определенные требования.

Методика назначения критериальных показателей диагностических параметров и признаков*

2.22. Состояние плотины в процессе эксплуатации (пп. 2.1-2.4) оценивается путем сравнения ее фактических диагностических параметров и признаков, полученных натурными наблюдениями и специальными иссле-

* В 2001 году выпущена «Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» (РД 153-34.2-21.342-00), разработанная ВНИИГ, НИИЭС и Гидропроектом.

дованиями, с их критериальными значениями, называемыми критериями надежности и безопасности.

2.23. Критериями надежности и безопасности плотины или системы "плотина – основание" являются такие количественные и качественные показатели диагностических параметров и признаков, характеризующих их состояние, достижение которых в натурных условиях свидетельствует либо

а) о полном удовлетворении работы и состояния основных элементов сооружения нормативным (проектным) требованиям;

б) о наличии существенных отклонений в работе и состоянии сооружения или отдельных его элементов от проектных или нормативных требований, но сохранении функционального назначения и возможностей эксплуатации сооружения с определенными ограничениями;

в) об исчерпании сооружением или его основными элементами возможностей восприятия проектных нагрузок и воздействий и выполнения своего функционального назначения.

2.24. Критерии, характеризующие состояние и надежность плотины, условно разделяются на три вида: номинальные, предельно допустимые и предельные [3].

Номинальные критерии надежности и безопасности плотины представляют собой такие количественные и качественные показатели диагностических параметров и признаков, при достижении которых сооружение в полной мере отвечает нормативным (проектным) требованиям прочности, устойчивости и условиям его эксплуатации и оценивается как исправное.

Предельно допустимые критерии надежности и безопасности плотины представляют собой такие количественные и качественные значения диагностических параметров и признаков, при достижении и превышении которых сооружение может эксплуатироваться с ограничениями режима, периода времени эксплуатации, требует выполнения соответствующих ремонтных работ и оценивается как неисправное.

Предельные (предаварийные) критерии работы и состояния плотины представляют собой такие количественные и качественные показатели диагностических параметров и признаков, при достижении которых сооружение в основном исчерпывает свои возможности нести нагрузку и находится в предаварийном состоянии (непригодность к эксплуатации, предельное состояние I группы).

2.25. Номинальные критерии надежности и безопасности плотины, отвечающие условиям ее нормальной эксплуатации, устанавливаются нормативными документами, проектом или обосновываются специальными расчетами и исследованиями. При этом гарантируется обеспечение недопущения предельного состояния плотины. В отдельных случаях критерии мо-

гут устанавливаться на основе статистических данных натурных и экспериментальных исследований.

2.26. Предельно допустимые критерии в общем случае устанавливаются расчетом по предельным состояниям первой и второй групп, а в отдельных случаях - по статистическим данным натурных наблюдений.

2.27. Предельные (предаварийные) критерии состояния плотины назначаются для того или иного диагностического параметра прогнозными расчетами по предельным состояниям первой группы с доведением сооружения (расчетным путем) до потери прочности или устойчивости, т.е. до границы его работоспособности.

2.28. В назначении критериев надежности и безопасности плотины должен соблюдаться принцип последовательного уточнения их значений в соответствии с происходящими во времени изменениями в ее работе и состоянии.

2.29. Принцип последовательного уточнения критериев заключается в следующем:

а) на стадии рабочего проектирования назначаются первоначальные критерии надежности и безопасности плотины;

б) после окончания строительства плотины, но перед началом наполнения водохранилища производится первая корректировка критериев с учетом фактических характеристик уложенных в нее грунтов и конструктивных изменений, внесенных в ходе строительства;

в) после наполнения водохранилища, выхода плотины на установившийся режим работы и получения необходимого объема данных натурных наблюдений производится сравнительная проверка проектных предпосылок работы сооружения и вторичное уточнение критериев;

г) в дальнейший многолетний период эксплуатации плотины корректировка критериев производится примерно через каждые 5-10 лет с учетом проявившихся новых особенностей и тенденций в ее работе;

д) с появлением признаков "старения" плотины (например, через 25-30 лет эксплуатации) критерии периодически уточняются с учетом деструктивных процессов.

При выполнении работ по реконструкции или капитальному ремонту плотины и внесения тем самым существенных изменений в ее прочностные показатели и схемы работы критерии надежности и безопасности должны быть уточнены с учетом этих факторов.

2.30. Для каждого из выбранных, согласно пп. 2.12-2.20, диагностического параметра, получаемого натурными наблюдениями, назначается по три соответствующих критериальных показателя: номинальный, предельно допустимый и предельный.

3. НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ПРИЗНАКОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ СОСТОЯНИЕ СООРУЖЕНИЙ

Основные требования к натурным наблюдениям и средствам измерений

3.1. Для ответственных сооружений (I-III класс) натурные наблюдения должны быть комплексными и выполняться по специальной для каждого сооружения программе. Их состав должен соответствовать составу объектов (элементов) диагностирования и отвечать требованию получения полной и достоверной информации по всем намеченным проектом диагностическим параметрам (признакам) сооружения и необходимым нагрузкам и воздействиям на него.

3.2. В общем случае состав натурных наблюдений, проводимых на сооружениях, должен отвечать требованиям СНиП и назначаться проектом.

3.3. Натурные наблюдения должны быть систематическими и обладать высокой оперативностью получения информации и проведения измерений (наблюдений). Регулярными наблюдениями должны охватываться все этапы работы сооружения - строительный период, периоды постановки его под напор, начальной и последующей (многолетней) эксплуатации при проектных нагрузках, период старения.

3.4. Рациональность выбора состава натурных наблюдений и размещения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) должна оцениваться возможностью дифференцированного контроля состояния объектов (элементов) диагностирования, получения фактических значений диагностических параметров и признаков их работы, являющихся наиболее важными для обеспечения надежности сооружения.

3.5. КИА размещают в наиболее "чувствительных" и напряженных точках таким образом, чтобы для каждого расчетного критерия надежности сооружения была получена измерениями соответствующая численная величина контролируемого диагностического параметра.

3.6. Результаты натурных наблюдений должны обладать необходимой представительностью, достоверностью и сравнимостью.

Представительность результатов наблюдений в отдельных контрольных створах, сечениях, точках оценивается как по общему объему получаемой информации об объектах, так и по данным специальных проверок типичности рассматриваемых результатов для тех участков сооруже-

ния, на которые они должны распространяться. Для этих целей может быть использован сравнительный анализ результатов локального и осредненного характера (например, сопоставление закономерностей изменения пьезометрического напора в заданных точках потока в теле плотины с данными о соответствующих изменениях расходов в дрене низового клина).

При недостатке натурных данных для оценки состояния объекта (элемента) или проверки принятой при расчетах модели (или для построения новой) следует организовать дополнительные наблюдения или специальные исследования.

3.7. Достоверность результатов наблюдений должна обуславливаться высокими техническими качествами применяемой контрольно-измерительной аппаратуры, путем ревизии методики и техники измерения контролируемых параметров, проверки квалификационного уровня наблюдателей. Применяемая для производства наблюдений КИА должна иметь Государственную метрологическую аттестацию, а персонал наблюдателей - соответствующий сертификат на право выполнения данных работ.

3.8. В общем случае определение достаточности объема натурных наблюдений для получения информации, необходимой для оценки состояния контролируемого объекта, должно включать оценку рациональности размещения КИА и выбора состава натурных наблюдений, оценку достоверности и представительности результатов.

3.9. В состав контрольных натурных наблюдений включаются также визуальные наблюдения.

3.10. Проводимые контрольные наблюдения (инструментальные и визуальные) должны быть просты и доступны по исполнению для эксплуатационного персонала плотины.

3.11. Совокупность контролируемых параметров должна однозначно определять состояние плотины как на стадии ее строительства, так и в период последующей эксплуатации.

Задачи и состав натурных наблюдений

3.12. Основной задачей эксплуатационных натурных наблюдений за сооружениями, расположенными в криолитзоне, как и сооружений, расположенных в других климатических зонах, является комплексное изучение их основных рабочих диагностических параметров и проверка соответствия их проектным предпосылкам, критериальным значениям и нормативным требованиям, а также объективная оценка эксплуатационной надежности и безопасности сооружения.

3.13. В состав проекта натурных наблюдений за сооружением должны входить:

а) программа натурных наблюдений и исследований;

б) чертежи размещения контрольно-измерительной аппаратуры, измерительных пультов и трасс кабельных коммуникаций;

в) спецификации КИА, подлежащей заказу и приобретению, нестандартного оборудования, которое должно быть изготовлено, кабельной продукции и материалов;

г) инструкции по установке КИА;

д) проект автоматизации наблюдений;

е) сметная документация на постановку и проведение наблюдений;

ж) инструкции по методике проведения наблюдений.

3.14. Состав и объем натурных наблюдений за сооружениями, возводимыми в районах распространения вечной мерзлоты, устанавливаются в соответствии с назначением, конструкцией и классом сооружений, принятым принципом их строительства (принцип I или II), особенностями климата и мерзлотно-геологической обстановки.

3.15. Эксплуатационным натурным наблюдениям должны предшествовать регулярные наблюдения строительного периода и периода первичного наполнения водохранилища, входящие в единый комплекс контроля надежности и безопасности сооружения. В этот же комплекс должны быть включены основные результаты специальных сопутствующих исследований изыскательского, строительно-технологического, статического, фильтрационного, криологического и других направлений, без которых невозможен дальнейший полноценный анализ эксплуатационной надежности и безопасности сооружения.

3.16. Согласно СНиП 2.06.05-84*, для грунтовых плотин I-III классов капитальности талого типа натурными наблюдениями строительного и эксплуатационного периодов должны контролироваться следующие показатели работы и состояния сооружения (диагностические параметры):

а) уровни и температура воды по глубинам верхнего и нижнего бьефов, скорости сезонной сработки и наполнения водохранилища;

б) напряженно-деформированное состояние тела плотины, противофильтрационных элементов и зон их сопряжения с встроенными в плотину сооружениями (водосбросом, водоспуском, бетонными устоями и т.п.);

в) осадки и смещения гребня, берм, основания, противофильтрационных элементов; состояние крепления напорных откосов;

г) фильтрационные расходы, пьезометрические напоры, градиенты, положение поверхностей депрессии в сооружении и в берегах;

д) суффозионные явления;

е) избыточное поровое давление в суглинистых элементах, в основании;

ж) температура наружного воздуха, температурный режим плотины и ее основных элементов (ядра, экрана, переходных зон), основания, береговых массивов, водохранилища у плотины и фильтрационных вод;

з) трещинообразование, в том числе морозного характера;

и) льдообразование в теле плотины, в том числе конвективного характера, в дренажах, на участках высачивания фильтрационного потока;

к) процессы морозного пучения и выветривания материала плотины.

При эксплуатации грунтовых плотин талого типа, возведенных на многолетнемерзлых льдистых основаниях (например, участках береговых склонов речной долины), должны быть организованы специальные наблюдения за температурным режимом и деформациями оснований, обусловленными последующим переходом грунтов в талое состояние.

3.17. Для грунтовых плотин I-III классов мерзлого типа наблюдениями строительного и эксплуатационного периодов должны контролироваться показатели работы и состояния сооружения и основания:

а) уровни и температура воды по глубинам верхнего и нижнего бьефов у плотины, скорости сезонной сработки и наполнения водохранилища;

б) температура наружного воздуха, температурный режим тела плотины, противофильтрационных элементов, переходных зон и дренажей, основания, береговых примыканий и других зон сопряжения плотины с встроенными сооружениями, температура фильтрационных вод (в случае их появления), температурный режим формирования и последующей работы мерзлотных противофильтрационных завес;

в) осадки и смещения плотины и основания, береговых примыканий с учетом возможного (непредвиденного) перехода их в талое состояние;

г) процессы трещинообразования в плотине, ее основных противофильтрационных элементах, в том числе трещинообразование криогенного характера;

д) процессы морозного пучения и выветривания материалов плотины и основания;

е) давление льда на сооружение, состояние крепления напорных откосов;

ж) напряженно-деформированное состояние противофильтрационных элементов;

з) водонепроницаемость водоупорных элементов плотины и основания.

3.18. На сооружениях, расположенных в сейсмоактивной зоне, организуются систематические сейсмические наблюдения.

3.19. Кроме инструментальных наблюдений на плотинах всех типов и классов должны проводиться регулярные визуальные наблюдения по выявлению дефектов в их работе, которые не могут быть предвидены заранее. Визуальными наблюдениями должны быть охвачены откосы, гребень и бермы, крепления откосов, дренажные выпуски, места сопряжений плотины с бетонными сооружениями, участки высачивания фильтрационных вод на дневную поверхность и образования наледей, трещины, зоны просадок грунта и оползней и т.п. (П 72-2000/ВНИИГ).

3.20. Для оценки и прогноза эксплуатационной надежности сооружения на различных этапах его работы под нагрузкой специальными, сопутствующими созданию его проекта и строительству исследованиями должны быть получены такие характеристики грунтов сооружения и основания, как гранулометрический состав; пределы пластичности и консистенции (для глинистых грунтов); коэффициент фильтрации; сопротивление сдвигу; плотность весовая и оптимальная влажность; компрессионные характеристики; пределы прочности, модуль деформации, морозостойкость, сопротивление сдвигу по трещинам, коэффициент фильтрации (для скального грунта основания) и др. Кроме традиционных показателей физико-механических свойств пород, слагающих основания, для сооружений, построенных в районах распространения вечной мерзлоты, должны быть получены характеристики льдистости и льдонасыщенности пород; деформируемости мерзлых и оттаявших грунтов, определяющей их "тепловую" осадку и осадку уплотнения (под нагрузкой), а также показатели прочности мерзлого, оттаивающего и оттаявшего грунта, водопроницаемости пород в мерзлом и оттаявшем массиве, теплофизических свойств – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, объемная и удельная теплоемкость пород в мерзлом и талом состоянии (по данным геотехнических изысканий и исследований составляется инженерно-геокриологическая модель основания сооружения).

В состав сопутствующих материалов должны быть включены также результаты наблюдений на временных сооружениях (перемычках и др.), данные гидрометеорологических наблюдений, фактические сведения о геометрических размерах элементов сооружения, отступлениях от проектных решений, акты на скрытые работы, а также акты расследования имевших место повреждений (или аварий) сооружения, расчетные схемы, нагрузки и другие характеристики.

3.21. В проекте натурных наблюдений для каждого контролируемого рабочего параметра сооружения (осадки, перемещения, напряжения, фильтрационные расходы и т.д.) должны быть указаны соответствующие им предельно допустимые показатели (критерии) эксплуатационной надежности

сооружения, полученные расчетом или специальными исследованиями. Первоначальные (проектные) предельно допустимые показатели (критерии) безопасного состояния сооружения должны систематически уточняться специализированной организацией по мере накопления данных натурных наблюдений.

Организация натурных наблюдений на сооружениях

3.22. Ответственность за организацию натурных наблюдений за гидротехническими сооружениями, за своевременное выявление аварийных ситуаций, разработку и выполнение мероприятий по их устранению несут: в период строительства до приемки в эксплуатацию полностью законченного гидроузла – строительная организация (генеральный подрядчик), в период эксплуатации – собственник гидроузла (эксплуатирующее предприятие).

3.23. При сдаче гидротехнических сооружений в эксплуатацию собственнику (заказчику) должны быть переданы:

строительной организацией – контрольно-измерительная аппаратура в проектном объеме в исправном состоянии и все данные наблюдений по ней в строительный период;

проектной организацией – данные анализа результатов натурных наблюдений, инструкции по проведению наблюдений, методам обработки и анализа результатов с указанием предельно допустимых по условиям надежности и безопасности сооружения критериальных показателей.

3.24. На строящихся объектах все работы по централизованному монтажу КИА и уходу за ней до сдачи гидроузла в постоянную эксплуатацию выполняются специализированным подразделением (участком, бригадой или группой) генерального подрядчика.

На эксплуатируемых сооружениях установка КИА (дополнительной или взамен вышедшей из строя) и уход за ней осуществляется силами гидротехнического цеха или привлекаемой на договорной основе специализированной организацией.

Авторский надзор за монтажом КИА осуществляет проектная организация, технический надзор – представители собственника (заказчик), методическое и техническое руководство монтажом КИА и проведением наблюдений – головная научно-исследовательская организация через своих постоянных представителей.

3.25. На установленную в сооружение КИА составляются исполнительные схемы, акты и ведомости начальных (нулевых) отсчетов по каждому прибору, которые передаются собственнику объекта и хранятся в составе документации по натурным наблюдениям.

3.26. Для повышения оперативности и достоверности контроля ответственные напорные гидротехнические сооружения следует оснащать автономными автоматизированными системами диагностического контроля (АСДК) либо включать их на договорной основе в состав централизованной (например, региональной или республиканской) диагностической системы контроля надежности и безопасности сооружений.

3.27. На эксплуатируемом объекте должен быть комплект методических рабочих инструкций и рекомендаций по проведению натурных наблюдений (по видам), обработке и интерпретации их результатов, составленных головной научно-исследовательской или проектной организацией применительно к данному конкретному сооружению.

3.28. На случай отказов или аварий гидротехнических сооружений эксплуатирующая организация должна иметь заранее разработанную необходимую проектную документацию или технические рекомендации по их раннему предотвращению и ликвидации последствий, а также план действий персонала в этих ситуациях.

Рекомендации по размещению КИА в сооружении и основании. Назначение контрольных измерительных сечений, створов и точек в сооружениях

3.29. Приборы и устройства, предназначенные для проведения натурных наблюдений за сооружениями и основанием размещаются, как правило, в контрольных сечениях по всей длине сооружения с учетом его конструктивных решений, инженерно-геологических и криологических особенностей и профиля поверхности основания [4].

3.30. Количество контрольных сечений по длине сооружения назначаются с таким расчетом, чтобы по показаниям установленной в них КИА можно было с достаточной подробностью характеризовать работу и состояние сооружения в целом и отдельных наиболее ответственных участков и элементов.

3.31. На стадии проекта контрольные поперечные сечения для производства натурных наблюдений, как правило, следует располагать:

на русловом участке, где сооружение имеет максимальную высоту и, соответственно, максимальное нагружение;

на границах сопряжения подруслового талика с мерзлыми береговыми участками;

на участках резкого (крутого) падения поверхности основания в створе сооружения;

на границах сопряжения грунтовой плотины с бетонными сооружениями (устоями, туннелями и др.);

на границах сопряжения мерзлых и талых участков плотины;

над тектоническими разломами и крупными трещинами в основании, над потенциальными зонами проявления термокарста;

в зонах возможных ослаблений напряженно-деформированного состояния, фильтрационной прочности, устойчивости, трещинообразования (выявленных расчетными путями, специальными исследованиями или наблюдениями).

3.32. В контрольных сечениях КИА располагается в горизонтальных и вертикальных измерительных створах, в отдельных измерительных точках с привязкой их к осям сооружения в плане и по высоте, а также высотным отметкам.

3.33. Для исключения возможных ошибок при измерениях, а также для уменьшения разброса и повышения надежности полученных результатов измерительные сечения, створы, точки в ряде случаев следует дублировать.

3.34. Количество и состав приборов, устанавливаемых в измерительных сечениях, створах и точках, обуславливаются решаемыми задачами. Минимально необходимое количество измерительных приборов в створах диктуется также требованиями статистической обработки результатов, необходимостью построения эпюр, графиков, зависимостей и т.п.

3.35. После первичного наполнения водохранилища и выявления "слабых" мест в работе сооружения проектное количество контрольных наблюдательных сечений или створов должно быть уточнено, а при необходимости - увеличено. В процессе длительной эксплуатации сооружения эти уточнения периодически должны проводиться с учетом показателей работы сооружения, в том числе процессов старения, изменения мерзлотной обстановки в сооружении и в основании, перераспределения нагрузок и других факторов.

Размещение термометрической КИА

3.36. Главная задача температурного контроля в общей постановке сводится к обеспечению требуемого проектом температурного состояния грунтового основания и тела плотины при ее строительстве и эксплуатации.

В качестве средств измерений температуры в настоящее время могут быть рекомендованы преобразователи (датчики) температурные струнные (ПТС-60), омического сопротивления и терморезисторы, прошедшие метрологическую аттестацию.

Частные задачи температурного контроля грунтовых плотин включают контроль за температурным режимом противофильтрационных элементов (ядра, экрана, мерзлотной завесы, призмы), переходных фильтровых зон, дренажей, основания, зон сопряжения грунтовой плотины (мерзлого типа) с бетонными сооружениями, береговых массивов вблизи сооружения, а также эффективности теплоизоляционных покрытий (например, на низовом откосе плотины или вокруг дренажа) и др. [5-7].

3.37. Размещение температурных преобразователей (датчиков) в контролируемых зонах, областях, створах, сечениях или в отдельных элементах плотины и основания должно производиться таким образом, чтобы полученной информацией от измерений обеспечивалось:

построение температурного поля в заданных границах;

установление тенденции изменения контролируемого температурного режима во времени в необходимом интервале (сутки, декада, месяц, год, многолетний период).

3.38. Применительно к задачам для плотин мерзлого и талого типов, возведенных как на мерзлом, так и талом основаниях, рекомендуются принципиальные схемы оснащения их датчиками температуры (рис.3.1).

3.39. В основании плотины, расположенной в криолитзоне, термодатчики располагают в скважинах. Глубина заложения датчиков определяется глубиной мерзлотной или цементационной завес и предполагаемым изменением температуры основания в связи с возведением сооружения и наполнением водохранилища. Для исследований температуры в зонах вечной мерзлоты необходимо применять термометры, обеспечивающие точность измерений 0,1°С. В контролируемой области датчики температуры следует размещать по квадратной или прямоугольной сетке, обеспечивающей гарантированное фиксирование границ мерзлоты и динамику изменения положения нулевой изотермы.

3.40. В плотине мерзлого типа размещение термодатчиков производят как в зоне, играющей роль противофильтрационного элемента (например, мерзлотной завесы), так и по ее периферии для гарантированной фиксации границ мерзлоты и их перемещения во времени.

3.41. В плотинах талого типа (фильтрующих) датчики температуры размещаются в противофильтрационных элементах (ядре, экране), в переходных фильтровых зонах и в зонах высачивания фильтрационного потока через основание или в специальное дренажное устройство. При этом данными наблюдениями должна гарантироваться однозначная оценка температурного состояния этих элементов ("мерзлое" или "талое" состояние), а также определение скорости прохождения через них температурной волны или продвижения к ним нулевой изотермы.

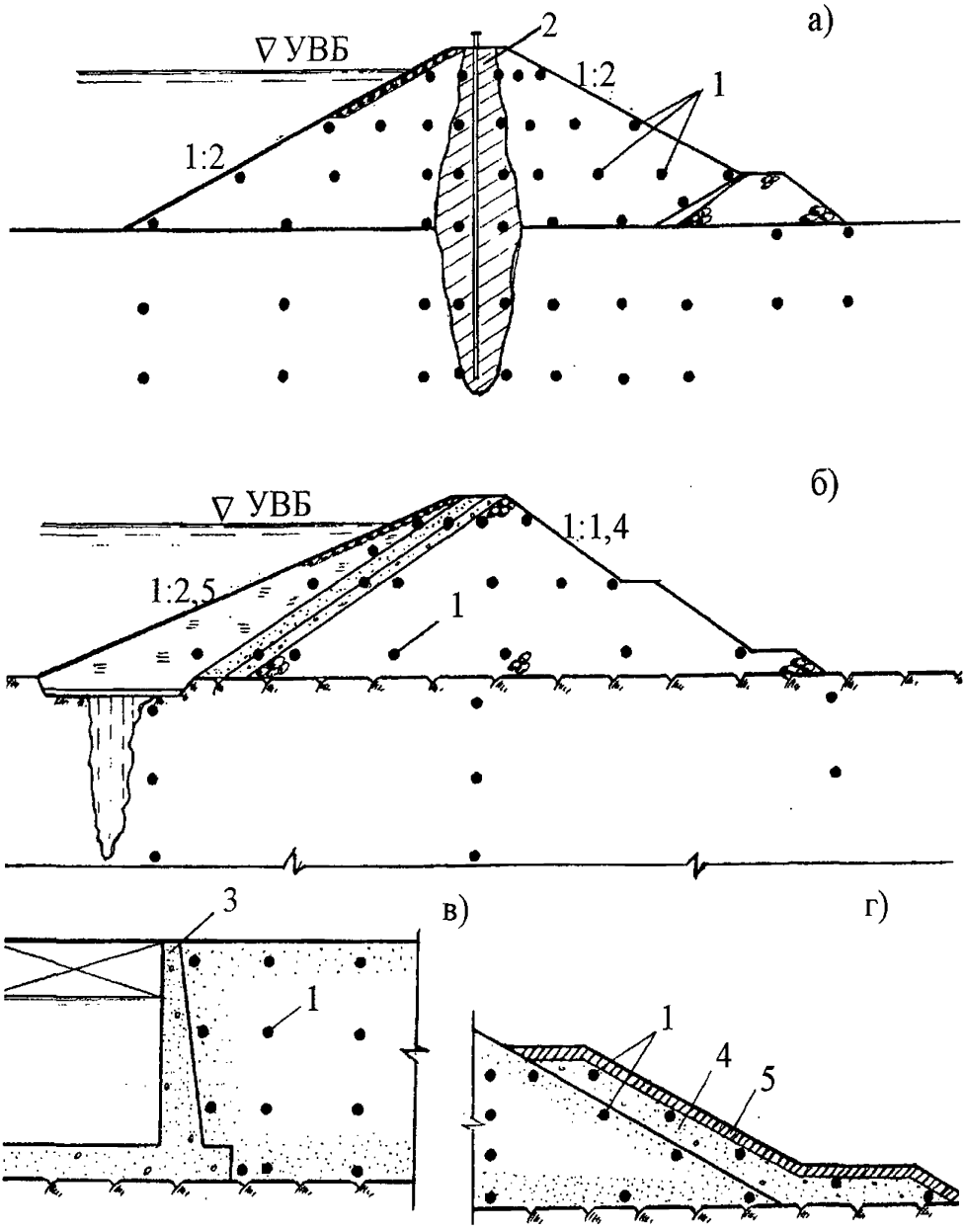


Рис.3.1. Принципиальные схемы размещения телетермометров в плотинах:

а – с мерзлотной завесой; *б* – с суглинистым экраном; *в* – в примыкании плотины к водосбросу; *г* – в области дренажа; *1* – термодатчики; *2* – мерзлотная завеса; *3* – устой водосброса; *4* – дренаж; *5* – теплоизоляция

3.42. В береговых примыканиях плотины, сложенных вечномерзлыми грунтами, должна быть оборудована сеть термодатчиков, контролирующих их состояние, в том числе процесс возможной деградации мерзлоты от отепляющего воздействия водохранилища.

3.43. Температурный режим водохранилища контролируется системой датчиков с шагом 5-10 м, устанавливаемых на жесткой штанге или гибком тросе с грузом, уложенных по верховому откосу плотины от гребня до дна.

Размещение КИА для контроля фильтрации

3.44. Согласно СНиП 2.06.05-84* и П 71-2000 в составе фильтрационных наблюдений должен быть предусмотрен контроль за положением поверхности депрессии в теле плотины и берегах, за распределением пьезометрических напоров в области фильтрации плотины и основания, за фильтрационными расходами, поступающими через противофильтрационные элементы и основание, за развитием порового давления воды в глинистых элементах тела плотины и грунтах основания, а также за температурой фильтрующейся воды и, при необходимости, ее составом.

3.45. Для наблюдений за положением поверхности депрессии в теле фильтрующей плотины и в берегах применяются различного типа трубные пьезометры или телеметрические преобразователи (датчики) давления воды струнные (типа ПДС). Датчики размещаются в сечениях, перпендикулярных оси плотины, а также вдоль линий примыкания плотины к бетонным сооружениям и к берегам.

Первый по линии тока измерительный прибор устанавливается на гребне плотины вблизи бровки напорного откоса. Последний - у входа фильтрационного потока в дренажах, а промежуточные делят расстояние между крайними приборами на несколько частей (рис. 3.2).

В случаях, когда дренажное устройство трубчатого или банкетного типа глубоко заведено в тело плотины (типичное решение для районов сурового климата), то за дренажем следует установить пьезометр, контролирующий работу дренажного устройства.

3.46. Глубина заложения водоприемников пьезометров или датчиков давления должна быть ниже поверхности депрессии, соответствующей УМО.

Установку приборов следует производить преимущественно в буровых скважинах. После установки приборов обсадные трубы из скважин должны быть извлечены и скважины заполнены извлеченным из них при бурении грунтом.

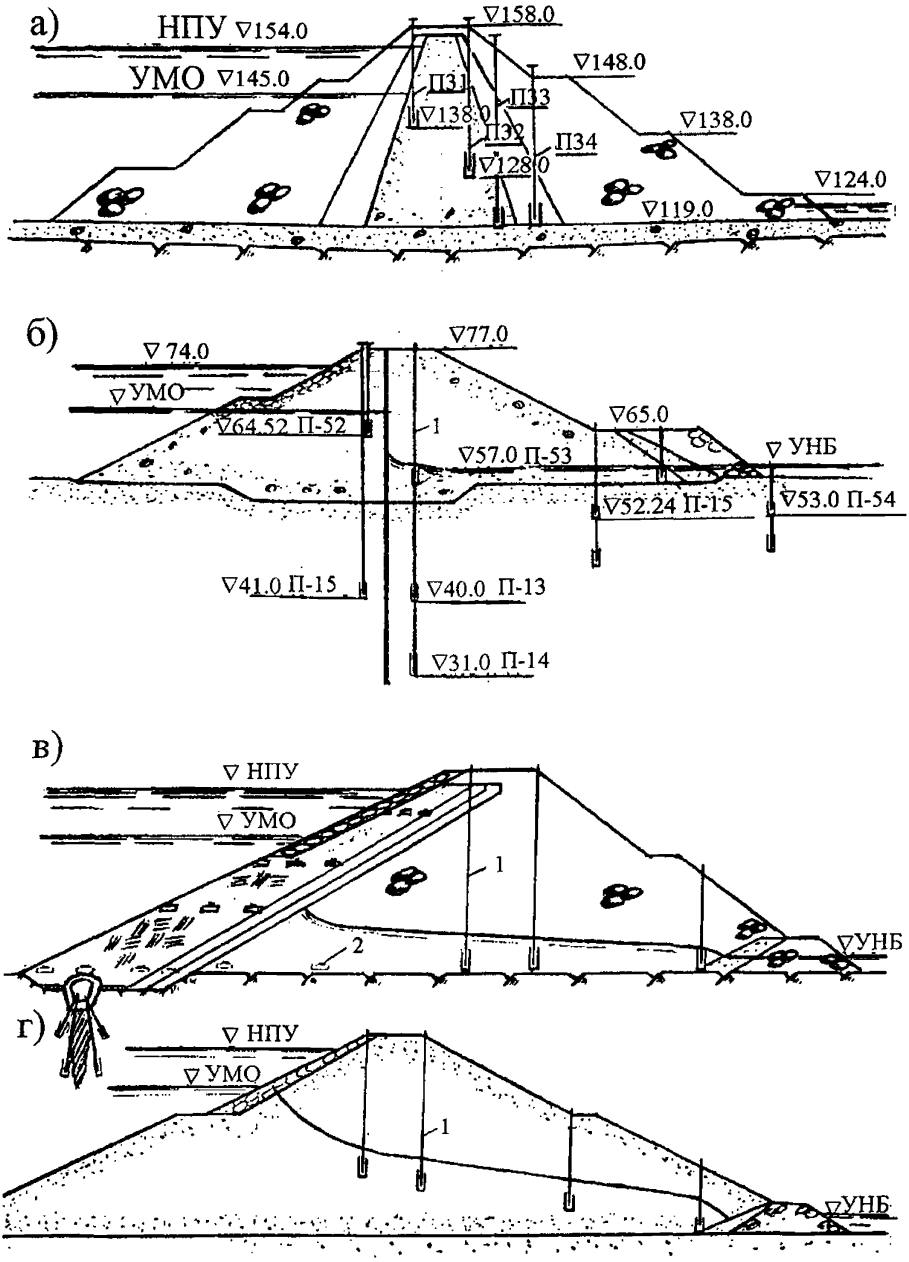


Рис.3.2. Принципиальные схемы размещения пьезометров в грунтовых плотинах:

а – каменнонабросная плотина с ядром; *б* – однородная плотина с диафрагмой и с дренажной призмой; *в* – каменнонабросная плотина с экраном; *г* – однородная плотина с дренажной призмой; *1* – пьезометр; *2* – датчик давления воды (ПДС)

3.47. Для наблюдений за распределением гидродинамического напора в теле плотины и в основании применяются точечные пьезометры или датчики давления, которые следует располагать в точках, где намечено получить значения напора. В плотинах с экраном или ядром особое внимание должно уделяться измерениям напора на контакте их с основанием. Приборы данного назначения устанавливаются поярусно в тех же контрольных сечениях, что и приборы для регистрации поверхности депрессии.

3.48. Избыточное поровое давление в глинистых экранах, ядрах, основаниях измеряется датчиками давления ПДС (пьезодинамометры), устанавливаемыми в толще грунта одновременно с возведением сооружения.

3.49. Для замера величин фильтрационного расхода на дренажах и на выпусках из дренажа устанавливаются смотровые колодцы, оборудованные водомерными устройствами. Колодцы располагаются в конце каждого из характерных контролируемых участков плотины. На открытых дренажах (канавы, кюветы) устанавливаются мерные водосливы треугольного или трапецеидального профилей.

3.50. Пьезометры, смотровые колодцы, канавы и трубы для отвода профильтровавшейся воды следует защищать от возможного промерзания применением теплоизоляции или электрообогревательных устройств.

3.51. В тех случаях, когда измерение расходов воды на дренажных линиях оказывается невозможным, допускается устройство у подошвы плотины сборного бассейна, оборудованного водомером в виде водослива или перепускной трубы.

3.52. Измерения скорости фильтрации в теле плотины или в основании проводятся методами термокаротажа, индикаторами или радиоактивными изотопами с применением парных пьезометров, установленных на удалении друг от друга по одной линии тока [8].

Скорости воды в дренажных линиях открытого типа (или в трубах значительного диаметра), имеющих доступ для наблюдателей, измеряются гидрометрическими измерительными приборами и способами (например, вертушками, поплавками, датчиками скорости и т.п.).

3.53. Значения градиентов напора в областях фильтрации тела плотины, в основании или берегах определяются косвенным путем по разностям падений напора на парных точечных пьезометрах, располагаемых на определенной длине линии тока контролируемой зоны или участка.

3.54. Температура фильтрующейся воды в теле плотины, основании, берегах, на выходах в дренаж и в водохранилище измеряется ртутными термометрами, телеметрическими датчиками температуры типа ПТС-60 или других типов.

Размещение КИА для измерений осадок и смещений сооружения и основания

3.55. В соответствии с Руководством П 648 и Рекомендациями П 87-2001/ВНИИГ, наблюдения за осадкой гребня, берм и поверхности основания плотины производятся с помощью поверхностных высотных марок путем их периодического нивелирования по II-III классу точности. Нивелировка марок производится в абсолютных и относительных отметках от фундаментальных реперов опорной сети гидроузла. Принципиальные схемы размещения марок в измерительном створе показаны на рис. 3.3.

3.56. В строительный период осадка плотины измеряется по временным маркам, устанавливаемым на промежуточных отметках, остающихся длительное время открытыми (например, на временных бермах, на поверхности отсыпанной карты). По мере роста насыпи плотины временные марки переносятся на более высокие отметки, при этом необходимо сохранять преемственность наблюдений для получения непрерывной картины хода осадки во времени.

3.57. Постоянные и временные поверхностные высотные марки устанавливаются на отметках ниже границы сезонного промерзания грунта. Вертикальный элемент (стояк) марки изолируется от прямого контакта с грунтом обсадной трубой или оберточным материалом со смазкой.

3.58. Наблюдения за послойными осадками тела плотины должны производиться с помощью: глубинных марок; многоярусных марок; гидростатических марок; наблюдательных шахт; поперечных или продольных галерей; длиннобазных телеметрических деформометров типа ПЛПС-320 (рис.3.3). Все эти устройства должны монтироваться по мере возведения плотины. Наблюдательные шахты рекомендуется выполнять из отдельных звеньев (колец), свободно перемещающихся вместе с оседающим грунтом за счет создаваемых зазоров между звеньями. Отдельные звенья шахты оборудуются поверхностными стеновыми марками, отметки которых относительно верха шахты определяются с помощью отвеса.

3.59. Длиннобазные телеметрические деформометры ПЛПС-320 монтируются в коротких (3-5 м) скважинах без обсадных труб по мере возведения насыпи плотины в виде последовательной "цепочки" из отдельных приборов (рис.3.3)

3.60. Наблюдательные поперечные галереи из отдельных не связанных секций рекомендуется располагать по ярусам на отметках постоянных берм низового откоса плотины с заведением их вглубь массива призмы (рис.3.3). Высота галерей должна быть порядка 2 м.

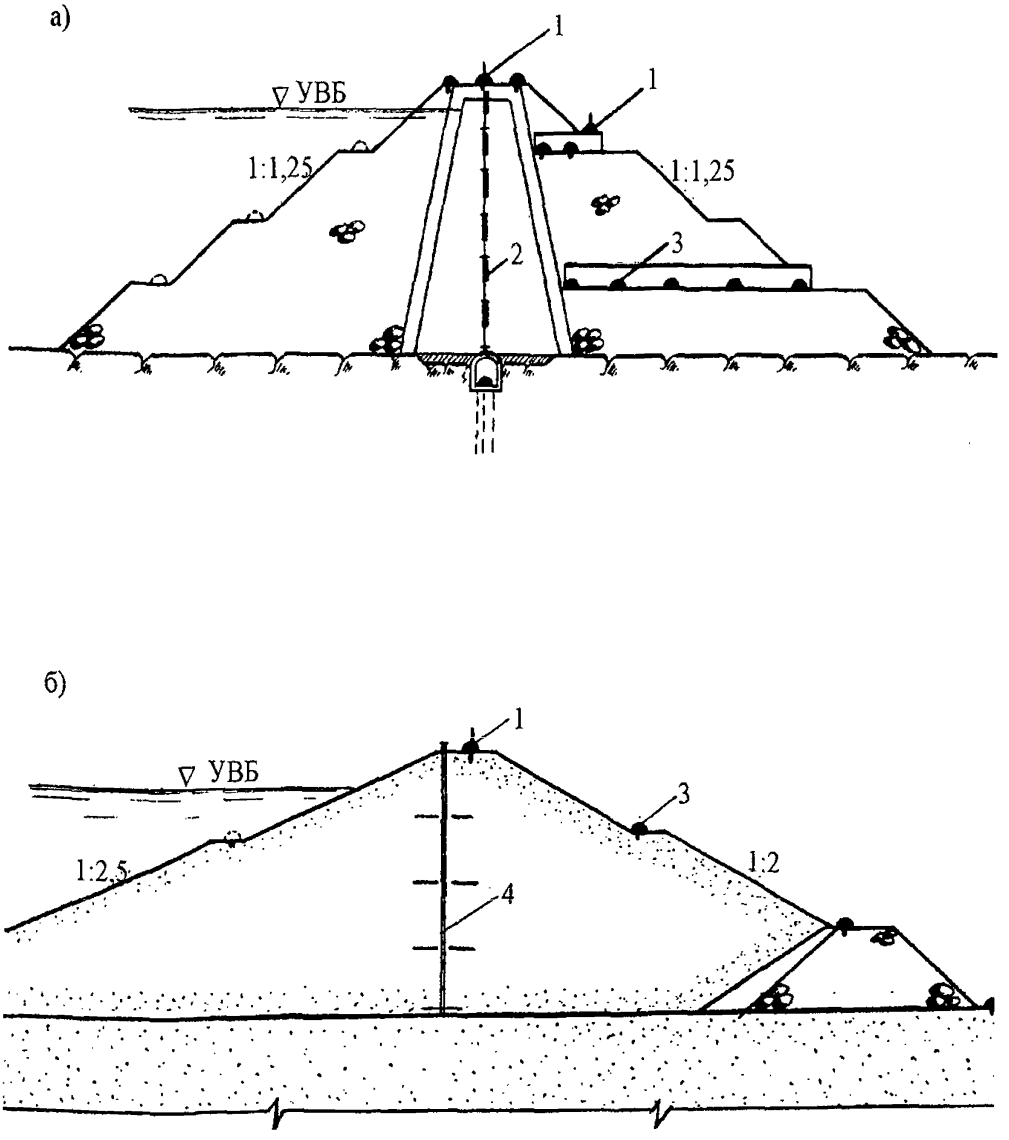


Рис.3.3. Принципиальные схемы размещения геодезических марок на грунтовых плотинах:

а – каменнонабросная плотина с ядром; *б* – однородная плотина; *1* – планово-высотная марка; *2* – система деформометров (типа ПЛПС-160); *3* – поверхностная марка; *4* – глубинная многоярусная марка

3.61. Измерения осадки основания плотины производятся нивелированием поверхностных марок, устанавливаемых в цементационной галерее, с помощью глубинных марок и длиннобазных деформометров, размещаемых в грунтовом массиве в соответствии с рекомендациями пп.3.58-3.59 и рис.3.3. Указанные средства измерений устанавливаются перед началом работ по возведению насыпи тела плотины.

3.62. Плановые смещения гребня и берм плотины следует определять одним из следующих методов:

а) методом визирных створов;

б) методом триангуляции;

в) комбинированным методом - створов и триангуляции.

Метод визирных створов рекомендуется применять при наблюдениях за смещениями плотин с прямолинейной продольной осью, методы триангуляции и комбинированный - на плотинах, продольная ось которых имеет изломы.

3.63. Планово-высотные марки располагаются в ряде точек гребня и низовых берм плотины (обычно порядка 5-7 точек), лежащих на их продольных осях. При несовпадении осей симметрии гребня плотины и верха противофильтрационного элемента (ядра, экрана, диафрагмы) марки следует размещать по оси элемента.

3.64. Наблюдения за плановыми смещениями точек, расположенных внутри тела плотины, производятся с применением длиннобазных телеметрических деформометров ПЛПС, наблюдательных шахт, оснащенных отвесами, инклинометрических установок.

3.65. Деформометры устанавливаются на заданных отметках горизонтально вдоль одной или двух взаимно перпендикулярных осей в теле плотины.

На крутопадающих береговых участках плотины, где наиболее вероятно образование поперечных трещин, деформометры устанавливаются вдоль оси гребня с заглублением 0,5-1,0 м от поверхности в виде "цепочек" из набора отдельных приборов.

3.66. Наблюдательные шахты с отвесами устраиваются, как правило, в 5-7 м за низовой гранью центрального противофильтрационного элемента (диафрагмы, ядра). Для измерений поперечных горизонтальных смещений этих элементов они соединяются с отвесом в шахте телескопическими трубами-прогибомерами (рис.3.4).

3.67. Инклинометрические скважинные установки могут размещаться как по центру плотины, так и со смещениями в стороны верхнего и нижнего бьефов. Измерения смещений по ним производятся с помощью специальной электромеханической "торпеды".

3.68. На участках плотины, где проявляются просадки, подвижки откосов или трещины, должны быть оперативно установлены дополнительные временные плановые или высотные марки и по ним организованы учащенные измерения (вплоть до ежедневных) до выяснения причин и стабилизации деформаций, оценки эффективности ремонтных мероприятий (рис.3.5).

3.69. При наличии в основании плотины слабых грунтов следует проводить наблюдения за их выпором. В этих целях вдоль подошвы низового откоса плотины размещают сеть поверхностных марок.

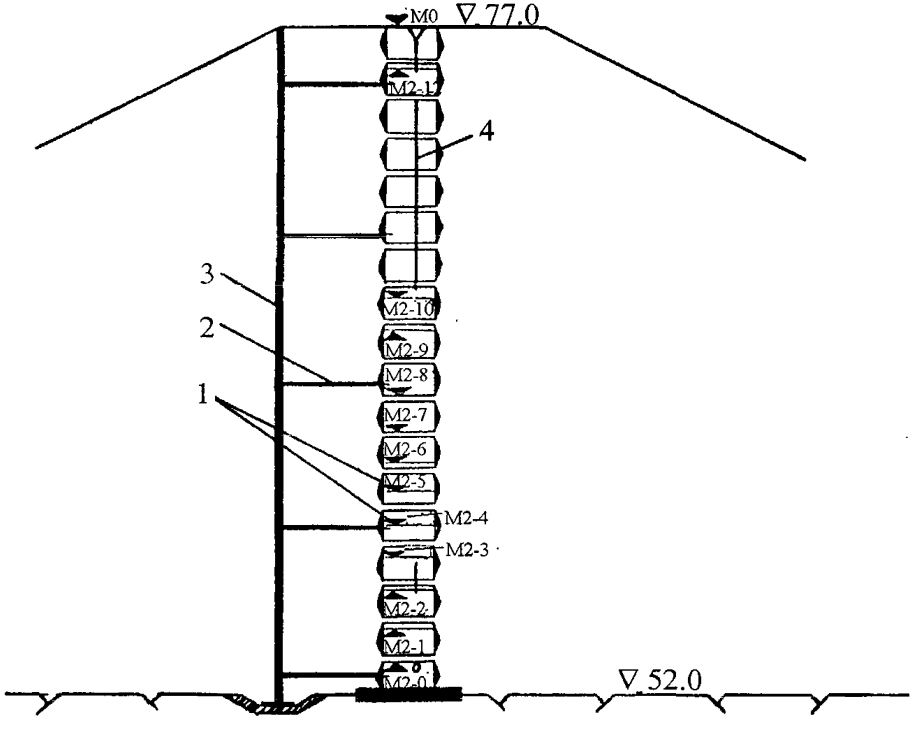


Рис.3.4. Схема размещения высотных марок, прогибомеров и отвеса в смотровой шахте плотины с диафрагмой:

1 – $М_{2\text{-}0}$; $М_{2\text{-}1}$; ... – стеновые высотные марки на кольцах шахты; *2*– прогибомер; *3* – диафрагма плотины; *4* – отвес прямой

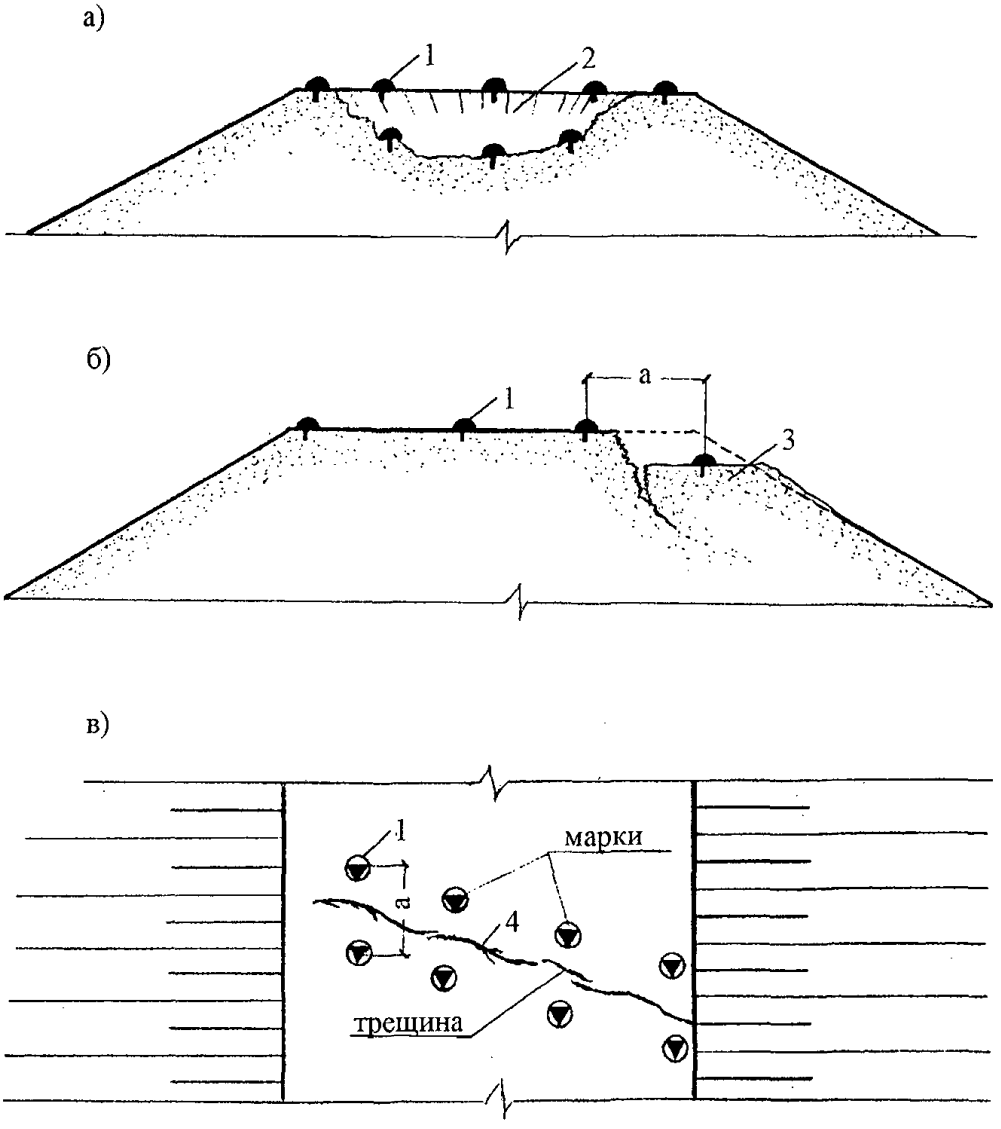


Рис.3.5. Схема размещения временных высотных марок для контроля:
а – просадки; *б* – оползня; *в* – трещины;
1 – поверхностная марка; *2* – воронка проседания; *3* – массив оползня;
4 – трещина

3.70. Для обеспечения комплексности контроля эксплуатационной надежности сооружения измерительные устройства для определения осадок и смещений (марки, деформометры, шахты и т.д.) рекомендуется по возможности размещать в тех же сечениях и створах, что и другую телеметрическую КИА.

Размещение КИА для контроля напряженно-деформированного состояния сооружения

3.71. Наблюдения за напряженно-деформированным состоянием грунтовой плотины проводятся в целях оценки ее прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности, а также для контроля процесса консолидации грунта, определения нагрузок на центральные противофильтрационные элементы, в том числе из негрунтовых материалов, давления грунта на встроенные бетонные сооружения и для уточнения деформационных характеристик материала непосредственно в сооружении [ВСН 35-70, 9-11].

3.72. Наблюдениями за напряженно-деформированным состоянием грунта в плотине должны быть установлены значения компонентов напряжений и соответствующих им относительных деформаций в скелете грунта и поровое давление воды.

3.73. Полное напряжение в грунте определяется с помощью телеметрических преобразователей (датчиков) напряжений типа ПНГС. Монтаж преобразователей в измерительных точках должен осуществляться в ходе строительства плотины с принятием необходимых мер по их защите от повреждений механизмами.

Поровое давление воды в грунте определяется датчиками ПДС [12].

Относительные деформации в грунте измеряются деформометрами ПЛПС.

3.74. Преобразователи напряжений грунта ПНГС и деформометры устанавливаются:

а) в грунтовых, асфальтобетонных, глиноцементных противофильтрационных элементах (экране, ядре, понуре, диафрагме);

б) в песчано-гравийных переходных зонах, защищающих противофильтрационные элементы;

в) в грунтовом теле боковых призм;

г) по поверхностям сопряжения противофильтрационных элементов с упорными призмами плотины и встроенными бетонными сооружениями.

3.75. Измерению подлежат нормальные напряжения по трем направлениям в плоскости поперечного сечения плотины – горизонтальному, вер-

тикальному и под углом 45° к горизонту. Соответственно этим направлениям размещаются приборы для измерения напряжений грунта и деформометры. В узких створах или где подошва плотины имеет значительный уклон в направлении русла рекомендуется устанавливать дополнительные приборы для измерения нормальных напряжений и деформаций, действующих вдоль ее продольной оси (рис.3.6).

3.76. В точках размещения датчиков напряжений грунта следует устанавливать датчики для измерения порового давления. По показаниям тех и других приборов определяются напряжения в скелете грунта, как разность полных напряжений в грунте и порового давления.

3.77. Датчики напряжений грунта, порового давления и деформометры устанавливаются группами и, как правило, ярусами, число которых определяется проектом. В отдельных измерительных точках могут быть установлены одиночные приборы.

3.78. В плотинах с суглинистыми ядрами, асфальтобетонными и суглинистыми экранами и диафрагмами приборы устанавливаются в горизонтальных сечениях с расположением их у верховой и низовой граней, в центре сечения, в промежуточных точках, а также в переходных зонах (рис. 3.6).

3.79. В плотинах с диафрагмами измерительные приборы данной группы размещаются в 5-7 сечениях по высоте на контакте диафрагмы с грунтом боковых призм. Для определения величины касательных напряжений, действующих по поверхности диафрагмы и в непосредственной близости от нее в массиве грунта, устанавливаются группы датчиков напряжений, ориентированных чувствительными элементами под углами 0°, 90° и 45° к горизонту [10]. Аналогичная схема размещения приборов должна применяться в зонах контакта грунтовой плотины с бетонными устоями встроенных сооружений, а также в примыканиях к крутопадающим уступам берегов.

3.80. Для контроля давления грунта на перекрытия и стенки жестких конструкций (трубу, туннель и т.п.), пересекающих в подошве плотины ее противофильтрационные элементы (ядро, экран, диафрагму или призму), на их внешних поверхностях должны быть установлены датчики напряжений грунта и давления воды. По длине этих конструкций измерительные приборы размещаются в нескольких поперечных створах, назначаемых проектом.

3.81. В экранах и диафрагмах из асфальтобетона, железобетона и металла следует устанавливать преобразователи линейных деформаций типов ПЛДС-400 или ПЛДСН-150 (тензометры) для определения напряжений в

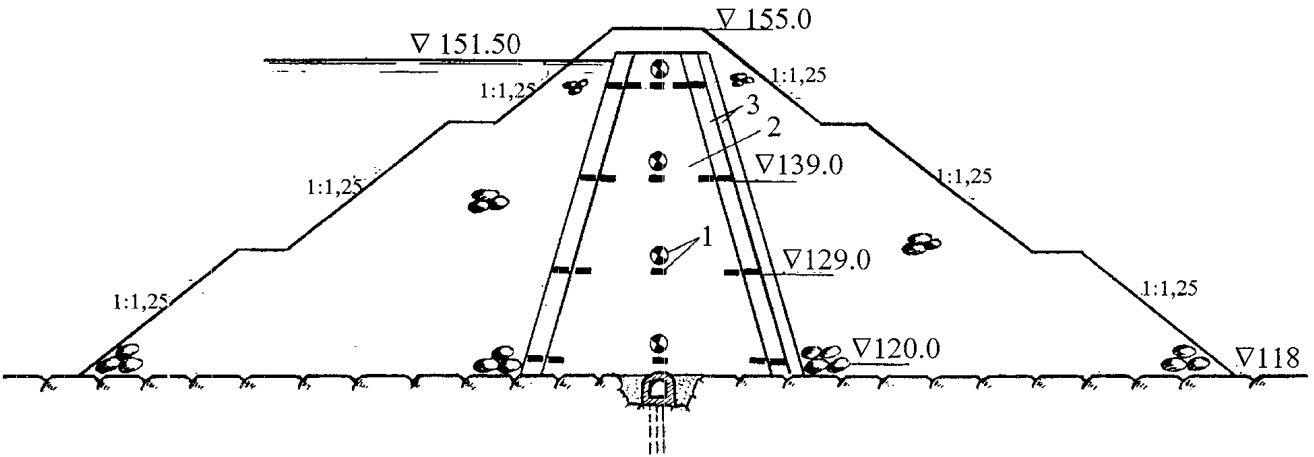


Рис.3.6. Схема размещения датчиков нормальных напряжений в ядре и переходных слоях плотины:

1 – датчик напряжений; *2* – ядро; *3* – переходные слои

материале. Измерительные приборы размещаются в тех же створах и на тех же ярусах, что и приборы других назначений и преимущественно на боковых гранях экрана, диафрагмы.

3.82. Измерительные приборы для контроля напряженно-деформированного состояния плотины и ее основных элементов устанавливаются в процессе строительства сооружения. Измерения по ним начинаются сразу после установки и далее систематически проводятся в течение всего периода строительства сооружения и последующей его эксплуатации вплоть до полной стабилизации напряжений и деформаций или исчерпания приборами рабочего ресурса.

Размещение КИА для наблюдений за криогенными процессами

3.83. Криогенными (мерзлотными) процессами называются комплексные многофакторные природные и инженерно-геологические процессы, развивающиеся в грунтах в результате и в ходе их промерзания-оттаивания [13-15].

К криогенным процессам, наблюдаемым в грунтовых плотинах в северной строительно-климатической зоне, относятся следующие:

криогенное пучение промерзающих и оттаивающих грунтов морозоопасных зон плотин, подвергающихся ежегодному промерзанию и оттаиванию;

температурное деформирование и криогенное трещинообразование мерзлых грунтов при изменении их температурного режима;

льдообразование в упорных призмах из крупнообломочных грунтов с распучиванием при сплошном льдозаполнении пустот;

солифлюкция (оползание) откосов плотин и бортовых примыканий;

морозное выветривание крупнообломочных грунтов и скальных примыканий;

осадки и просадки (термокарст) при оттаивании мерзлых грунтов оснований и грунтовых плотин;

наледеобразование и фильтрационные выходы на откосах плотин и бортовых примыканиях;

тепломассоперенос, в том числе конвективный тепломассоперенос воздуха, пара и воды в теле, основаниях и бортах плотины.

3.84. Наблюдения за криогенным пучением связных грунтов противофильтрационных устройств и распучиванием сыпучих материалов переходных зон и упорных призм при льдообразовании в них проводятся как в строительный, так и в эксплуатационный периоды.

3.85. Наблюдения за пучением в строительный период производятся с помощью поверхностных марок путем их периодического нивелирования и одновременного контроля температурного состояния грунтов либо с использованием дифференциальных пучиномеров [16].

Нивелировка марок производится в абсолютных отметках от фундаментальных реперов, находящихся на территории гидроузла, нивелированием не ниже III класса.

3.86. Марки следует устанавливать во время технологических перерывов в строительстве плотины сразу же после завершения земляных работ. Места установки марок следует привязывать к местам закладки стационарной КИА.

3.87. В эксплуатационный период наблюдения за пучением проводятся при помощи стационарных механических приборов (дифференциальных пучиномеров, телескопических марок) или электрических - струнных и тензодеформометров, устанавливаемых вертикально.

3.88. Конструкции механических и электрических приборов определяются для каждого объекта индивидуально, исходя из вида исследуемых грунтов и ожидаемой глубины промерзания.

3.89. Наблюдения за криогенным трещинообразованием в строительный период проводятся визуально. При обнаружении трещин выполняется их описание с фиксацией протяженности, ширины раскрытия, глубины и координат, а также фотографирование и нанесение на план сооружения с использованием геодезической съемки участков плотины, затронутых трещинообразованием.

3.90. При необходимости организуются инструментальные наблюдения за развитием трещин во времени, которые следует проводить при помощи механических трещиномеров (щелемеров) и геодезической съемки в несколько циклов (рис.3.7, *а*).

3.91. В эксплуатационный период наблюдения за температурными деформациями и трещинообразованием осуществляются при помощи механических приборов (деформометров, трещиномеров, щелемеров и т.п.) или электрических с автоматизацией измерений. Деформометры (трещиномеры) устанавливаются на поверхности элементов плотины горизонтально в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а при размещении в глубинных слоях и зонах – в трех координатных плоскостях. База ($l_{пр}$) приборов выбирается в зависимости от гранулометрического состава исследуемого грунта. При этом следует соблюдать условие $l_{пр} \geq 5d_{max}$, где d_{max} - максимальный размер фракции исследуемого грунта.

3.92. Установку приборов на гребне противофильтрационного элемента и бермах, работающих на механическом принципе, следует произво-

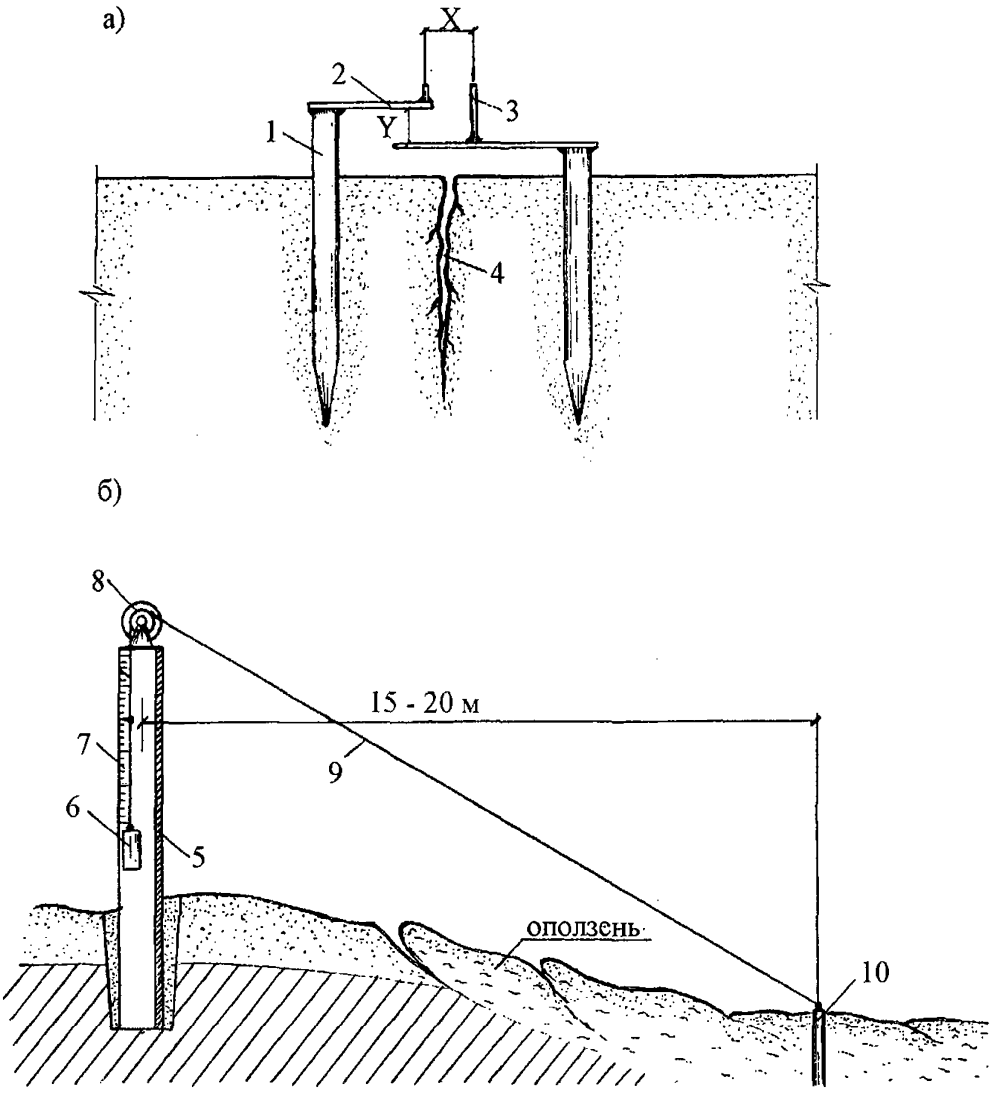


Рис.3.7. Схемы установки механического трещиномера на криогенной трещине (*а*); и шнуромера на откосе, подверженном солифлюкции (*б*):

1 – штырь (труба); *2* – консоль; *3* – стержень стальной; *4* – трещина; *5* – свая (швеллер); *6* – груз натяжной; *7* – линейка; *8* – ролик; *9* – тросик; *10* – якорь

дить в специально оборудованных шурфах, пройденных с гребня плотины до поверхности грунтового противофильтрационного устройства, или на бермах плотины. Рекомендуемые размеры шурфа в плане 2х2 м.

3.93. Оптимальный состав механической КИА в шурфе включает один дифференциальный пучиномер, два трещиномера, расположенные во взаимно перпендикулярных плоскостях, и одну термоскважину, глубина которой на 2-3 м превышает глубину максимально возможного промерзания верхней зоны плотины. На стенках перекрытий и дне шурфа при этом, как правило, устанавливаются геодезические марки для контроля общих деформаций сооружения и его отдельных элементов.

3.94. Криогенные деформации пучения и трещинообразования по механической КИА, установленной в шурфах, фиксируются при помощи штангенциркуля или автоматизированных электродеформометров (типа индикаторов с электронной насадкой и т.п.).

3.95. Приборы, работающие по электрическому принципу, не требуют устройства специальных шурфов и после установки засыпаются грунтом. Рядом с местом установки этих приборов оборудуется температурная скважина.

3.96. Приборы, регистрирующие электрический сигнал, должны размещаться в условиях, определенных их паспортом. При работе в нестандартных условиях все приборы должны быть соответствующим образом переаттестованы метрологической службой.

3.97. Наблюдения за солифлюкцией организуются как в строительный, так и в эксплуатационный период на потенциально опасных участках откосов плотины, береговых линиях и откосах подводящих каналов, выбираемых на основании инженерно-геокриологической съемки.

3.98. Наблюдения за солифлюкцией в зависимости от протяженности откоса и слагающих его грунтов могут проводиться при помощи геодезической съемки, закладной механической электрической КИА (рис.3.7, *б*).

3.99. Геодезические наблюдения за солифлюкционными перемещениями целесообразно организовывать при мощности потенциально опасного участка, превышающей 2 м. Закладку марок и организацию наблюдательных створов следует приурочивать к летнему сезону.

3.100. При выполнении геодезических наблюдений осуществляется планово-высотная съемка закладных марок с привязкой их к фундаментным реперам, находящимся на территории гидроузла, нивелированием не ниже III класса.

3.101. При наблюдениях за солифлюкцией необходима организация систематических геодезических наблюдений.

3.102. Наблюдения за конвекцией во время строительства ведется визуально, а также с использованием спаренных гигрографов и термографов у конвекционных выходов, при этом фиксируют зоны наиболее интенсивных конвективных выходов и наносят их на план плотины.

3.103. Наблюдения за льдообразованием и наледеобразованием во время строительства ведутся визуально. При этом фиксируют состояние наброски в смотровых проемах галерей и шахт, а также на откосах. При обнаружении любых образований льда следует выполнить их фотографирование, а также зафиксировать их координаты и промерить объемы льдонакопления на поверхности откоса, бермы или в смотровой галерее.

3.104. В строительный период ведется снегомерная съемка с точностью 1 см при помощи переносных снегомерных реек.

Определение плотности снега выполняют при помощи походного снегомера.

3.105. Наблюдения за инфильтрацией влаги в наброску ведутся при помощи осадкомеров, располагаемых в наброске и соединенных с наблюдательным помещением (проходной галереей) или дневной поверхностью патрубками. Рекомендуется также располагать осадкомеры в потолке смотровых галерей, размещаемых поярусно в низовой призме. Наблюдения за влажностью внутрипорового воздуха наброски ведутся при помощи спаренных термографов и гигрографов, которые следует располагать в специальных проемах, находящихся в галереях или шахтах и выходящих непосредственно в наброску. От воздействия воздуха галереи шахты и проемы должны быть защищены герметичной дверцей.

3.106. Для стационарных летних наблюдений за скоростью конвекции воздуха (пара) в наброске на поверхности откосов плотины устраиваются специальные короба, снабженные патрубками для установки анемометров. Такие же патрубки рекомендуется устраивать в дверцах и люках смотровых проемов, расположенных в галереях и шахтах плотины.

Визуальные наблюдения

3.107. В соответствии с рекомендациями СНиП 2.06.05-84* и П 72-2000/ВНИИГ визуальными наблюдениями контролируются:

а) состояние откосов и гребня плотины - просадки, подвижки, оползни, трещины;

б) состояние креплений откосов и гребня плотины - разрушение креплений, просадка, оползание, раскрытие швов и деформации плит креплений;

в) состояние водосборных кюветов на низовом откосе, бермах и прилегающей территории – повреждение облицовок, заиление, зарастание, перемерзание;

г) состояние водовыпусков из закрытых дренажных устройств - целостность, проточность, перемерзание;

д) появление на низовом откосе плотины и в береговых ее примыканиях выходов фильтрационных вод или мокрых пятен;

е) появление выходов воды или просадочных воронок в примыкании грунтовой плотины к бетонным сооружениям;

ж) появление выходов воды из основания в нижнем бьефе плотины;

з) появление наледей у подошвы низового откоса плотины и на дренажных линиях;

и) размывы откосов и берегов;

к) явления морозного пучения грунта, конвективного льдообразования и морозного выветривания каменной наброски;

л) проявление мутности в фильтрующейся воде;

м) солифлюкция (оползание) откосов плотины и береговых примыканий.

3.108. Визуальные наблюдения ведутся путем регулярных обходов и осмотров сооружения по заранее разработанной маршрутной схеме (рис.3.8).

3.109. Выявленные дефектные участки сооружения оконтуриваются, фотографируются, наносятся на план в виде карты-развертки (рис.3.9). Все материалы наблюдений заносятся в специальный журнал. Информация о выявленных опасных дефектах передается главному инженеру объекта для принятия соответствующих решений.

3.110. В местах выявления дефектов или непредвиденных явлений организуются соответствующие инструментальные наблюдения.

3.111. При визуальных наблюдениях надлежит осуществлять проверку состояния контрольно-измерительной аппаратуры – оголовков пьезометров, геодезических знаков, мерных водосливов, измерительных пультов, кабельных линий и т.п.

3.112. Результаты визуальных наблюдений, так же как и инструментальных, должны использоваться при оперативной оценке работы, состояния и диагностирования грунтовых плотин. Учет их производится, в основном, путем корректировки расчетных схем, граничных условий, выключения из работы сооружения (в расчетных схемах) отдельных его дефектных элементов, если таковые зафиксированы визуальными наблюдениями, и т.п.

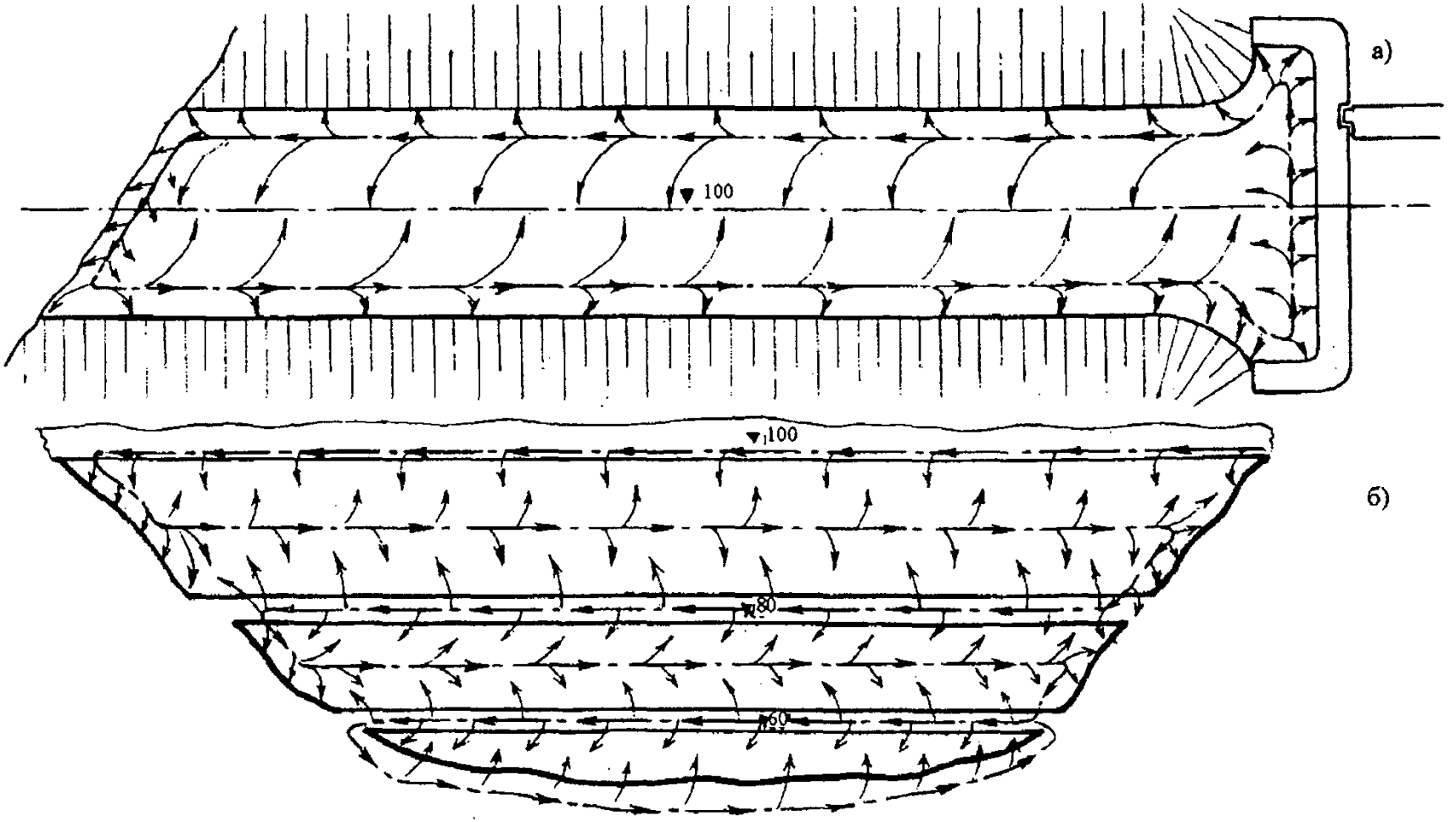


Рис.3.8. Пример маршрутных схем осмотров плотины:
а – гребня; *б* – низового откоса и берм

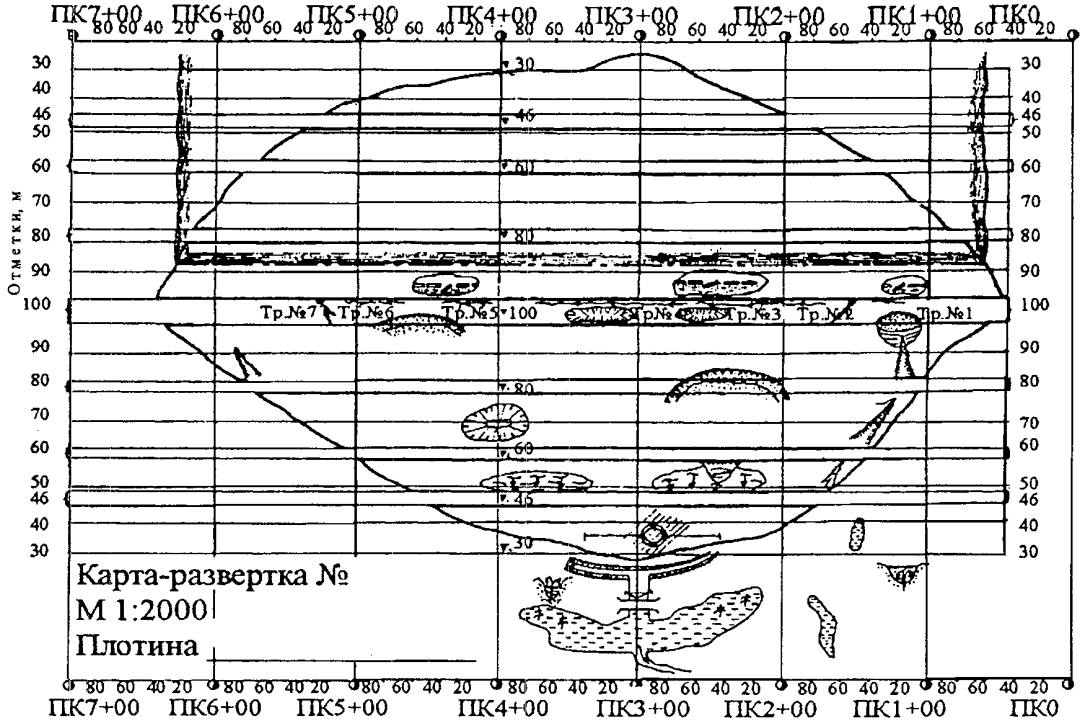


Рис.3.9. Масштабная карта-развертка грунтовой плотины

3.113. Регулярные натурные наблюдения за показателями, характеризующими эксплуатационную надежность и безопасность сооружения и основания, должны начинаться непосредственно после установки соответствующих средств измерений и продолжаться в течение нормируемого для каждого сооружения или отдельного его элемента срока с учетом их состояния, тенденций в процессах стабилизации режимов работы и "старения", долговечности измерительной аппаратуры и возможностей ее замены по истечении рабочего ресурса и других обстоятельств.

3.114. Для каждого конкретного объекта сроки отсчетов по датчикам и другим измерительным устройствам для всех характерных этапов работы сооружения устанавливаются программой наблюдений или местными инструкциями [ВСН 35-70, РД 34.20..501-95].

3.115. Устанавливают частоту систематических отсчетов, выполняемых через определенные интервалы времени, и сроки специальных отсчетов, приуроченных к особым моментам режима эксплуатации сооружения (первоначальное наполнение водохранилища, превышение НПУ, резкое увеличение фильтрационного расхода, сильное землетрясение и т.п.).

3.116. Перед первоначальным наполнением водохранилища систематические отсчеты по всем видам закладных измерительных устройств производятся через 7-10 дней. Специальные отсчеты выполняют перед началом наполнения, в процессе наполнения (например, через каждые 0,5-3,0 м подъема уровня или при достижении им, например, 1/4, 1/2, 3/4 и полной величины напора), при проявлениях аномальных или настораживающих явлений (появление мутности в фильтрующейся воде, трещин и т.п.).

3.117. В общем случае периодичность специальных измерений следует назначать в пределах от одного до пяти дней. В исключительных случаях, когда наблюдается интенсивное развитие того или иного неблагоприятного процесса, отсчеты по приборам должны производиться по несколько раз в сутки, включая и ночное время (например, идет интенсивный вынос грунта фильтрационным потоком и т.п.).

3.118. Периодичность систематических отсчетов по приборам в начальный период эксплуатации сооружения, вплоть до проявления признаков установившегося режима его работы, назначается в интервале 5-15 дней. В дальнейшем, при отсутствии аномальных явлений частота отсчетов по некоторым датчикам и приборам при соответствующем обосновании может быть сокращена до 10-30 дней.

3.119. Наблюдения за напряженно-деформированным состоянием плотины и ее основания по полной программе и с использованием всех установленных средств измерений должны проводиться в течение периода, охватывающего полное наполнение водохранилища и такое количество циклов его сезонной сработки и наполнения в проектных пределах нормальной эксплуатации, которое соответствует стабилизации напряженно-деформированного состояния и переходу деформаций сооружения в упругую стадию.

3.120. Периодичность систематических наблюдений (отсчетов по приборам) за температурным режимом сооружения, его отдельных элементов и основания в строительный период назначается с интервалом 7-10 дней, в период первоначального наполнения водохранилища – 1-5 дней, в начальный период эксплуатации – 10-15 дней, а в последующем при установившемся режиме работы сооружения – 15-30 дней. При пропуске паводков через встроенные в плотину бетонные водопропускные сооружения температурный режим контактных зон контролируется специальными отсчетами с периодичностью 1-5 дней.

3.121. Осадки и горизонтальные смещения гребня и берм плотин контролируются в строительный период – в зависимости от условий, обусловленных технологией возведения, но с периодичностью не реже 4 циклов в год и дополнительно – по одному циклу перед и сразу после перемонтажа временных марок; один контрольный цикл наблюдений проводится перед наполнением водохранилища, по 2 цикла в месяц (а в отдельных случаях до 4 циклов в месяц) – в процессе наполнения водохранилища, по 2 цикла в год – в период эксплуатации в режиме сезонной сработки и подъема уровня (первый цикл проводится при самом низком сработанном уровне, второй – спустя 1-2 месяца после его подъема до НПУ). При проявлении процессов интенсификации осадки или горизонтальных смещений периодичность наблюдений может быть доведена до 1 цикла в сутки и сохраняется в этих пределах вплоть до принятия мер по их стабилизации.

3.122. Наблюдения по фильтрационной КИА (пьезометры, водосливы и др.) в период наполнения водохранилища проводятся через каждые 1-5 дней.

При нормальной работе сооружения и основания в период их начальной эксплуатации до выхода на установившийся режим периодичность отсчетов составляет 5-15 дней. В последующие годы нормальной эксплуатации она должна быть не реже 10-15 дней. При резких сработках или подъемах уровня верхнего бьефа или проявлении аномалий оперативность на-

блюдений должна быть повышена до 1-5 дней, причем в течение всего периода времени, необходимого для проявления реакции средств измерений на указанные изменения УВБ (этот период обуславливается "инерционностью" пьезометров и водосливов).

3.123. Вопрос о прекращении или снижении периодичности отдельных видов инструментальных наблюдений решается индивидуально для каждого сооружения. В случае, если состояние сооружения изучено достаточно подробно и имеет установившийся характер работы, поведение его в целом соответствует проектным предположениям и отсутствуют какие-либо аномальные явления, регулярные наблюдения по некоторой части КИА могут быть прекращены, а контрольные отсчеты по ней можно брать 2-4 раза в год (например, напряжения в теле грунтовой плотины или ее противофильтрационном элементе и др.).

Регулярные наблюдения с частотой 1-2 раза в месяц должны постоянно продолжаться по тем измерительным устройствам, которые дают наиболее важную информацию для оценки состояния и эксплуатационной надежности и безопасности сооружения и основания. Применительно к грунтовым плотинам, расположенным в криолитзоне, к таким наблюдениям следует отнести наблюдения за температурным режимом плотины, ее элементов, основания, воды в водохранилище и наружного воздуха; наблюдения за фильтрационным режимом плотины, основания и береговых примыканий; наблюдения за осадками и смещениями.

3.124. Визуальные осмотры сооружения проводятся, как правило, еженедельно.

3.125. Первичная обработка данных натурных наблюдений состоит в вычислении по показаниям измерительных устройств значений измеряемых величин контролируемых параметров сооружения (температуры, осадки, смещения, расхода, градиентов и т.д.), в их систематизации и представлении в удобном для оперативного использования, анализа и хранения виде.

3.126. Первичная обработка результатов наблюдений должна оперативно производиться непосредственно на объекте персоналом подразделения наблюдений, в том числе с применением ПЭВМ.

Результаты обработки представляются в виде таблиц, графиков, эпюр, изолиний и других формах, рекомендуемых местной инструкцией.

Наиболее приемлемой и обязательной формой представления результатов наблюдений следует считать графики зависимостей основных контролируемых рабочих параметров сооружения (осадок, смещений, напряже-

ний, расходов, пьезометрических напоров и др.) от действующих нагрузок и воздействий (гидростатического напора, собственного веса, температуры и др.), а также от временного фактора.

Некоторые примеры представления результатов наблюдений даются на рис. 3.10-3.16.

3.127. Способы и объемы анализа результатов наблюдений определяются характером и сложностью решаемых задач.

Многофакторный анализ эксплуатационной надежности и безопасности сооружения следует проводить с участием специализированной научно-исследовательской организации и использованием критериев надежности и безопасности [РД 34.20.501-95].

3.128. В общем случае основными задачами, решаемыми анализом, являются:

количественная и качественная оценка измеренных диагностических параметров сооружения и установление их взаимосвязи с основными нагрузками и воздействиями на сооружение;

оценка соответствия фактических значений контролируемых параметров проектным предположениям, данным специальных исследований и критериям надежности;

выявление аномальных изменений и тенденций в работе сооружения, установление их причин и степени опасности с точки зрения надежности сооружения;

оценка эксплуатационной надежности и безопасности сооружения.

3.129. На основе многофакторного анализа комплексных натурных наблюдений, проектных материалов, результатов сопутствующих исследований и математического моделирования должно быть выполнено диагностирование эксплуатационной надежности и безопасности сооружения в соответствии с рекомендациями разделов 2 и 4.

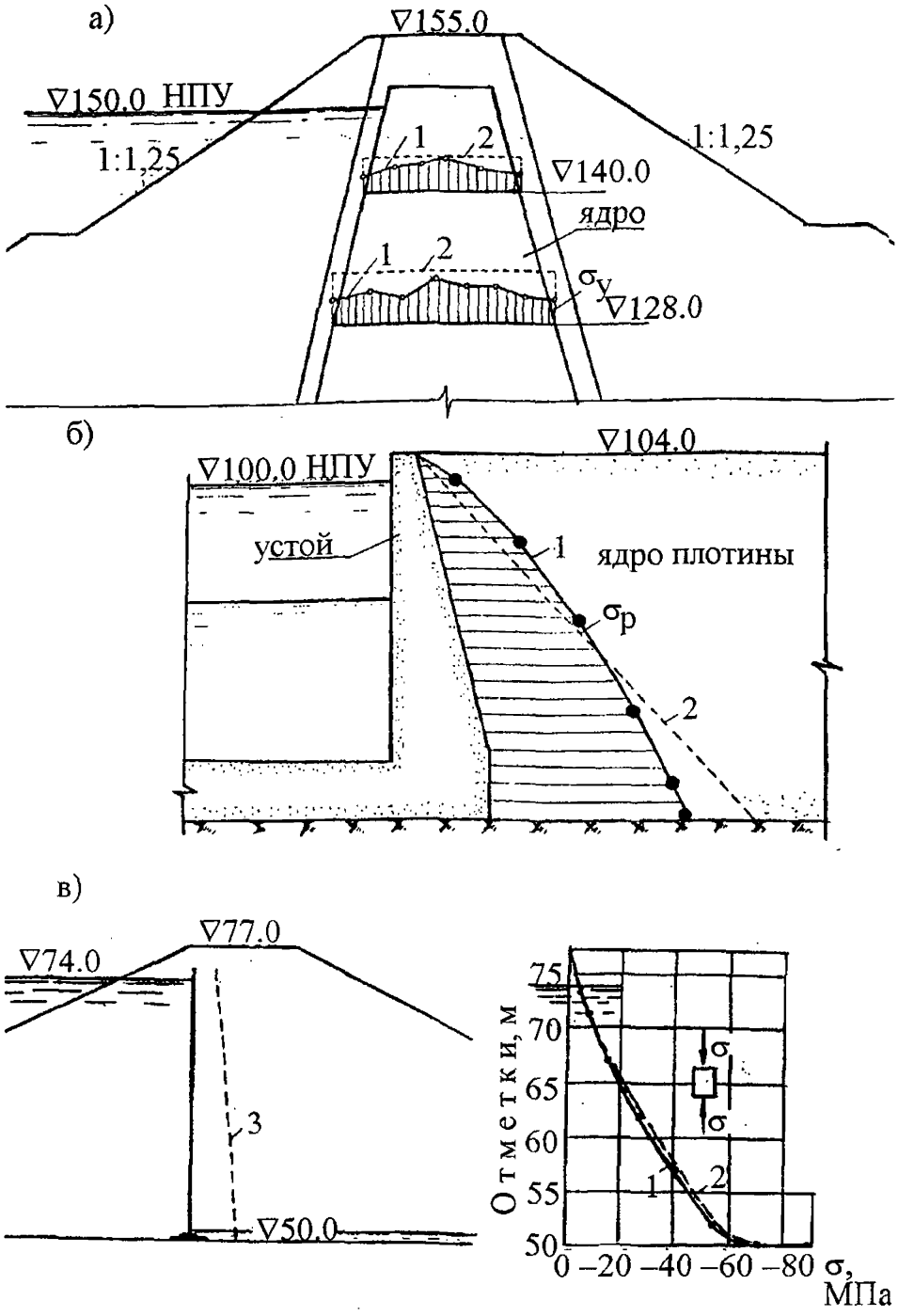


Рис.3.10. Натурные и расчетные эпюры нормальных сжимающих напряжений:

а – в ядре плотины; *б* – в грунте на поверхности устоя; *в* – в стальной диафрагме; *1* – натурная эпюра; *2* – расчетная эпюра; *3* – эпюра смещений диафрагма

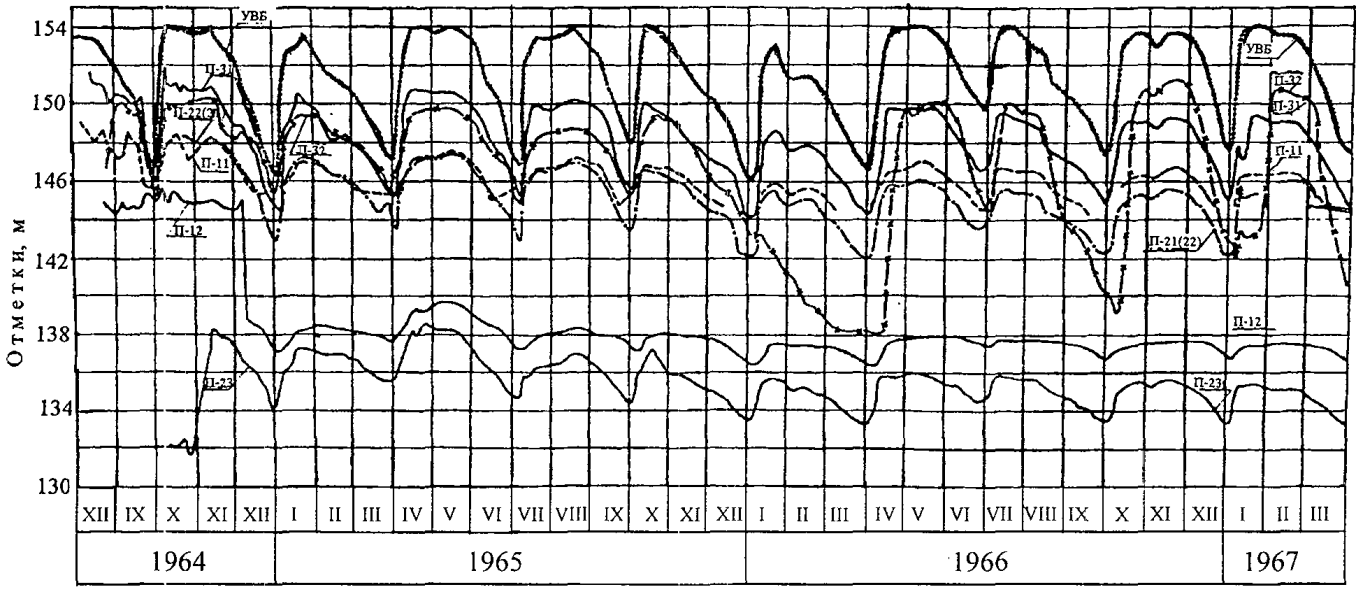


Рис.3.11. Графики колебаний уровней воды в пьезометрах:

П-11, П-12, П-23, ... – номера пьезометров

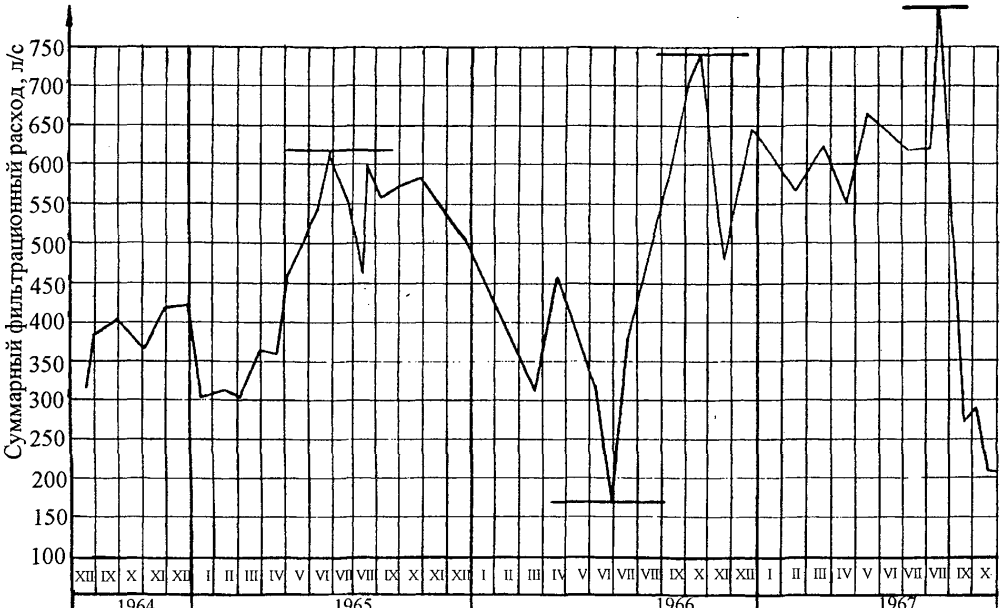


Рис.3.12. График изменения фильтрационного расхода во времени

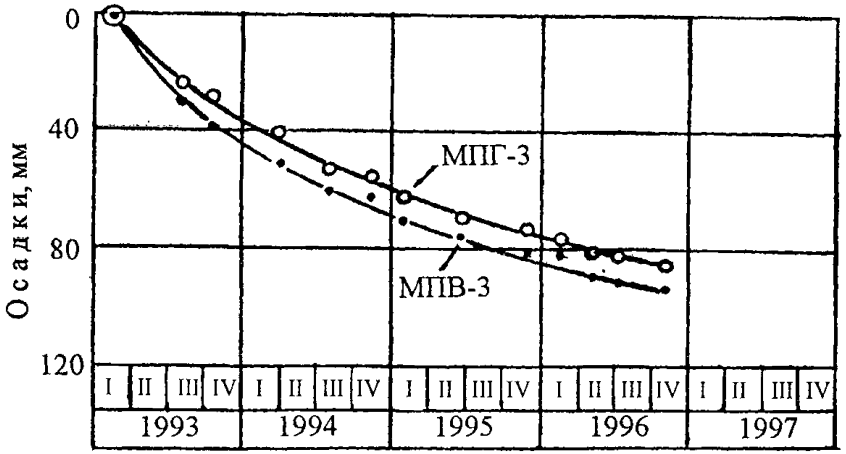


Рис.3.13. График осадки гребня плотины:

МПГ-3 – поверхностная марка на гребне ядра; МПВ-3 – поверхностная марка на верховой бровке

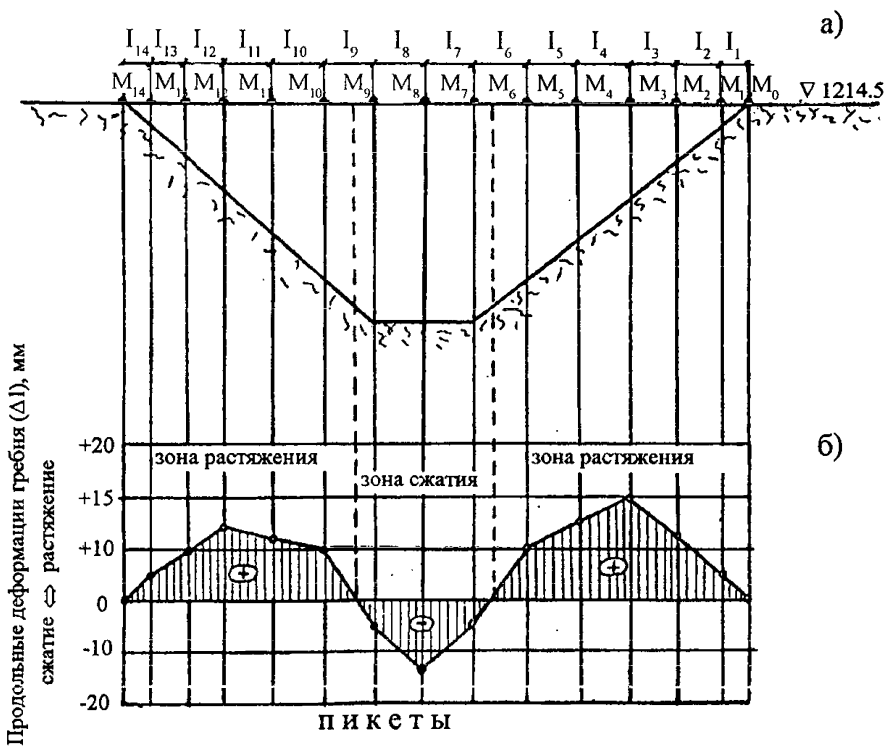


Рис.3.14. Эпюра продольных деформаций гребня плотины:

а – размещение марок M_0, M_1, M_2,... на гребне; *б* – эпюра деформаций гребня

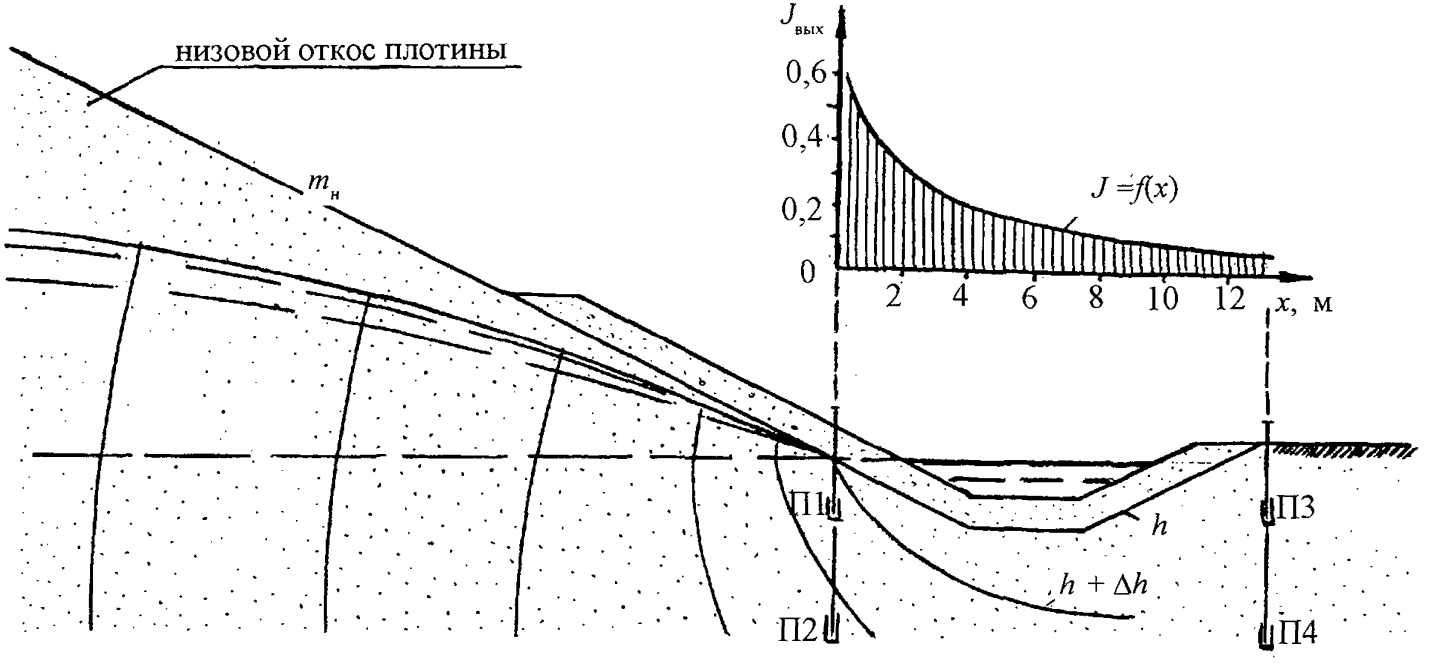


Рис.3.15. Эпюра выходных градиентов напора ($J_{вых}$) в зоне разгрузки потока:

$П_1$, $П_2$, $П_3$, $П_4$ – контрольные точечные пьезометры

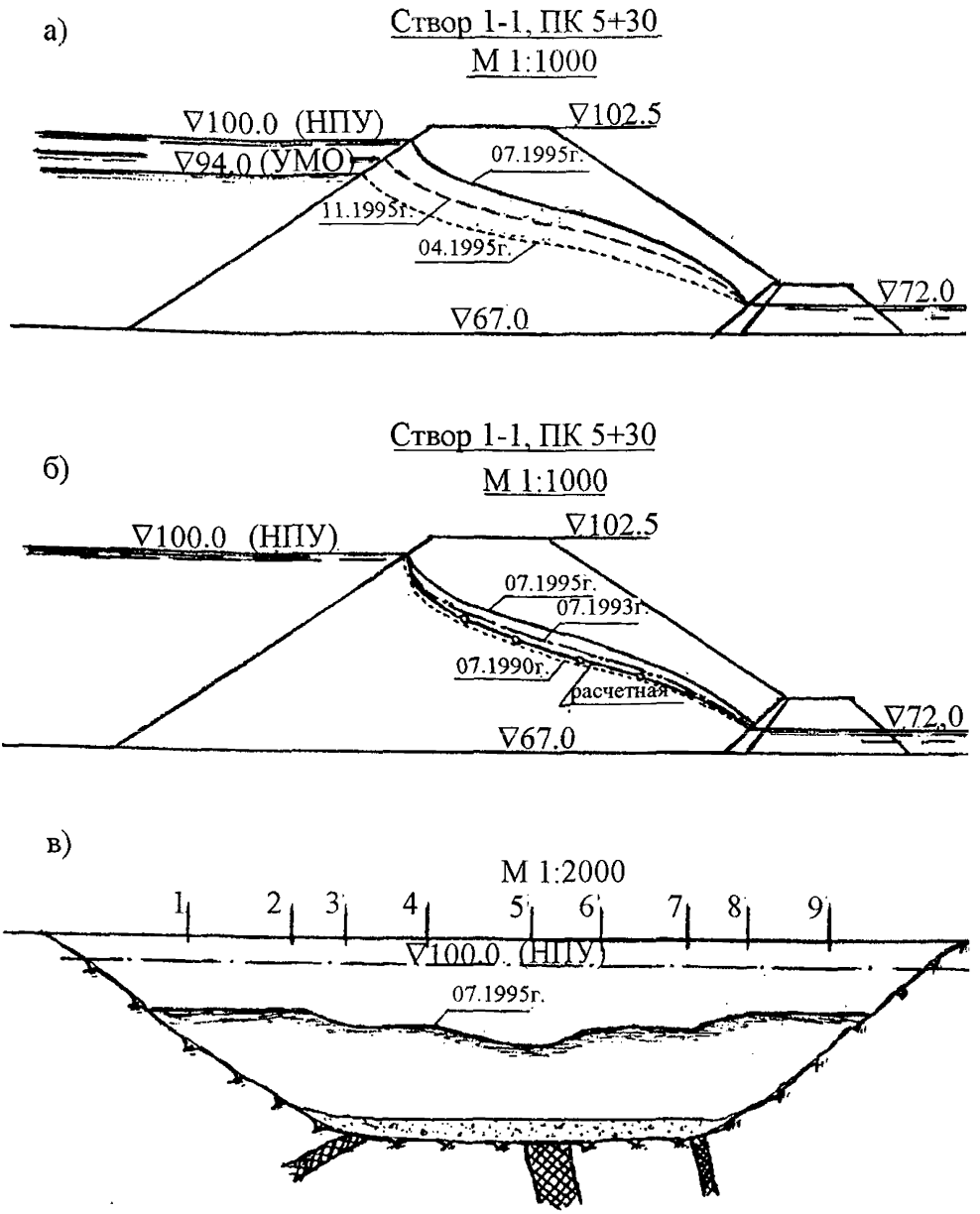


Рис.3.16. Кривые депрессии, полученные в результате обработки данных наблюдений:

а – в годичном интервале наблюдений; *б* – в многолетнем интервале наблюдений; *в* – продольная поверхность депрессии по изменениям в створах 1,2,...,9; *1*, *2*, *3*... – пьезометрические створы

4. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, РАСЧЕТОВ И КРИТЕРИАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ)

4.1. Многофакторный анализ состояния сооружения, длительное время находящегося в эксплуатации, должен предусматривать:

а) детальное изучение проектных материалов и полного технического "досье" сооружения на всех этапах его строительства и эксплуатации как основной исходной информации;

б) ретроспективный анализ всех натурных показателей работы и состояния сооружения (по видам наблюдений) за весь период его эксплуатации с определением влияния отдельных и совокупности "дефектных" структурных элементов, благоприятных или неблагоприятных тенденций на эксплуатационную надежность сооружения (напряжения, деформации, осадки, смещения, противодавление, фильтрационные расходы, напоры, градиенты и т.д.);

в) выявление изменений количественных и качественных показателей физико-механических характеристик материалов сооружения и основания, произошедших за период эксплуатации (снижение прочности, деструктивные нарушения, морозное пучение или выветривание, разуплотнение грунта и т.п.);

г) анализ, а при необходимости и корректировку расчетных схем, сочетания нагрузок, расчетных характеристик сооружения в соответствии с требованиями современных СНиП и условий работы сооружения;

д) разработку математических моделей сооружения с учетом показателей его состояния в период длительной эксплуатации, статические и динамические расчеты прочности и устойчивости сооружения в целях корректировки критериев надежности и безопасности;

е) сравнительный анализ данных натурных наблюдений и результатов расчетов по уточненным математическим моделям и расчетным схемам, сопоставление фактических диагностических показателей работы и состояния сооружения с критериями надежности и безопасности.

4.2. При выполнении прогнозных расчетов надежности плотины по уточненным данным в расчетных схемах следует учитывать установленные наблюдениями, в том числе визуальными, тенденции изменения во времени диагностических параметров, дефекты конструктивных элементов плотины, распределение нагрузок и другие факторы, изменяющие схему работы сооружения.

4.3. По результатам прогнозных расчетов и натурных наблюдений следует выполнить экспертный анализ состояния сооружения (с участием высококвалифицированных специалистов в данной области), выявить причины отклонения отмеченных фактических диагностических параметров работы плотины от их номинальных и предельно допустимых критериальных показателей и наметить инженерные мероприятия по повышению эксплуатационной надежности сооружения до нормативной и усилению контроля за его работой. При необходимости принимается решение о временном снижении нагрузки на плотину понижением УВБ. После выполнения ремонтных мероприятий проводятся испытания плотины нормативной нагрузкой и оценивается техническая эффективность ремонта.

4.4. При достижении одним или совокупностью фактических диагностических параметров их предельных (аварийных) критериальных значений плотина однозначно должна быть оценена как неработоспособная, находящаяся в предаварийном состоянии. Такой же оценке должна быть подвергнута плотина и в тех случаях, когда ее контролируемые фактические диагностические параметры достигли и превзошли их предельно допустимые значения, хотя еще не достигли предельных (аварийных) показателей, но уже имеет место быстроразвивающийся процесс, снижающий ее надежность.

Во всех этих случаях должно быть принято оперативное решение о снятии нагрузки на плотину понижением уровня верхнего бьефа или полной сработкой водохранилища по аварийной схеме. Параллельно с этим должны приниматься меры безопасности в отношении населенных пунктов и других объектов, расположенных в долине ниже плотины.

4.5. В последующий после первого цикла наполнения водохранилища период эксплуатации плотины общая методическая схема диагностирования ее состояния, надежности и безопасности в основном сохраняется, но реализуется на различных этапах эксплуатации сооружения с учетом рекомендаций п. 2.

Применение технических систем диагностирования сооружений

4.6. Для ответственных плотин, оснащенных большим количеством КИА, или ряда плотин в энергосистеме рекомендуется создание систем оперативного контроля и диагностирования их состояния на базе технических средств, включая ПЭВМ. Основные технические требования к таким системам должны заключаться в повышении оперативности постановки диагно-

за состояния сооружения с использованием данных натурных наблюдений и критериев безопасности, в снижении трудоемкости работ.

4.7. Технические системы оперативного контроля и диагностирования плотин должны включать в себя блоки накопления и систематизации данных натурных наблюдений, обработки и анализа их результатов, сравнения натурных значений диагностических параметров сооружения с их критериальными показателями, блоки построения и реализации в расчетах математических моделей плотины, пакеты необходимых операционных и расчетных программ и др.

4.8. Блоки накопления и систематизации результатов натурных наблюдений за надежностью плотины должны быть реализованы в системе созданием в ней баз данных (БД), манипулирование которыми осуществляется системой управления базами данных (СУБД). Структура БД должна обеспечивать не только накопление, систематизацию и анализ результатов натурных наблюдений за плотиной, но и оптимизацию пути поиска необходимой информации в общем массиве.

Кроме того в БД должно содержаться достаточно полное "досье" на плотину, включающее паспортные сведения о ее конструкции, технологии возведения и случаях ее нарушения, природно-климатических условиях, описание имевших место отказов и аварийных ситуаций на сооружении, сведения по установленной КИА и видам наблюдений, по ремонтам и реконструкциям и др.

4.9. Методика диагностирования эксплуатационной надежности и безопасности плотины с использованием технической системы в своей основе должна соответствовать принципам, изложенным в данных Рекомендациях.

4.10. Для оперативной передачи (или приема) информации о состоянии диагностируемого объекта техническая система должна иметь средства дальней связи с объектом или его вычислительным центром, службой эксплуатации.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННОГО И ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОТИН И ОСНОВАНИЙ

В настоящее время основные средства измерений (закладные измерительные преобразователи и датчики), используемые при натурных наблюдениях за напряженным и деформированным состоянием плотин и их оснований, разрабатывает и изготовляет ОАО "ДИГЭС"* (Москва) [12].

Измерительные преобразователи различного назначения унифицированы по выходному сигналу и типу передающего элемента, выполняющего перевод измеряемой величины (деформаций, усилий, давлений, температуры и др.) в электрическую. Информативным параметром сигнала является частота переменного напряжения на выходе преобразователя. В качестве передающего преобразовательного элемента использованы унифицированные струнные виброчастотные модули, работающие в режиме затухающих колебаний.

Ниже приведены унифицированные параметры и основные технические характеристики измерительных преобразователей номенклатуры предприятия ОАО "ДИГЭС", а также ряда приборов других изготовителей.

Примечание. Наименования средств измерений номенклатуры предприятия ОАО "ДИГЭС" соответствуют следующим общепринятым терминам:

преобразователь линейных деформаций струнный (ПЛДС) - тензометр струнный;

преобразователь силы арматурный струнный (ПСАС) - динамометр арматурный;

преобразователь линейных перемещений струнный (ПЛПС) - щелемер струнный;

преобразователь температуры струнный (ПТС) - термометр струнный;

преобразователь температуры терморезисторный (ПТТ) - термометр сопротивления;

преобразователь давления струнный (ПДС) - пьезодинамометр струнный.

---

* В настоящее время ОАО "ДИГЭС" вошло в ОАО "Научно-исследовательский институт энергетических сооружений" (НИИЭС).

Преобразователи, выпускаемые ОАО «ДИГЭС», стандартизированы и сертифицированы.

УНИФИЦИРОВАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СТРУННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО "ДИГЭС"

Предел допускаемой основной погрешности, приведенный к диапазону измерения, %	не более 2
Вариация выходного сигнала, приведенная к диапазону измерений, %	не более 1
Разность частот выходного сигнала, соответствующих предельным значениям входной величины, кГц	1±0,2
Максимальное (начальное) амплитудное напряжение затухающего выходного сигнала синусоидальной формы на активной нагрузке 6 кОм, мВ	не менее 5
Импенданс на частоте 1,5 кГц, Ом	250±50
Логарифмический декремент затухания	не менее 0,005
Сопротивление изоляции электрических цепей относительно корпуса при испытательном напряжении 500 В, МОм	не менее 1,0
Параметры импульса запроса (возбуждения):	
напряжение, В	150±15
длительность, мс	0,5-1
период повторения, с	не менее 0,5
полярность	любая
Выводной кабель	двужильный типа КРГД
Исполнение преобразователей по устойчивости к механическим воздействиям окружающей среды	обыкновенное
Герметичность при внешнем давлении, МПа	3,5
Область рабочих температур, °С	от -30 до +40
Средний срок службы, лет	10
Градуировочная характеристика	индивидуальная

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ СТРУННЫЙ (ПДС)

Преобразователь предназначен для телеизмерения давления воды в напорных пьезометрах и порового давления в бетонной кладке гидротехнических сооружений и в грунте их оснований.

Преобразователь содержит чувствительный элемент, выполненный в виде цилиндра, внутри которого установлен струнный преобразовательный элемент (рис. П1.1).

Измеряемое давление передается через диафрагму на чувствительный элемент, сжимает его и, снижая натяжение струны, изменяет частоту ее собственных колебаний.

Преобразователи, предназначенные для измерения порового давления, поставляются с пористой насадкой (фильтром).

Технические данные

	ПДС-3	ПДС-10	ПДС-30	ПДС-100
Верхний предел измерения, МПа	0,3	1,0	3,0	10,0
То же, кгс/см^2	3	10	30	100
Максимально допустимое внешнее давление	не более 1,25 предела измерения			
Начальная частота выходного сигнала, Гц	2000±200			
Диапазон изменения частоты выходного сигнала, Гц	1000±200			
Изменение начальной частоты при изменении температуры на 10°С, Гц	не более 10			
Габаритные размеры, мм:				
диаметр	32			
длина	200 (215)			
Масса, кг	не более 0,75			

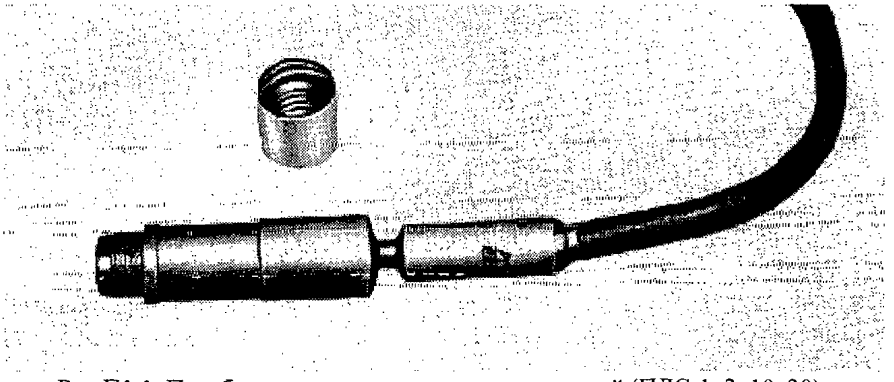


Рис.П1.1. Преобразователь давления воды струнный (ПДС-1, 3, 10, 30)

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СТРУННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НОРМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ (ПНГС)

Диапазон измерения, МПа:	
ПНГС-3	0,06-0,3
ПНГС-10	0,20-1,0
ПНГС-30	0,60-3,0
ПНГС-100	2,0-10,0
Выходной электрический сигнал	затухающие колебания электродвижущей силы
Диапазон периодов выходного сигнала (рабочий), мкс	450-1250
Амплитуда выходного сигнала, измеренная в интервале времени от 100 до 200 периодов, мВ	не менее 5
Основная погрешность, приведенная к верхнему пределу измерения, %	±3
Вариация показаний, приведенная к верхнему пределу измерения, %	не более 1

Общий вид преобразователя ПНГС показан на рис. П1.2.

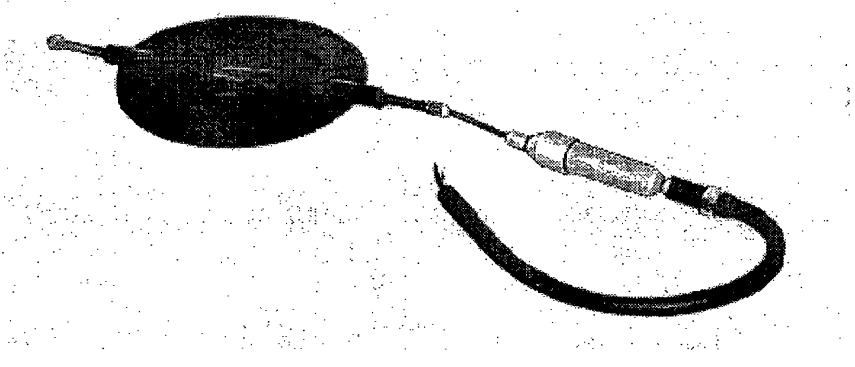


Рис.П1.2. Общий вид преобразователя типа ПНГС

ГРУНТОВЫЙ ДИНАМОМЕТР ТИПА ГД

Преобразователь предназначен для телеизмерения контактного давления грунта на грани бетонных сооружений. Допустимо его использование для измерения давлений в массиве грунта.

Преобразователь (рис. П1.3) представляет собой цилиндрический корпус с кольцевой мембраной (чувствительный элемент). В местах наибольшей угловой деформации мембраны к ней прикреплены кронштейны, в которые заделана струна. Прогиб мембраны от давления грунта вызывает поворот кронштейнов и увеличение натяжения струны, а соответственно и частоты ее собственных колебаний.

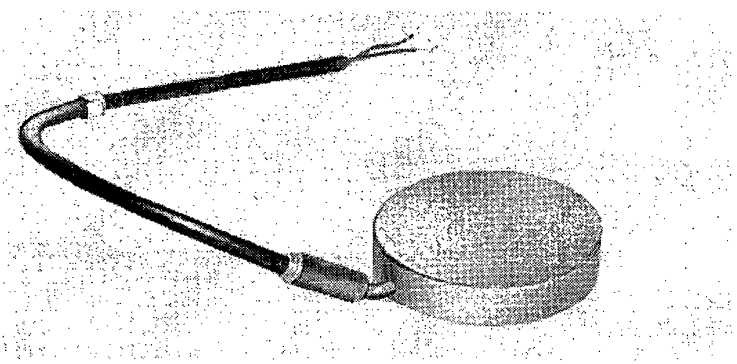


Рис.П1.3. Общий вид преобразователя типа ГД

Технические данные

Показатели	Обозначение типоразмеров					
	ГД-2,5	ГД-4	ГД-6	ГД-10	ГД-16	ГД-26
Предел измерения,МПа. . . .	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5
То же, кгс/см^2.	2,5	4,0	6,0	10,0	16,0	25,0
Чувствительность.	не менее 0,5% от предела измерений					
Основная погрешность. . . .	не более 1% от предела измерений					
Максимальный прогиб мембраны, мкм	не более 20-25					
Герметичность, МПа.	1,25 от предела измерений					
Габаритные размеры, мм:						
диаметр.	128					
высота.	25					
Масса, кг.	1,75					

Разработчик - НИИЭС (Москва)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ СТРУННЫЙ ПТС-60

Преобразователь предназначен для телеизмерения температуры в теле и основании гидротехнических сооружений и окружающей их среды (воды и воздуха) в течение длительного времени (рис. П1.4).

Преобразователь содержит в герметичном корпусе трубчатый чувствительный элемент и закрепленный в нем соосно струнный виброчастотный преобразовательный элемент. Чувствительный элемент и струна выполнены из материалов (алюминия и стали) с различными коэффициентами линейного расширения. При изменении температуры в струне возникает дополнительное усилие, вызывающее изменение частоты ее собственных колебаний.

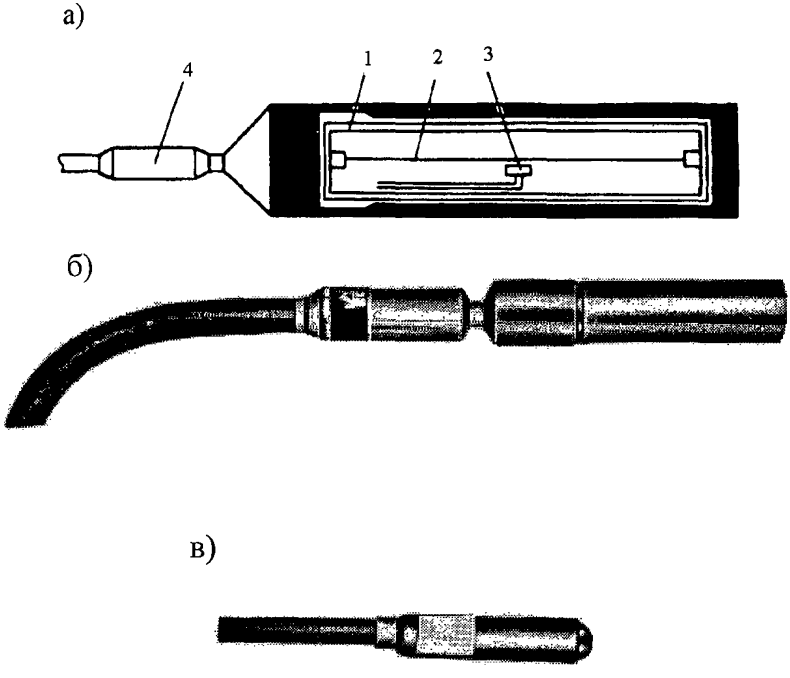


Рис.П1.4. Преобразователи температуры:

а – схема конструкции струнного преобразователя ПТС-60; *б* – общий вид ПТС-60; *в* – общий вид терморезисторного преобразователя ПТТ-60; *1* – упругий элемент; *2* – струнный резонатор; *3* – передающий преобразовательный элемент; *4* – кабельный ввод

Технические данные

Пределы измерений, К	253-233
То же, °С	от -20 до +60
Основная погрешность, К(°С)	1
Начальная частота выходного сигнала, Гц	1300±100
Диапазон измерения частоты выходного сигнала, Гц	800±100
Габаритные размеры, мм:	
диаметр	30
длина	200
Масса, кг	0,5

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОРЕЗИСТОРНЫЙ (ПТТ-60)

Преобразователь предназначен для измерения температуры бетона гидросооружений в период их возведения. Он представляет собой терморезистор, завулканизированный в резиновую оболочку.

Принцип действия преобразователя основан на зависимости активного сопротивления полупроводникового терморезистора от его температуры. Сопротивление измеряют мостом постоянного тока типа МО-62 или Р-333, не допуская нагрева терморезистора питающим его током (рис. П1.4).

Технические данные

Пределы измерения, К	273-333
То же, °С	от 0 до +60
Основная погрешность, К (°С)	не более 2
Номинальное сопротивление при температуре °С, Ом	1700±400
Изменение сопротивления при измерении температуры в пределах диапазона измерений, Ом	1250±250
Герметичность при внешнем давлении, МПа	0,3
Габаритные размеры, мм:	
диаметр	20
длина	80
Масса, кг	0,2
Средний срок службы, лет	2

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СТРУННЫЙ (ПЛПС)

Преобразователь предназначен для телеизмерения раскрытий швов, трещин и деформаций скальных оснований (рис. П1.5).

Преобразователь содержит струнный виброчастотный преобразовательный элемент, присоединенный с одной стороны к корпусу, а с другой - к масштабной пружине, свободный конец которой прикреплен к перемещаемому относительно корпуса штоку. Перемещение вызывает изменение растягивающего усилия в струне и частоты ее собственных колебаний.

Преобразователи ПЛПС-3 и ПЛПС-10 отличаются только жесткостью масштабных пружин. Преобразователи ПЛПС-30 и ПЛПС-100 выполнены на базе ПЛПС-10 с присоединением к нему клиновых ходоуменьшительных устройств с передаточными соотношениями 1:3 и 1:10 соответственно.

Преобразователи ПЛПС-3 и ПЛПС-10 используют в основном для измерения раскрытий швов, преобразователи ПЛПС-30 и ПЛПС-100 – в качестве длиннобазных (25-30 м и более) измерителей деформаций скалы. Измерители получают путем присоединения к преобразователям базообразующих элементов (трубы или стержня с анкером) требуемой длины.

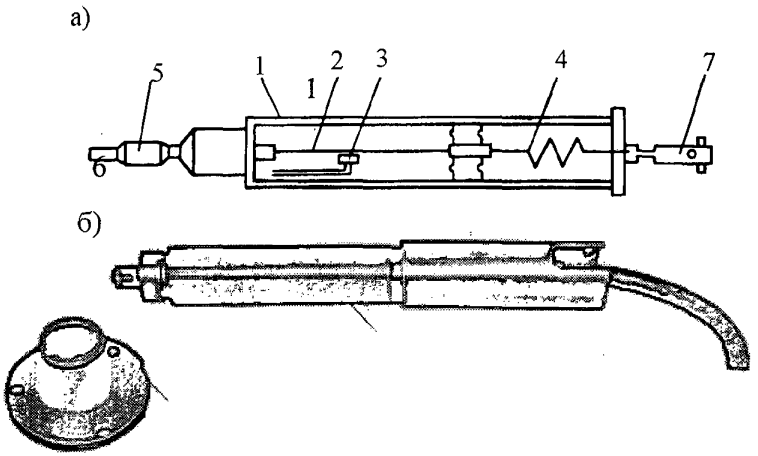


Рис.П1.5. Преобразователь линейных перемещений типа ПЛПС:

а – схема конструкции; *б* – общий вид; *1* – корпус; *2* – струнный резонатор; *3* – передающий преобразовательный элемент; *4* – упругий элемент; *5* – кабельный ввод; *6* – фланец; *7* – удлинитель штока с анкером

Технические данные

	ПЛПС-3	ПЛПС-10	ПЛПС-30	ПЛПС-100
Диапазон измерения, мм.	0-3	0-10	0-30	0-100
Пределы диапазона рабочих частот, Гц.		700-2000		
Диапазон изменения частоты выходного сигнала, Гц.		1000±300		
Габаритные размеры, мм:				
диаметр.		48		
длина (с кабельной частью)		400		
Масса (без фланца), кг		2,7		

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ (ПУЖС)

Преобразователь предназначен для телеизмерения осадки сооружений и оснований, прогибов железобетонных конструкций и уровня воды на мерных водосливах. Он является базовым прибором для построения основы гидростатического нивелирования (ОГН).

Преобразователь (рис.П1.6) состоит из герметичного корпуса и жестко вмонтированного в корпус собственно преобразователя типа ПСУС, к чувствительному элементу которого присоединен на гибкой стальной подвеске груз цилиндрической формы, погруженный частично в жидкость с удельной массой 0,8-0,9 г/см^3 (трансформаторное масло, силиконовые жидкости, спирт и др.).

ОГН содержит группу преобразователей ПУЖС, установленных в контролируемых точках сооружения и соединенных между собой жидкостными (нижними) и воздушными (верхними) трубками. Вертикальное смещение одного из преобразователей изменяет уровень жидкости в сообщающихся сосудах (корпусах ПУЖС) и соответственное усилие, воспринимаемое ПСУС.

Преобразователи выпускают 5 типоразмеров.

Технические данные

Пределы измерения, мм:	
ПУЖС-32.	0-32
ПУЖС-64.	0-64
ПУЖС-130.	0-130
ПУЖС-250.	0-250
ПУЖС-500.	0-500

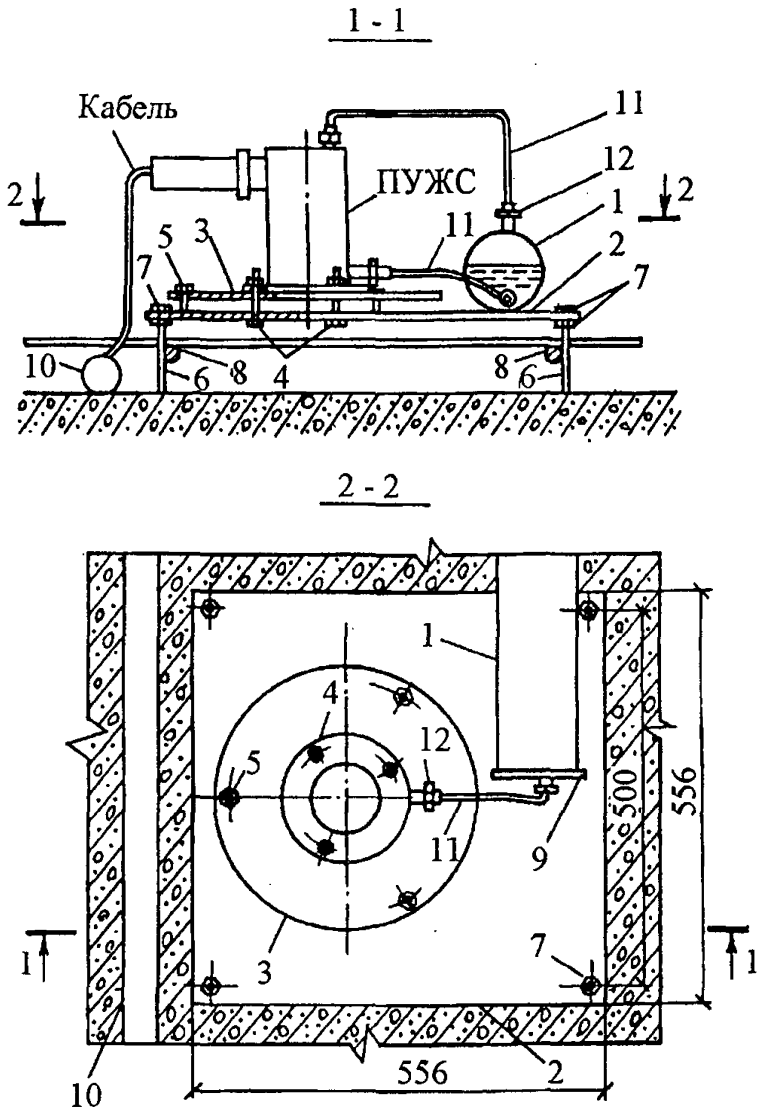


Рис.П1.6. Установка преобразователя уровня жидкости струнного (ПУЖС):

1 – труба масло- и воздухопровода; *2* – монтажная плита; *3* – установочная плита; *4* – установочные болты, закрепляющие ПУЖС; *5* – регулировочный винт; *6* – регулировочный стержень; *7* – регулировочные гайки; *8* – монтажный стержень; *9* – фланец; *10* – труба для кабеля; *11* – соединительная трубка; *12* – штуцер с накидной гайкой

Пределы диапазона рабочих частот, Гц	800-2200
Предел допускаемой основной погрешности, приведенной к верхнему пределу измерений, %	±0,6
Вариация показаний, приведенная к верхнему пределу измерений, %	не более 0,6
Диапазон рабочих температур, °С	от -25 до +30
Внешнее давление, МПа	до 3

ПРИЕМНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ СТРУННЫХ ДАТЧИКОВ

ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР "Струна-10"

Прибор предназначен для измерения в полевых условиях частоты и периода выходного сигнала струнных преобразователей вызывного типа.

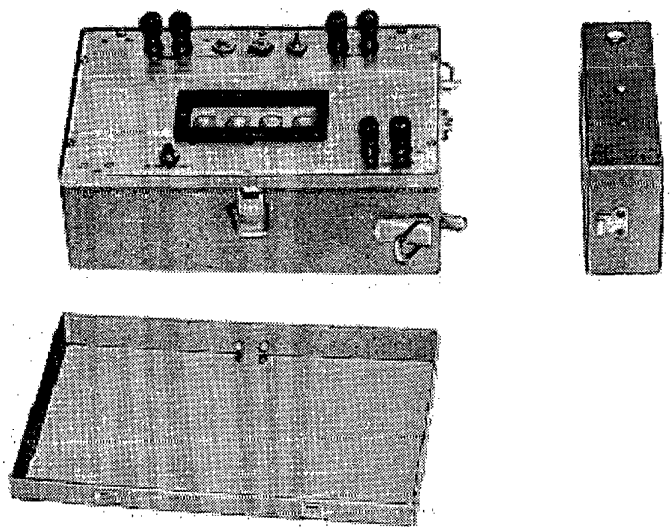


Рис.П1.7. Периодомер цифровой ПЦП-1М

Основные технические данные

Диапазон измерения:	
частоты, Гц	500-2500
периода, мс	0,4-2,0
Погрешность измерения, %	примерно 0,1
Начальная амплитуда входного сигнала, В	0,001-10
Импульс возбуждения преобразователя, В	130; 0,5 мс
Питание	автономное (батарея или аккумулятор 4В±20%; 0,5А
Потребляемая мощность, Вт	1,2
Вход прибора симметричный, входной импеданс, кОм	3
Габариты, мм	165х285х80
Масса (с источником питания), кг	3,0

Разработчик - ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева.

ПЕРИОДОМЕР ЦИФРОВОЙ ПОРТАТИВНЫЙ (ПЦП-1)

Прибор предназначен для измерения в полевых условиях периода выходного сигнала струнных преобразователей вызывного типа (рис. П.1.7).

Основные технические данные

Диапазон измеряемых периодов, мкс	400-2000
Индикация результата	на 5-разрядном цифровом табло
Предел допускаемой относительной погрешности, %	
систематической	не более 0,1
случайной	не более 0,05
Параметры импульса запроса:	
амплитуда, В	150±10%
период следования, с	1,5±0,5
длительность, мс	0,5±0,2
Питание:	
автономное	аккумуляторная батарея напряжением 9В±20%
сетевое	переменный ток напряжением 220В±10% и 36В±10%

Потребляемая мощность, Вт.	не более 3
Входной импеданс на частоте 1500Гц, кОм. .	не более 3±20%
Запуск.	ручной и автоматический
Надежность:	
наработка на отказ, ч.	не менее 5000
средний срок службы, лет.	не менее 6
Габариты, мм.	262x114x344
Масса, кг.	4,2

Изготовитель - ПО "Спецэнергоавтоматика".

КОММУТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

КОММУТАТОР ДАТЧИКОВ КП-24

Коммутатор предназначен для поочередного или выборочного ручного подключения к вторичному измерительному прибору группы закладных датчиков, установленных в теле или основании гидротехнических сооружений (рис. П1.8).

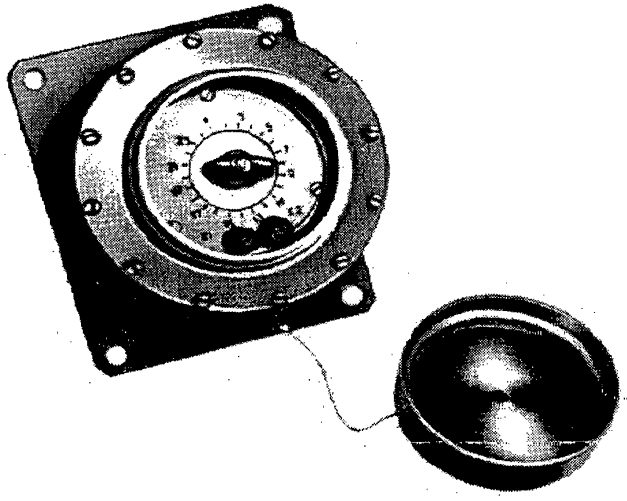


Рис.П1.8. Коммутатор преобразователей КП-24

Технические данные

Число подключаемых датчиков	24
Тип коммутируемых датчиков	струнный и резистивный
Исполнение	пылевлагозащитное
Область рабочих температур, °С	от -30 до + 40
Габариты, мм:	
высота	200
ширина	175
длина (без кабельной части)	155
Длина выходных кабелей, мм	1000
Масса, кг	не более 11,2

Изготовитель - предприятие "Спецэнергоавтоматика".

ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Установка предназначена для измерения вертикальных и горизонтальных деформаций внутренних зон тела грунтовых плотин.

Установка (рис. П1.9) смонтирована на шасси автомобиля и содержит инклинометр, лебедку с каротажным кабелем и электронную измерительную аппаратуру. В инклинометре смонтированы измерительные преобразователи углов наклона, ориентированные в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, преобразователь расстояния между марками и электронный блок, выполняющий предварительное преобразование сигнала преобразователей.

В процессе измерений инклинометр фиксируется на марках, расположенных внутри инклинометрических труб (устанавливаются по ходу возведения сооружения) и при каждой остановке прибора (осуществляется автоматически) измеряются углы наклона оси инклинометра и расстояния между марками. Результаты измерений индицируются на цифровом табло и регистрируются на перфоленте для последующей обработки на ЭВМ.

Технические данные

Пределы измерений:	
угла наклона в плоскости, перпендикулярной продольной оси плотины, град	-4 ÷ +18
угла наклона в плоскости, параллельной продольной оси плотины, град	±4
расстояний между марками в долях от наибольшего расстояния между марками	0,85 ÷1,0

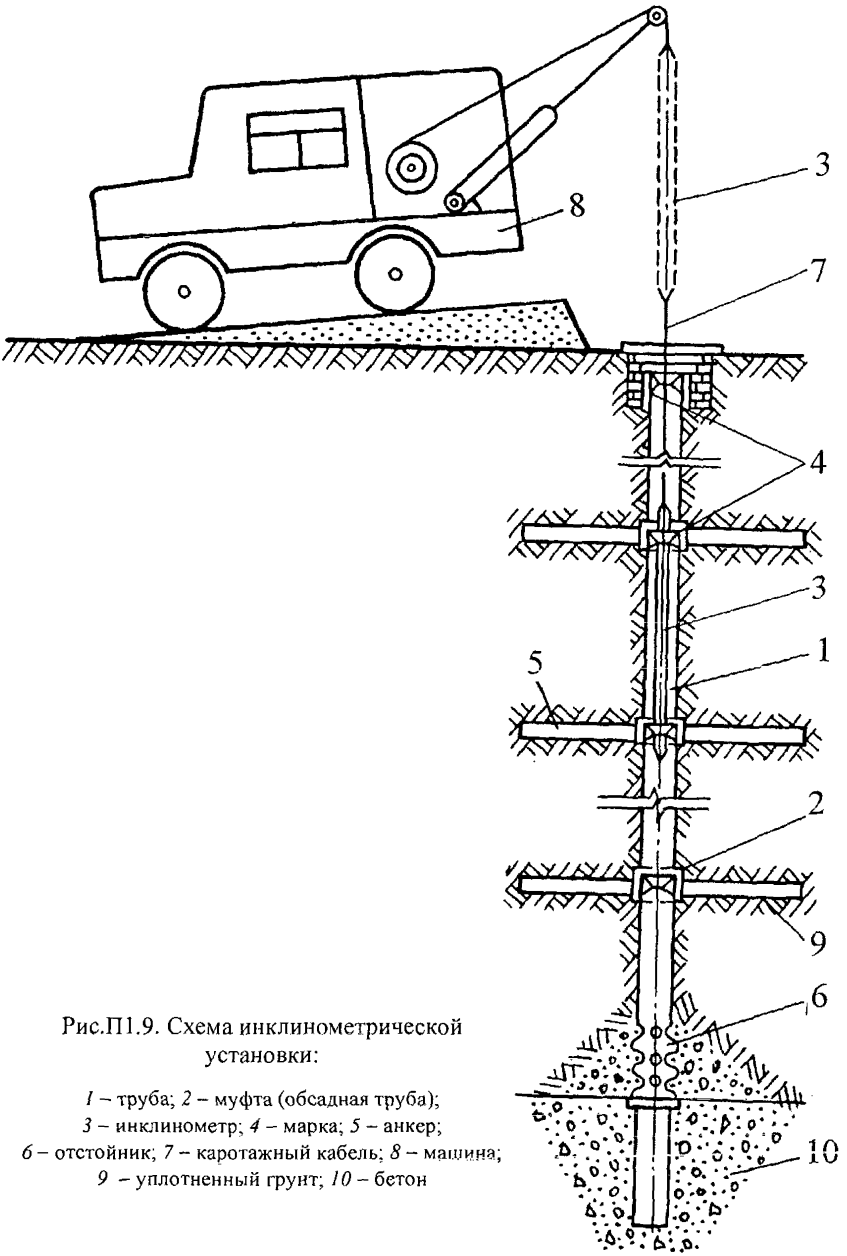


Рис.П1.9. Схема инклинометрической установки:

1 – труба; *2* – муфта (обсадная труба); *3* – инклинометр; *4* – марка; *5* – анкер; *6* – отстойник; *7* – каротажный кабель; *8* – машина; *9* – уплотненный грунт; *10* – бетон

ПРЯМОЙ ОТВЕС

Относительные горизонтальные перемещения плотин измеряются, главным образом, с помощью прямых и обратных отвесов. Прямой отвес представляет собой груз на инварной проволоке (рис. П1.10), закрепленной в точке, перемещения которой измеряются механическим или оптическим координатомером, расположенным у нижнего конца нити отвеса. Перемещения точки подвеса измеряются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с номинальной чувствительностью 0,05-0,1 мм.

Нить отвеса обычно закрепляется у гребня плотины и проходит до незатопляемой галереи у ее основания в вертикальной шахте в бетоне первых столбов. В расширенных швах или между контрфорсами нить опускают в стальную защитную трубу.

Для демпфирования колебаний нити отвеса груз на ее конце устанавливается в сосуд с маслом, над которым смонтирован столик для стационарного или переносного координатомера, помещение которого должно быть изолировано от наружного воздуха во избежание сквозняков, раскачивающих нить отвеса.

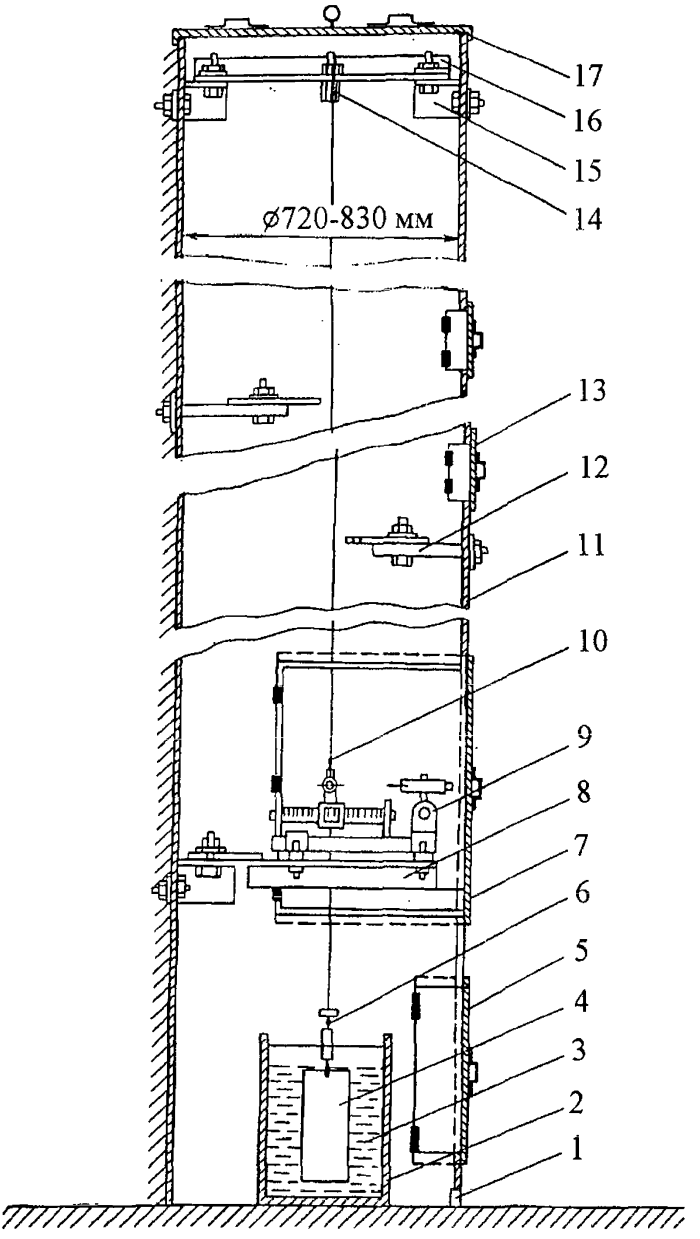
На уровне смотровых галерей в шахте или трубе закреплены специальные устройства - "зацепы", в которые последовательно на промежуточных отметках временно вводится нить отвеса с отсчетом по шкалам расположенного внизу координатомера. При отсутствии "зацепов" перемещения могут измеряться путем перенесения координатомера с отметки на отметку.

В плотинах с криволинейным или ломаным очертанием напорной грани, не позволяющим устроить возле нее шахту от гребня до основания, шахту сдвигают в сторону нижнего бьефа, а при большой высоте плотины располагают несколько отвесов, подвешенных на разной высоте и сдвинутых в сторону нижнего бьефа по отношению к вышележащим.

ОПУСКНОЙ ПЬЕЗОМЕТР

Опускной пьезометр предназначен для наблюдений за фильтрационным режимом гидротехнических сооружений (положением депрессионной поверхности фильтрационного потока, фильтрационным противодавлением по подошве, работой противофильтрационных и дренажных устройств и др.).

Конструкция пьезометра определяется его назначением, порядком установки, условиями эксплуатации и другими факторами.



П1.10. Измерительный узел прямого отвеса:

1 – дренажное отверстие; *2* – бак успокоительный; *3* – жидкость; *4* – груз; *5, 7* – дверка; *6* – стяжка регулировочная; *8* – рама координатомера; *9* – координатомер; *10* – струна; *11* – труба; *12* – зацеп промежуточный; *13* – дверка зацепа; *14* – цанга; *15* – кронштейн; *16* – траверса; *17* – крышка

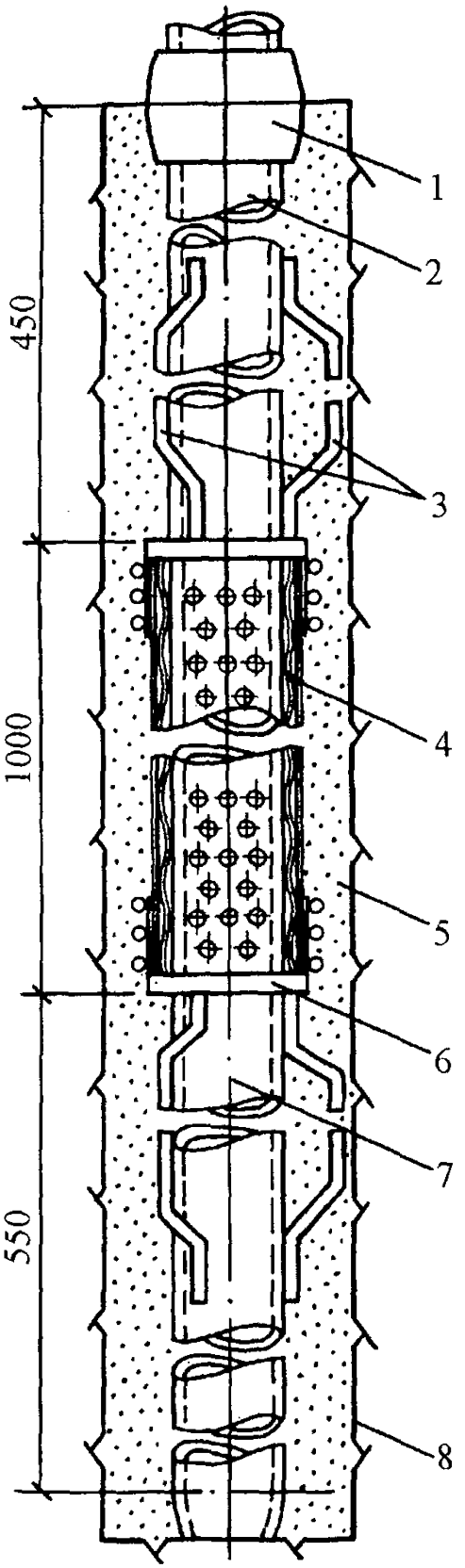


Рис.П1.11. Типовая конструкция водоприемника опускного пьезометра:

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

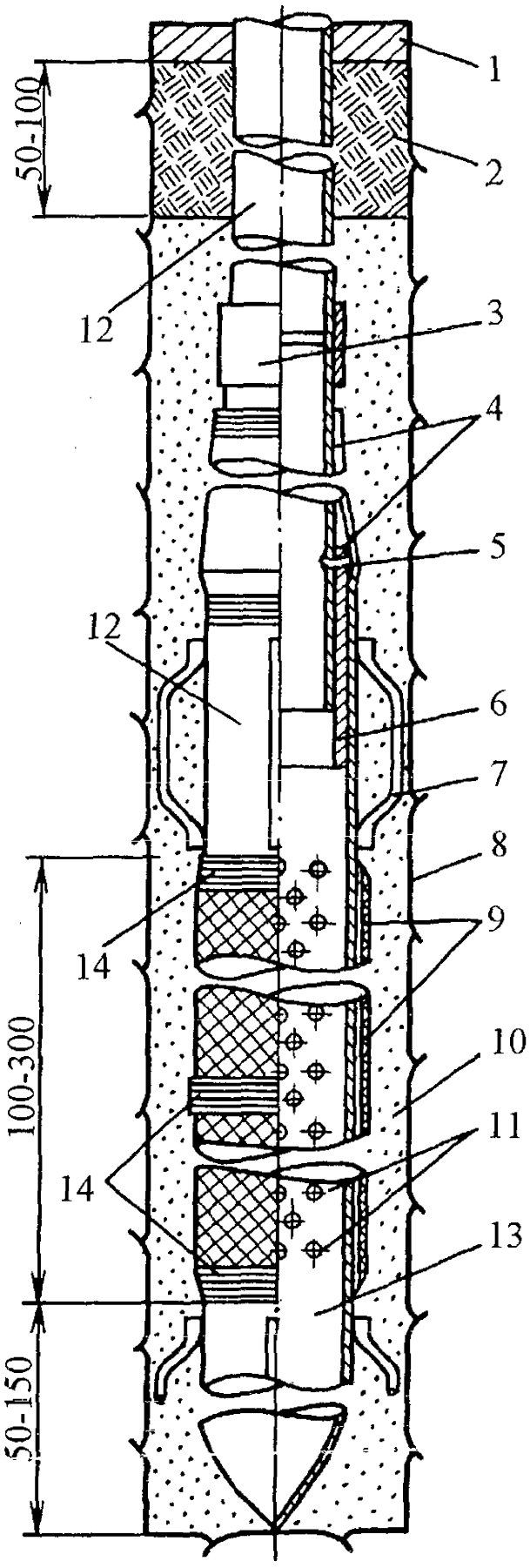


Рис.П1.12. Конструкция водоприемника опускного пьезометра с компенсатором осадки:

1 – раствор цементный; *2* – тапмон глиняный; *3* – муфта ∅ 50 мм; *4* – стеклоткань в два слоя; *5* – заклепка алюминиевая; *6* – патрубок направляющий; *7* – скобы направляющие; *8* – стенки скважины; *9* – обмотка фильтровая (гофрированная сетка и стеклоткань); *10* – фильтр песчаный; *11* – перфорация (круглые или щелевидные отверстия) скважностью не менее 20%; *12* – труба винипластовая или стальная (оцинкованная) ∅ 50 мм; *13* – отстойник; *14*– обмотка изоляционной лентой

На рис. П1.11 приведена конструкция водоприемника опускного пьезометра, устанавливаемого путем опускания в вертикальную или наклонную скважину, пробуренную в сооружении и имеющую прямолинейную ось. При ожидаемых неравномерных осадках (например, при размещении основания пьезометра на скале) опускной пьезометр оснащают компенсатором осадки (рис. П1.12).

МЕРНЫЙ ВОДОСЛИВ НА ВОДООТВОДЯЩИХ КЮВЕТАХ

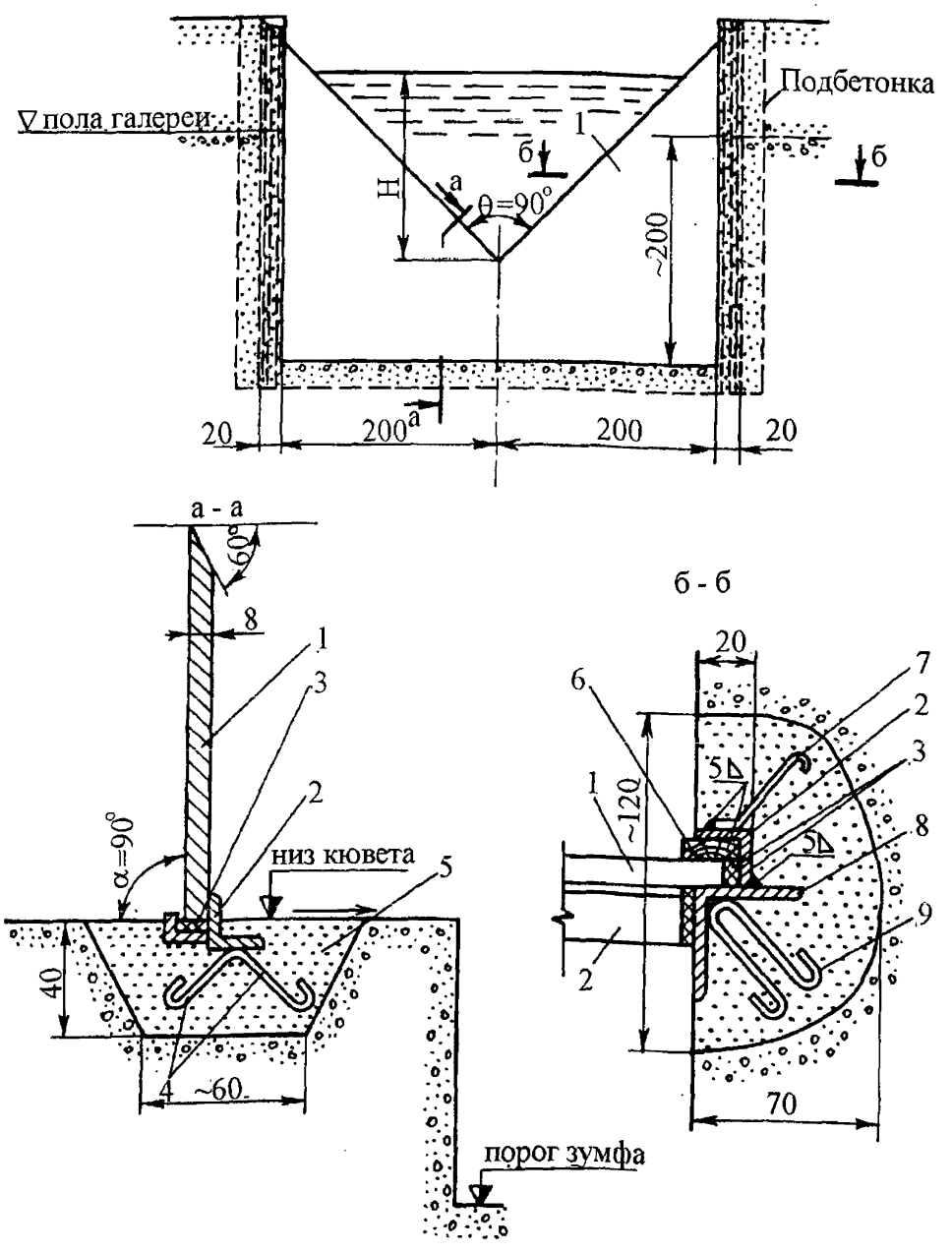
Мерный водослив на водоотводящих кюветах (коллекторах, лотках) предназначен для измерения расходов воды профильтровавшейся через грунтовую плотину, ее основание или в обход сооружения и поступающей из дренажной системы или локального сосредоточенного выхода. Измерение расходов выполняют с целью определения соответствия фактического расхода установленному проектом предельно допустимому; выявления интенсивности развития процесса, его связи с деформациями и причин возникновения процесса, а также с целью оценки безопасности работы сооружения.

Форма водослива принимается в зависимости от размера расхода: для малых расходов используют треугольные водосливы, для больших расходов - трапецеидальные или прямоугольные.

Конструкция треугольного мерного водослива приведена на рис.П1.13.

Измерения напора H на водосливе выполняют с точностью до 0,2 см при $H < 10$ см и 0,5 см при $H > 10$ см.

Определение расхода обеспечивается с погрешностью не более 10%.



П1.13. Установка мерного треугольного водослива на водоотводящих кюветах:

1 – стенка водослива; *2* – упорный уголок 20х20х4 мм; *3* – резиновое уплотнение; *4* – анкер ∅ 6 мм; *5* – цементно-песчаный раствор; *6* – рейка деревянная 20х8 мм; *7* – анкер ∅ 8 мм, длиной 75 мм; *8* – уголок 40х40х4 мм; *9* – хомут ∅ 6 мм

Приложение 2

ТИПОВЫЕ ФОРМЫ ДОКУМЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОБРАБОТКЕ НАТУРНЫХ ДАННЫХ

Форма П-1. Полевой журнал наблюдений за фильтрационным режимом

а) Заглавная страница

. . . . . .

Предприятие. . . . . .

. . . . . .

Адрес. . . . . .

. . . . . .

ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИМИ УРОВНЯМИ И ФИЛЬТРАЦИОННЫМИ ДАВЛЕНИЯМИ (ИЛИ ЗА ФИЛЬТРАЦИОННЫМИ РАСХОДАМИ...)

Сооружение. . . . . .

. . . . . .

Дата начала. . . . . .

Дата окончания. . . . . .

Форма П-2. Полевой журнал наблюдений за фильтрационным режимом

б) Рядовая страница

. . . . . .

Местоположение . . . . . .
Маршрут . . . . . .

Дата и время. . . . . УВБ. . . . . УНБ. . . . . .
. . . . . УВБ. . . . . УНБ. . . . . .

Время дня	Номер прибора	Отсчеты по КИА			Примечание
		1-й	2-й	3-й	
1	2	3	4	5	6

Наблюдатель. . . . . Проверил . . . . . .

Форма П-3. Журнал регистрации пьезометрических уровней и фильтрационных давлений

а) Заглавная страница

. . . . . .

Предприятие. . . . . .
Адрес. . . . . .

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ И ДАВЛЕНИЙ

Сооружение . . . . . .

Год. . . . . .

б) Рядовая страница

. . . . . .

Номер пьезометра. . . . . Местоположение . . . . . .
Принятая отметка устья. . . . . .
Предельно допустимое значение. . . . . .

Дата	Время	Отметки уровня		Температура	Отсчет по ленте	Абсолютная отметка уровня	Напор,%	Примечание
		ВБ	НБ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Форма П-4. Ведомость пьезометрических уровней и давлений

по створу . . . . . .
за период . . . . . .

Дата	Уровни		Пьезометры				
	ВБ	НБ	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	2	3	4	5	6	7	8

Форма П-5. Журнал регистрации фильтрационных расходов

а) Заглавная страница

. . . . . .

Предприятие. . . . . .
Адрес . . . . . .

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСХОДОВ

Сооружение . . . . . .

Год. . . . . .

б) Рядовая страница

Номер источника. . . . . .
Местоположение. . . . . .
. . . . . .
Отметка нуля водослива. . . . . .
Предельно допустимое значение. . . . . .

Дата	Время	Уровни		Температура воды	Напор на водосливе	Расход	Приведенный расход	Примечание
		ВБ	НБ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Форма П-6. Контрольный лист для фиксации повреждений

. . . . . .

Предприятие. . . . . .
Сооружение. . . . . .

КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТ

Описание повреждения (дефекта) . . . . . .
. . . . . .
№ повреждения. . . . . .
Секция осмотра №. . . . . .
Местоположение. . . . . .
Ориентирование. . . . . .
Протяженность (максимальный размер). . . . . .
Площадь повреждения. . . . . .
Деформация участка в зоне повреждения. . . . . .
Вес продуктов выщелачивания. . . . . .
Привязка повреждения. . . . . .
Привязка КИА, установленной для контроля за данным повреждением. . . . . .
Размеры фильтрующего участка. . . . . .
Дата обнаружения. . . . . .

Форма П-7. Журнал регистрации визуальных наблюдений

а) Заглавная страница

. . . . . .

Предприятие. . . . . .
Адрес. . . . . .

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Сооружение . . . . . .

Год. . . . . .

б) Рядовая страница

Участок осмотра №. . . . . Местоположение. . . . . .
Отм. ВБ . . . . . Отм. НБ . . . . . .

Дата	Номера повреждений (дефектов)		
1	2	3	4

Форма П-8. Журнал регистрации химического состава фильтрационных вод

а) Заглавная страница

. . . . . .

Предприятие. . . . . .
Адрес. . . . . .

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД

Сооружение . . . . . .

Год. . . . . .

б) Рядовая страница

Номер источника . . . . . Местоположение . . . . . .

Дата	№ пробы	Содержание ионов									Сухой остаток	Жесткость	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Форма П-9. Журнал регистрации температуры фильтрационного потока

а) Заглавная страница

. . . . . .

Предприятие. . . . . .
Адрес. . . . . .

ЖУРНАЛ РЕГИСТРАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА

Сооружение . . . . . .

Год. . . . . .

б) Рядовая страница

Местоположение. . . . . .
. . . . . .

Дата	Время	Отметки уровня				Температуры				
		ВБ	НБ	водохранилища	дренажа	наружного воздуха	пьезом. №	скв. №	скв. №	пьезом. №
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Наблюдатель. . . . . .
Проверил. . . . . .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Полевые** геокриологические (мерзлотные) исследования. М.: Изд-во АН СССР, 1961.

2. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. **Кузнецов В.С.** Критерии оценки надежности и безопасности грунтовых плотин // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2000. Т. 238.

4. **Гинзбург М.Б.** Натурные исследования крупных гидротехнических сооружений. М.- Л.: Энергия. 1964.

5. **Серов А.А., Пехтин В.А.** Колымская ГЭС. Опыт строительства и эксплуатации. СПб.: ВНИИГ. 1999.

6. **Куперман В.Л., Мызников Ю.Н., Плотников В.М.** Усть-Хантайские плотины. М.: Энергия. 1977.

7. **Кузнецов В.С., Матрошилина Т.В., Алтунин Ю.С.** Натурные наблюдения за температурным режимом и развитием порового давления в ядре Колымской плотины // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1986. Т. 189.

8. **Аравин В.И., Носова О.Н.** Натурные исследования фильтрации. Л.: Энергия. 1969.

9. **Кузнецов В.С.** Натурные наблюдения за напряженно-деформированным состоянием плотины Колымской ГЭС в период строительства и поэтапного ввода в эксплуатацию // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1988. Т. 207.

10. **Кузнецов В.С.** Земляная плотина с металлической диафрагмой и оснащение ее контрольно-измерительной аппаратурой // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Вып. 91 / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Л.: Энергия. 1975.

11. **Кузнецов В.С.** Определение модуля деформации грунтов непосредственно в плотине по данным натурных исследований // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2001. Т. 239.

12. **Аппаратура** автоматизированных систем контроля состояния гидросооружений. М.: НПП ДИГЭС. 1993.

13. **Инженерное** мерзлотоведение в гидротехническом строительстве. Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Л.: ВНИИГ. Энергоатомиздат. 1984.

14. **Цытович Н.А.** Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа. 1973.

15. **Биянов Г.Ф.** Плотины на вечной мерзлоте. М.: Энергоатомиздат. 1983.

16. **Гаврилов А.Н.** Об оценке осадок грунтовых плотин, возводимых в северной строительно-климатической зоне // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Л.: Энергоатомиздат. 1984.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

1. **Общие положения** 4

Назначение Рекомендаций и область их применения 4
Особенности эксплуатации грунтовых плотин в условиях сурового климата и наличия вечной мерзлоты 6

2. **Рекомендации по технической диагностике сооружений** 8

Общий порядок диагностирования 8
Методическая схема диагностирования 9
Рекомендации по выбору объектов (элементов диагностирования плотины 10
Рекомендации по выбору диагностических параметров и признаков, контролирующих работу и состояние грунтовых плотин 11
Методика назначения критериальных показателей диагностических параметров и признаков 17

3. **Натурные наблюдения по определению диагностических параметров и признаков, контролирующих состояние сооружений** 20

Основные требования к натурным наблюдениям и средствам измерений 20
Задачи и состав натурных наблюдений 21
Организация натурных наблюдений на сооружениях 25
Рекомендации по размещению КИА в сооружении и основании. Назначение контрольных измерительных сечений, створов и точек в сооружениях 26
Размещение термометрической КИА 27
Размещение КИА для контроля фильтрации 30
Размещение КИА для измерений осадок и смещений сооружения и основания 33
Размещение КИА для контроля напряженно-деформированного состояния сооружения 38
Размещение КИА для наблюдений за криогенными процессами 41
Визуальные наблюдения 45
Методика и техника натурных наблюдений 49

4. **Диагностирование эксплуатационной надежности сооружений на основе данных натурных наблюдений, расчетов и критериальных показателей (многофакторный анализ)** 59

Применение технических систем диагностирования сооружений 60

Приложение 1. Измерительные устройства и их технические данные . . 62

Приложение 2. Типовые формы документов, используемых при обработке натурных данных 83

Список использованной литературы 91

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

Лицензия ЛР № 020629 от 14.01.98.
Подписано к печати 09.10.2001. Формат 60x90 1/16.
Бумага типографская № 1. Печать офсетная.
Печ.л. 5,75. Тираж 300. Заказ 177.

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

gost.e-ecolog.ru