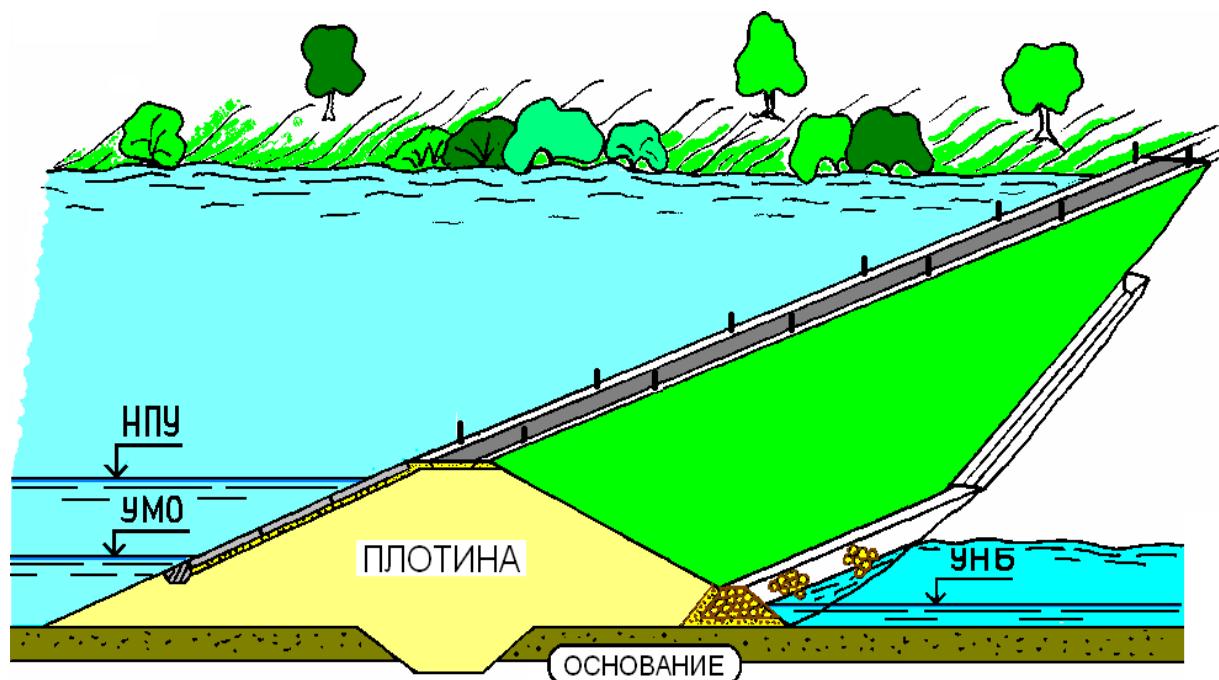


---

**О.Н. Черных, М.М. Абидов, Д.А. Алексеев,  
А.В. Бурлаченко, Я.Ю. Бурлаченко**

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ДАМБ**



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства  
имени А.Н. Костякова

**О.Н. Черных, М.М. Абидов, Д.А. Алексеев,  
А.В. Бурлаченко, Я.Ю. Бурлаченко**

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ДАМБ**

Учебное пособие

Под общей редакцией О.Н. Черных

Москва  
2025

УДК 626.627

ББК 38.37

Ч 45

**Рецензенты:**

**Т.А. Суэтина, д-р техн. наук, проф. зав. кафедрой гидравлики МАДИ ГТУ;**

**А.О. Щербаков, канд. техн. наук, зав. отделом гидротехники и гидравлики ФГБНУ ВНИИГиМ им.**

**А.Н. Костякова**

**Черных, О. Н.** Эксплуатация земляных плотин и дамб: учебное пособие / О. Н. Черных, М.М. Абидов, Д. А. Алексеев, А. В. Бурлаченко, Я. Ю. Бурлаченко. Operation and repair of earthen dams and dams: textbook / O. N. Chernykh, M. M. Abidov, D. A. Alekseev, A. V. Burlachenko, Ya. Yu. Burlachenko. Под общей редакцией О. Н. Черных ; Российский государственный аграрный университет имени К. А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2025. – 235 с.

ISBN 978-5-9675-2114-0

В учебном пособии изложены сведения по эксплуатации и восстановлению земляных плотин низко- и средненапорных мелиоративных гидроузлов АПК и насыпных дамб из местных материалов разного назначения. Пособие знакомит с вопросами водного хозяйства, работой современных гидротехнических сооружений и их оборудования, принципами действия и эксплуатационным уходом за ними, а также с организацией и проведением мониторинга, визуальных и инструментальных наблюдений. Учебное пособие предназначено для освоения теоретического материала и выполнения курсовых, расчётно-графических и выпускных работ магистрами направления 35.04.10 «Гидромелиорация» направленности «Системные цифровые мелиорации» и магистрами направления 08.04.01 «Строительство» направленности «Речные и подземные гидротехнические сооружения» ФГОС ВО, рекомендуется к изданию учебно-методической комиссией Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова, протокол № 10 от 20.10.2025 г.

**Chernykh, O.N.** Operation and repair of earthen dams and dams: textbook / O. N. Chernykh, M.M. Abidov, D. A. Alekseev, A. V. Burlachenko, Ya. Yu. Burlachenko. Under the general editorship of O. N. Chernykh; Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev. - Moscow: RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 2025. - 235 p.

This textbook provides information on the operation and restoration of earthen dams of low- and medium-head melioration hydroelectric power plants in the agro-industrial complex and embankment dams made of local materials for various purposes. It introduces water management issues, the operation of modern hydraulic structures and their equipment, their operating principles and operational maintenance, as well as the organization and implementation of monitoring, visual and instrumental observations. This textbook is intended for mastering the theoretical material and completing coursework, calculation and graphic projects, and final projects by master's students majoring in 35.04.10 "Hydromelioration" with a focus on "Systemic Digital Melioration" and master's students majoring in 08.04.01 "Construction" with a focus on "River and Underground Hydraulic Structures" of the Federal State Educational Standard of Higher Education. It is recommended for publication by the Educational and Methodological Commission of the A.N. Kostyakova, protocol No. 10 of October 20, 2025

УДК 626.627

ББК 38.37

© Черных О.Н., Абидов М.М., Алексеев  
Д.А., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю.,  
2025

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛА С ГРУНТОВЫМИ ПОДПОРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ .....	10
1.1. Особенности эксплуатации мелиоративных ГТС.....	13
1.2. Краткие сведения о земляных плотинах и дамбах .....	21
1.3. Основы эксплуатации земляных подпорных сооружений .....	30
1.4. Организация мониторинга гидротехнических сооружений мелиоративных гидроузлов с грунтовыми плотинами и дамбами .....	35
2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ДАМБ. ....	44
2.1. Мониторинг технического состояния грунтовых гидротехнических сооружений разного класса ответственности для установления дефектов и повреждений.....	45
2.2. Визуальные наблюдения.....	47
2.3. Инструментальные наблюдения.....	65
2.3.1. Наблюдения за перемещениями.....	66
2.3.2. Наблюдения за фильтрацией в грунтовых плотинах и дамбах .....	78
2.4. Подводный осмотр сооружений.....	80
2.5. Использование беспилотных аппаратов.....	88
3. Основные повреждения и дефекты грунтовых водоподпорных сооружений средне- и низконапорных гидроузлов .....	109
3.1. Повреждения гребня земляных плотин и дамб.....	110
3.2. Повреждения, деформации и дефекты верхового откоса.....	116

3.3. Повреждения, деформации и дефекты низового откоса.....	123
3.4. Дефекты тела грунтовых плотин и зон контакта грунта с железобетонными элементами .....	127
4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГИДРОТЕХНИКИ .....	132
5. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	141
5.1. Наблюдения за перемещениями элементов конструкций грунтовых ГТС.....	141
5.1.1. Наружные устройства.....	142
5.1.2. КИА для контроля за перемещением плотин и дамб из грунтовых материалов.....	150
5.2. Устройства для наблюдения за фильтрацией в грунтовых ГТС.....	167
5.3. КИА для наблюдения за напряжённым состоянием грунтовых ГТС.....	191
5.4. Средства для георадиолокационных исследований ГТС .....	195
6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ УХОД ЗА ЗЕМЛЯНЫМИ ПЛОТИНАМИ. И ДАМБАМИ.....	198
6.1. Гребень .....	203
6.2. Крепление откосов земляных плотин и дамб .....	206
6.2.1. Верховой откос... .....	206
6.2.2. Низовой откос.....	208
6.3. Противофильтрационные устройства.....	212
6.4. Дренажи земляных плотин и дамб.....	214

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	218
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	221
Приложение 1. Оценка класса ответственности гидротехнических сооружений .....	228
Приложение 2. Условные обозначения повреждений и дефектов грунтовых ГТС для нанесения на карте маршрута обследования.....	230
Приложение 3. Обнаружение дефектов земляных защитных сооружений на модели, полученной по данным съёмки с БПЛА .....	234

## ВВЕДЕНИЕ

Россия богата водными ресурсами: средний ежегодный сток речных вод достигает почти 4500 км<sup>3</sup>. Среднемноголетние возобновляемые водные ресурсы по современным данным оцениваются в 4258,6 км<sup>3</sup>/год, из которых основная масса сформирована на территории страны, а чуть более 200 – это приток с сопредельных территорий. В указанные величины, естественно, включаются и подземные воды, дренируемые речными системами. На территории России насчитывается свыше 2,5 млн. больших и малых рек, более 2,7 млн. озер, сотни тысяч болот и других объектов водного фонда. Общий объём статических водных ресурсов России оценивается приблизительно в 88,9 тыс. км<sup>3</sup> пресной воды, из них значительная часть сосредоточена в подземных водах, озёрах и ледниках. В целом под водой (без болот) занято 72,2 млн. га, из них 27,4 млн. га (38,0%) включены в состав земель водного фонда, остальные земли под водой распределены между другими категориями. Значительная их доля приходится на лесной фонд, земли сельскохозяйственного назначения и земли запаса. наиболее быстро возобновляются запасы в руслах рек. При этом доля рек России от мирового уровня составляет более 20%, пресноводных озер – около 30%, болот и переувлажнённых территорий – свыше одной четверти. Запасы подземных вод составляют менее 1% мирового объема. Россия стабильно входит в группу стран мира, наиболее обеспеченных водными ресурсами, как по общим запасам, так и в расчете на 1 жителя [13, 29, 32]. Однако, располагая столь значительными водными ресурсами и используя ежегодно в среднем не более 2% речного стока, Россия в ряде регионов испытывает дефицит в воде, поскольку сток поверхностных вод распределён на территории страны крайне неравномерно. Он больше там, где густота населения меньше. На большинстве рек Европейской части России, Западной и Восточной Сибири, а также Дальнего Востока свыше 2/3 стока проходит за 2...3 месяца весеннего половодья. За последние годы водные проблемы существенно обострились в связи с антропогенными изменениями речного стока и бесхозяйственностью. В наиболее обжитых районах страны не осталось крупных рек, не нарушенных хозяйственной деятельностью,

причем как на водосборах, так и в руслах самих рек. Некоторые исследования показывают, что на подавляющей части России в первой половине XXI века следует ожидать увеличения водных ресурсов примерно на 8...10% и уменьшения их внутригодовой неравномерности.

Неравномерность распределения стока и недостаток воды в тех районах, где потребность её большая, а местные водные источники не обеспечивают дефицит в воде, можно устранить за счёт межбассейновой переброски, что неоднократно планировалось сделать ранее [19, 35], но пока по разным причинам в полной мере сделать не удалось. Неравномерность же распределения поверхностного стока, в том числе и в течение года, надёжно регулируется устройством водохранилищ, часто представляющих естественные понижения местности, которые заполняются водой, когда река имеет большие расходы, и расходуя запасы в маловодный период. Использование воды в рамках РФ, снижение её высокой степени загрязнения, ренатурирование водных объектов, комплексное использование поверхностных и подземных вод, а так же борьба с ущербом, приносимым народному хозяйству из-за разрушительного действия водной стихии (наводнения, паводки, сели, размывы берегов рек и водоёмов, отложения наносов и пр.) осуществляется разными отраслями водного хозяйства: гидроэнергетика; водный транспорт; гидромелиорация; водоснабжение; рыбное хозяйство; природоохранная, морская, подземная и промышленная гидротехника.

В современных условиях водные ресурсы используются только комплексно. Это значит, что одновременно учитываются интересы нескольких отраслей водного хозяйства, с преимуществом одного из них. Такое использование воды даёт экономический эффект. Во всех отраслях водного хозяйства, особенно АПК, большое значение имеют гидротехнические комплексы с гидротехническими сооружениями (ГТС) из местных материалов, ярким представителем которых являются земляные плотины и дамбы. Они древнейшие гидротехнические сооружения. Наиболее широкое распространение земляные плотины и дамбы получили в прудовом рыбоводстве. Причиной этому послужило то обстоятельство, что земля всегда доступна, не требует предварительной

обработки и позволяет применять самые разнообразные механизмы для ее добычи и транспортировки. В этой связи в учебном пособии изложены сведения по проектированию земляных плотин и дамб из местных материалов небольших сельскохозяйственных гидроузлов АПК и насыпных сооружений мелиоративных систем разного назначения. Содержатся методологические основы конструирования, проектирования и расчётов земляных плотин/дамб с применением ПК. Даны понятия об общих свойствах и характеристиках грунтов для их возведения. Представленные в учебном пособии материалы должны позволить сократить риски возникновения чрезвычайных ситуаций на средне и низконапорных мелиоративных гидроузлах и помочь грамотно провести комиссионные обследования, периодическую инвентаризацию при разработке, составлении и утверждении декларации безопасности ГТС.

Учебное пособие предназначено для студентов направления Природообустройство и водопользование 20.03.02 (уровень бакалавриатуры) и 20.04.02 (уровень магистратуры), изучающих курсы «Гидротехнические сооружения гидроузлов», «Гидротехнические сооружения», «Природоохранные гидротехнические сооружения», «Основы проектирования объектов природообустройства и водопользования», «Проектирование природоохраных гидротехнических сооружений», «Сооружения инженерной защиты территорий», «Эксплуатация и мониторинг водохозяйственных систем и природоохраных сооружений», «Функциональные сооружения гидромелиоративных систем», «Ремонт и реконструкция ГТС», направления 35.04.10 «Гидромелиорация» направленности «Системные цифровые мелиорации», а также может быть использовано студентами направлению подготовки «Строительство» 08.03.01 (уровень бакалавриатуры) и 08.04.01 (уровень магистратуры) направленности «Речные и подземные ГТС», по направлению 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», другими студентами по специальностям мелиоративного и строительного профиля, магистрами, аспирантами и инженерами-гидротехниками.

Настоящее учебное пособие является продолжением комплекта учебных пособий, разработанных в последние годы на кафедре гидротехнических сооружений в контуре решения проблемы «Разработка рациональных конструкций и методов проектирования, а также безопасности гидротехнических сооружений» с учётом цифровизации расчётов ГТС гидроузлов разного назначения АПК. Оно предназначено для ознакомления обучающихся с основополагающими принципами проектирования и расчётов ГТС. Главными задачами учебного пособия являются:

- помочь лучше понять терминологию, используемую в природоохранной и мелиоративной гидротехнике;
- ознакомиться с основными нормативными документами в области проектирования, строительства, эксплуатации и безопасности ГТС III и IV класса ответственности;
- изучить комплекс проблем, связанных с проектированием ГТС АПК;
- освоить методологические основы конструирования, проектирования и расчётов земляных плотин и дамб с применением современных компьютерных программных комплексов;
- разработать проект земляной плотины или дамбы с выполнением расчетного обоснования принимаемых вариантов конструкций при их строительстве, ремонте, реновации или ренатурировании водных объектов в разных ландшафтах АПК.

Теоретические знания, полученные при изучении курса, закрепляются и углубляются при выполнении курсовых и выпускных работ с использованием стандартных компьютерных программ фильтрационного расчёта и современных программных комплексов, базирующихся на численных решениях с применением метода конечных элементов, а также с помощью комплекта программ по проектированию и расчёту элементов ГТС низконапорных гидроузлов, установленного на компьютерах кафедры ГТС РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

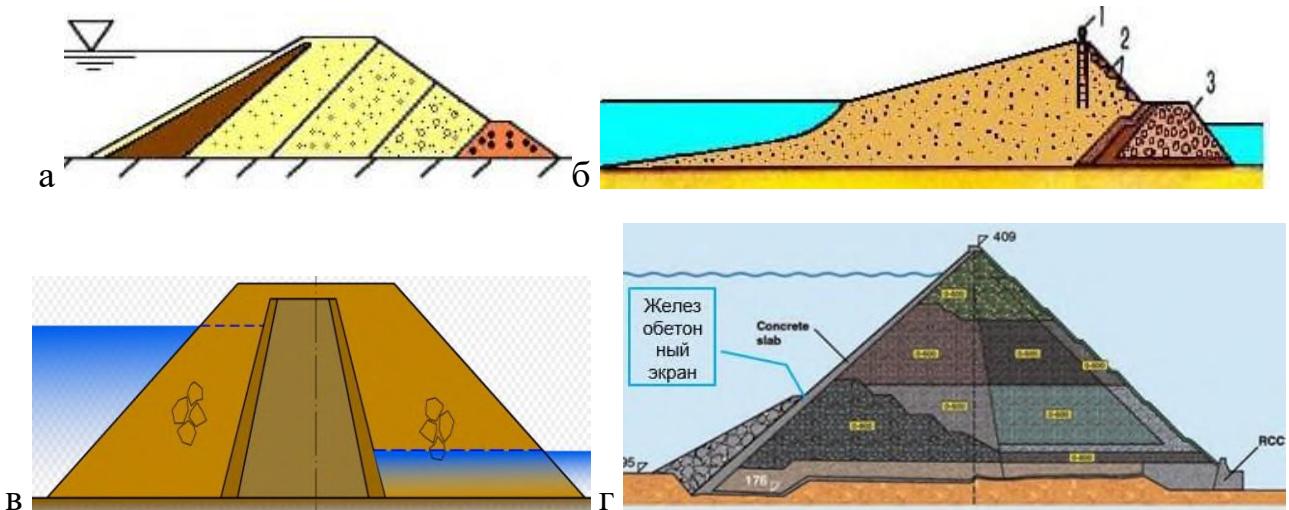
# **1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОУЗЛА С ГРУНТОВЫМИ ПОДПОРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ**

Согласно мировому регистру плотин в мире построено более 100 тыс. водоподпорных гидротехнических сооружений (ГТС). Среди них более 80 % составляют грунтовые плотины и дамбы, значительная часть которых относится к средне- и низконапорным. Продолжительность эксплуатации земляных плотин и дамб составляет 30...50 лет, средний процент износа – более 50 %. Среди основных причин аварий и разрушений грунтовых водоподпорных сооружений следует назвать несвоевременное устранение дефектов (просадок гребня, обрушений и оползаний откосов, трещин, фильтрационных ходов и др.) и некачественное выполнение ремонтно-восстановительных работ из-за использования низкоэффективных технологий.

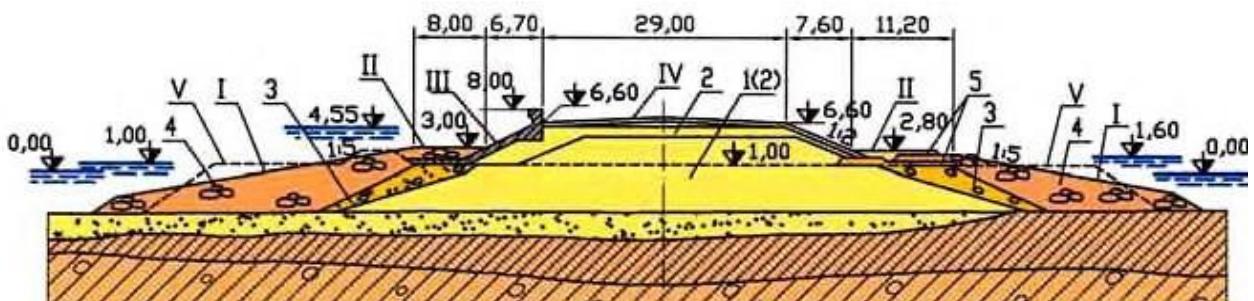
В соответствии с принятыми терминами и определениями (ГОСТ Р 70214 – 2022 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения) **грунтовая плотина** – это плотина, возводимая из грунтовых материалов (песчаных, суглинистых, глинистых и др.) и имеющая в поперечном сечении трапециoidalную или близкую к ней форму. Основные типы грунтовых плотин приводятся в СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06-05-84\*» [4]. В зависимости от материала тела плотины, наличия противофильтрационных устройств (ПФУ) и способа возведения плотины подразделяют на 4 типа (табл.1.1 и рис. 1.1, 1.2).

*Таблица 1.1*  
**Основные типы грунтовых плотин [4]**

Тип плотины	Отличительные признаки
Земляная насыпная	Грунты от глинистых до гравийно-галечниковых; отсыпают насухо с уплотнением или в воду (рис.1.1, 1.8)
Земляная намывная	Грунты от глинистых до песчано-гравийных и гравийно-галечниковых; намывают средствами гидромеханизации (рис. 1.2)
Каменно-земляная	Грунты тела - крупнообломочные; ПФУ - от глинистых до мелкопесчаных (рис. 1.3)
Каменно-набросная	Грунты тела - крупнообломочные; ПФУ из негрунтовых материалов или комбинированные: грунт + инъекция, и т.п.



**Рис. 1.1 Типы грунтовых плотин/дамб:** а – земляная, неоднородная, насыпная с экраном; б – земляная намывная; в – каменно-земляная с центральным грунтовым ядром; г - высоконапорная каменно-набросная плотина Шуйбуяя с железобетонным экраном Нпл = 233 м, Китай



**Рис. 1.2. Поперечный профиль каменно-земляной защитной дамбы Санкт-Петербурга от наводнений:** I – пологий динамически устойчивый откос; II – волногасящая берма; III – железобетонные плиты крепления верхового откоса; IV – железобетонная волноотбойная стенка; V – поперечный профиль первоочередной отсыпки скального грунта; 1 – мореный суглинок полезных выемок; 2 – песчаный грунт; 3 – переходной слой из песчано-гравийного грунта; 4 – горная масса; 5 – щебень

При строительстве высоких плотин из местных грунтовых материалов в международной практике современными и наиболее перспективными являются каменно-набросные плотины с негрунтовыми ПФУ: железобетонными экранами и асфальтобетонными диафрагмами и экранами, плотины с композитными противофильтрационными устройствами, а также грунтовые ГТС с использованием геотехнических материалов проектируются и реализуются

сегодня в основном в РФ для условий строительства в районах Сибири, Дальнего Востока и вечной мерзлоты. При строительстве низко- и средненапорных плотин и дамб высотой до 15 м перспективным является строительство экранов из полимерных геомембран и инъекционными центральными ядрами по современной струйной технологии. Однако эксплуатация, реконструкция и ремонт земляных плотин и дамб является наиболее острой и актуальным вопросом

в настоящий момент для отечественной гидротехники [15, 18, 51], поэтому в данном пособии акцент сделан именно на этот тип грунтовых плотин, особенности конструирования которых приведены в учебном пособии [19, 31, 34].

Земляные плотины и дамбы относятся к ГТС, как сооружения, подвергающиеся воздействию водной среды, предназначенные для использования и охраны водных ресурсов, предотвращения вредного воздействия вод, в том числе загрязненных жидкими отходами. В соответствии с СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003» [3] их разделяют на постоянные и временные. Временные ГТС предназначены для использования только на период строительства или ремонта постоянных ГТС. В свою очередь постоянные ГТС в соответствии с их назначением разделяют на основные и второстепенные. В отличии от постоянных к второстепенным ГТС относятся те, разрушение и повреждение которых не ведёт к: нарушению или прекращению нормальной работы электростанций; прекращению или уменьшению подачи воды для водоснабжения и орошения; затоплению и подтоплению защищаемой территории; прекращению или сокращению судоходства, деятельности речного и морского портов, судостроительных и судоремонтных предприятий; к прекращению добычи полезных ископаемых; к прекращению добычи или к выбросу нефти и газа из морских скважин, хранилищ, трубопроводов; к загрязнению окружающей среды вредными веществами.

В современной мелиоративной гидротехнике по ГОСТ 70523-2022 «Системы и сооружения мелиоративные. Термины и определения» помимо плотин и дамб

выделяют такие функциональные подпорные земляные сооружения как **водоотводящий вал** (вид водонаправляющего противоэрозионного сооружения, устраиваемого для сбора ливневых и талых вод с территорий, лежащих выше оврага, и отвода этих вод к сооружениям и устройствам, не допускающим размыв грунта) и **вал-терраса** (вид водозадерживающего противоэрозионного сооружения, устраиваемого по границам полей для выполаживания обрабатываемых склонов, засыпки промоин, устранения размывов и мелких склоновых оврагов).

В процессе надёжной эксплуатации земляных подпорных сооружений важно корректно выполнять инструкции, составленные в соответствии с классом ответственности гидротехнического комплекса. Класс ответственности основных ГТС для оценки безопасности назначается в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований (СП 58.13330.2019. Приложение Б), таблицы из [3] приведены в приложении П1 данного пособия.

### **1.1. Общие вопросы эксплуатации мелиоративных ГТС**

С 2001 г. по настоящее время в РФ идёт постоянное возрождение мелиоративной отрасли. Действует госпрограмма эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса. Программа, рассчитанная до 2031 г., направлена на сохранение и повышение плодородия почв, а также на обновление ГТС на мелиоративной сети (МС). Запланировано ввести в оборот больше 13 млн. га земли, провести мероприятия по мелиорации и сохранению земельного фонда, разработать новые подходы и инженерные решения, включая новые конструкции МС и математические модели управления технологическими процессами, надёжность работы и эксплуатации ГТС, обеспечивающих высокую эффективность использования водных, материальных и энергетических ресурсов Нечерноземной зоны, имеющей огромный водный ресурс и потенциальные возможности совершенствования существующих, восстановления выбывших и строительства новых современных ГТС и гидромелиоративных систем. Всё это должно

гарантировать продовольственную безопасность страны в ближайшей перспективе. К сожалению, многие объекты мелиорации из фактора улучшения земель сами превратились в источник проблем: обветшавшие, изношенные, неоформленные ГТС и гидроузлы. Это привело к тому, что за последние 30 лет резко снизилась продуктивность значительной площади сельскохозяйственных земель, растёт их опустынивание, прогрессирует деградация водных объектов АПК. Рациональное водопользование, эффективная эксплуатация МС и обеспечение безопасности ГТС должны создать условия для роста сельскохозяйственного производства на полях РФ.

Уровень безопасности поднадзорных Ростехнадзору ГТС (всего поднадзорны 20 331 комплексов ГТС из них 19 128 ГТС водохозяйственного назначения), к которым относятся мелиоративные ГТС и гидроузлы оценивался в 2024 г. следующим образом [16]:

- «нормальный» уровень безопасности имеют 3370 ГТС (комплексов ГТС) (ГТС соответствуют проекту, действующим нормам и правилам, значения критериев безопасности не превышают предельно допустимых для работоспособного состояния сооружений и оснований, эксплуатация осуществляется без нарушений действующих законодательных актов, норм и правил, предписания органов государственного контроля и надзора выполняются);

- «пониженный» уровень безопасности имеют 7657 ГТС (комплексов ГТС) (невыполнение первоочередных мероприятий или неполное выполнение предписаний органов государственного контроля и надзора по обеспечению безопасности ГТС и другие нарушения правил эксплуатации при прочих условиях);

- «неудовлетворительный» уровень безопасности имеют 6802 ГТС (комплексов ГТС) (снижение механической или фильтрационной прочности, превышение предельно допустимых значений критериев безопасности для

работоспособного состояния сооружений и оснований, другие отклонения от проектного состояния, способные привести к развитию аварии);

- «опасный» уровень безопасности, характеризуемый потерей работоспособности и не подлежащих эксплуатации, имеют 2502 ГТС (комплексов ГТС) (вследствие развивающихся процессов снижения прочности и устойчивости элементов ГТС и их оснований, превышения предельно допустимых значений критериев безопасности, характеризующих переход от частично неработоспособного к неработоспособному состоянию сооружений и оснований).

Наиболее значимый риск при необеспечении безопасности ГТС — это риск причинения вреда жизни или здоровью граждан в результате аварии ГТС. Риск возникновения аварии зависит от класса ГТС [2, 4]. Допустимые значения вероятности аварий напорных ГТС приведены в СП 58.13330.2019 [3] и распределены (в зависимости от высоты ГТС, назначения ГТС и условий их эксплуатации (объема водохранилища, установленной мощности, площади орошения) в зависимости от последствий возможных гидродинамических аварий) следующим образом [53]: для I класса —  $5 \cdot 10^{-5}$ , II класса —  $5 \cdot 10^{-4}$ , III класса —  $2,5 \cdot 10^{-3}$ , IV класса —  $5 \cdot 10^{-3}$ .

Основные проблемы, связанные с обеспечением безопасности и противоаварийной устойчивости мелиоративных гидроузлов с земляной плотиной, способных привести к возникновению неблагоприятных последствий, определяются такими факторами как:

- наличие ГТС в собственности физических лиц, не обладающих знаниями в области безопасности ГТС в отсутствии службы эксплуатации, а также финансовых средств для содержания и обеспечения безопасности ГТС создаются риски возникновения аварии на ГТС, способной повлечь чрезвычайную ситуацию;

- наличие ГТС в собственности юридических лиц иностранных государств; отсутствие осмотра большегрузного автотранспорта по автодорогам, проходящим по гребню плотины, являющейся водоподпорным сооружением, увеличивает вероятность возникновения террористических актов на подобных ГТС;

- наличие ГТС, отработавших свой нормативный срок; в связи с отсутствием финансирования мероприятий по проведению капитального ремонта и (или) реконструкции ГТС, а также на консервацию и (или) ликвидацию ГТС сооружения утрачивают свою надежность.

Ростехнадзором ведется общая база данных бесхозяйных ГТС. По состоянию на 01.01.2024 г. бесхозяйные ГТС находятся в 55 субъектах РФ и насчитывают 2290 ГТС. Основная часть бесхозяйных ГТС находится в Северо-Кавказском, Кавказском, Нижне-Волжском, Центральном, Верхне-Донском, Волжско-Окском, Приволжском, Крымском управлении Ростехнадзора. На территориях Сахалинского, Ленского и Северо-Уральского управлений Ростехнадзора бесхозяйные ГТС отсутствуют, но проблемы эксплуатации всё также актуальны.

**Эксплуатация ГТС** — процесс, который включает контроль за работой сооружений, обеспечение их безопасности и заданных функциональных параметров. За организацию надзора за состоянием ГТС, сданных в эксплуатацию, ответственность несет служба эксплуатации гидроузла. Контроль выполняют путем систематического осмотра, обработки результатов измерений КИА, создания специальных комиссий для обследования и определения объема необходимых ремонтных работ и реконструкции сооружений или их элементов. ГТС I, II и III классов ответственности, как правило, оснащаются КИА для проведения натурных наблюдений, для сооружений IV класса наблюдения с применением КИА могут быть организованы при соответствующем обосновании.

**Основная цель эксплуатации** — обеспечение безопасной и эффективной работы ГТС на протяжении всего срока службы, минимизация риска аварий (рис. 1.3). **Задачи службы эксплуатации:**

- обеспечение исправного состояния, нормальной (безаварийной) работы сооружений и оборудования;
- ежедневное оперативное управление техническими устройствами гидроузла с целью создания необходимого запаса воды и обеспечение возможностей подачи её водопотребителям;

- систематическое выполнение визуальных наблюдений за состоянием сооружений и уход за ними;



а

б

**Рис. 1.3. Состояние и дефекты земляных плотин в зоне контакта с водосбросом:**

**а - прорыв бесхозяйной земляной плотины Сухановского пруда в Ленинском районе Московской области на р. Гвоздянка, 2014 г.; б – мелиоративный гидроузел на р. Сой Енисейского бассейнового округа, эксплуатирующая организация - Министерство лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва**

- проведение измерений с помощью КИА в соответствии с правилами технической эксплуатации, нормативами, инструкциями, положениями;
- своевременная обработка и анализ полученных данных наблюдений и измерений;
- обобщение опыта эксплуатации;
- своевременное выявление дефектов, повреждений или аварийного состояния сооружений и оборудования;
- разработка и осуществление мероприятий по приведению в надлежащее техническое состояние сооружений и оборудования;
- усовершенствование и реконструкция их в целях повышения надежности и высвобождения дополнительных водных ресурсов;
- определение необходимости проведения специальных наблюдений, выполнение ремонтно-восстановительных работ;

- ведение технической документации по эксплуатации, составление годовых отчетов;
- внедрение передового опыта, достижений науки и техники;
- обеспечение охраны окружающей среды, основных сооружений и др.

Эксплуатацию земляных плотин следует рассматривать в неразрывной связи с эксплуатацией всех ГТС, входящих в гидротехнический узел. Однако учитывая, что содержание учебного пособия относится только к земляным плотинам и дамбам, приводимые основные сведения по эксплуатации излагаются применительно к последним. Другие сооружения узла, упоминаются лишь в связи с обеспечением нормальной работы земляной плотины или дамбы. Как у плотин, так и у дамб различают ряд ключевых элементов: тело; гребень; верховой, или мокрый, откос; низовой, или сухой, откос; подошва, или основание. У некоторых дамб (разделительных) оба откоса мокрые.

Собственник гидротехнического сооружения и (или) эксплуатирующая организация обязаны выполнить ряд мероприятий, касающихся эксплуатации и ремонта ГТС:

- обеспечивать соблюдение обязательных требований при строительстве, капитальном ремонте, эксплуатации, реконструкции, консервации и ликвидации гидротехнических сооружений, а также их техническое обслуживание, эксплуатационный контроль и текущий ремонт;
- обеспечивать контроль (мониторинг) за показателями состояния ГТС, природных и техногенных воздействий и на основании полученных данных осуществлять оценку безопасности ГТС, в том числе регулярную оценку безопасности ГТС и анализ причин ее снижения с учетом работы ГТС в каскаде, вредных природных и техногенных воздействий, результатов хозяйственной и иной деятельности, в том числе деятельности, связанной со строительством и с эксплуатацией объектов на водных объектах и на прилегающих к ним территориях

ниже и выше ГТС;

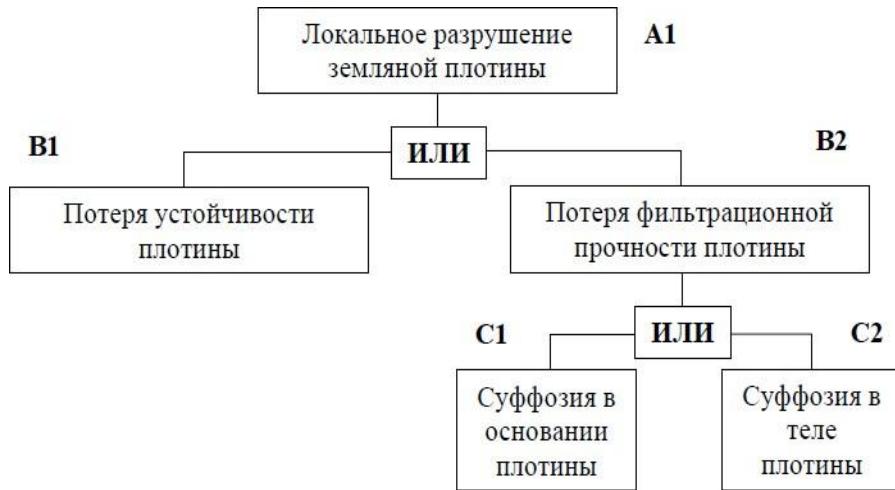
- систематически анализировать причины снижения безопасности ГТС и своевременно осуществлять разработку и реализацию мер по обеспечению технически исправного состояния ГТС и его безопасности, а также по предотвращению аварии ГТС;
- создавать финансовые и материальные резервы, предназначенные для ликвидации аварии ГТС, в порядке, установленном Правительством Российской Федерации для создания и использования резервов материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- организовывать эксплуатацию ГТС в соответствии с нормами законодательства РФ, федеральными нормами и правилами в области безопасности ГТС;
- финансировать мероприятия по эксплуатации ГТС, обеспечению его безопасности, а также работы по предотвращению и ликвидации последствий аварий ГТС;
- осуществлять капитальный ремонт, реконструкцию, консервацию и ликвидацию ГТС в случае его несоответствия обязательным требованиям.

Система технической эксплуатации предполагает на каждом водном объекте наличие следующих документов, которые должна быть составлены при сдаче ВО в эксплуатацию, обновляться и храниться в течение всего срока эксплуатации:

- техническое описание (ТО) с указанием функционального назначения, приложением исполнительной съёмки объекта и его отдельных конструктивных элементов;
- технический паспорт ГТС;
- правила по эксплуатации (стандарт организации).

При обследовании должен быть проанализирован опыт работы сооружений за период их эксплуатации, отказах оборудования и др. (рис. 1.4). Отмеченный выше перечень используется для проведения детальной оценки технического

состояния гидротехнических сооружений, мелиоративных гидроузлов, водных систем разного назначения и пр., что является основанием для заполнения технического журнала.



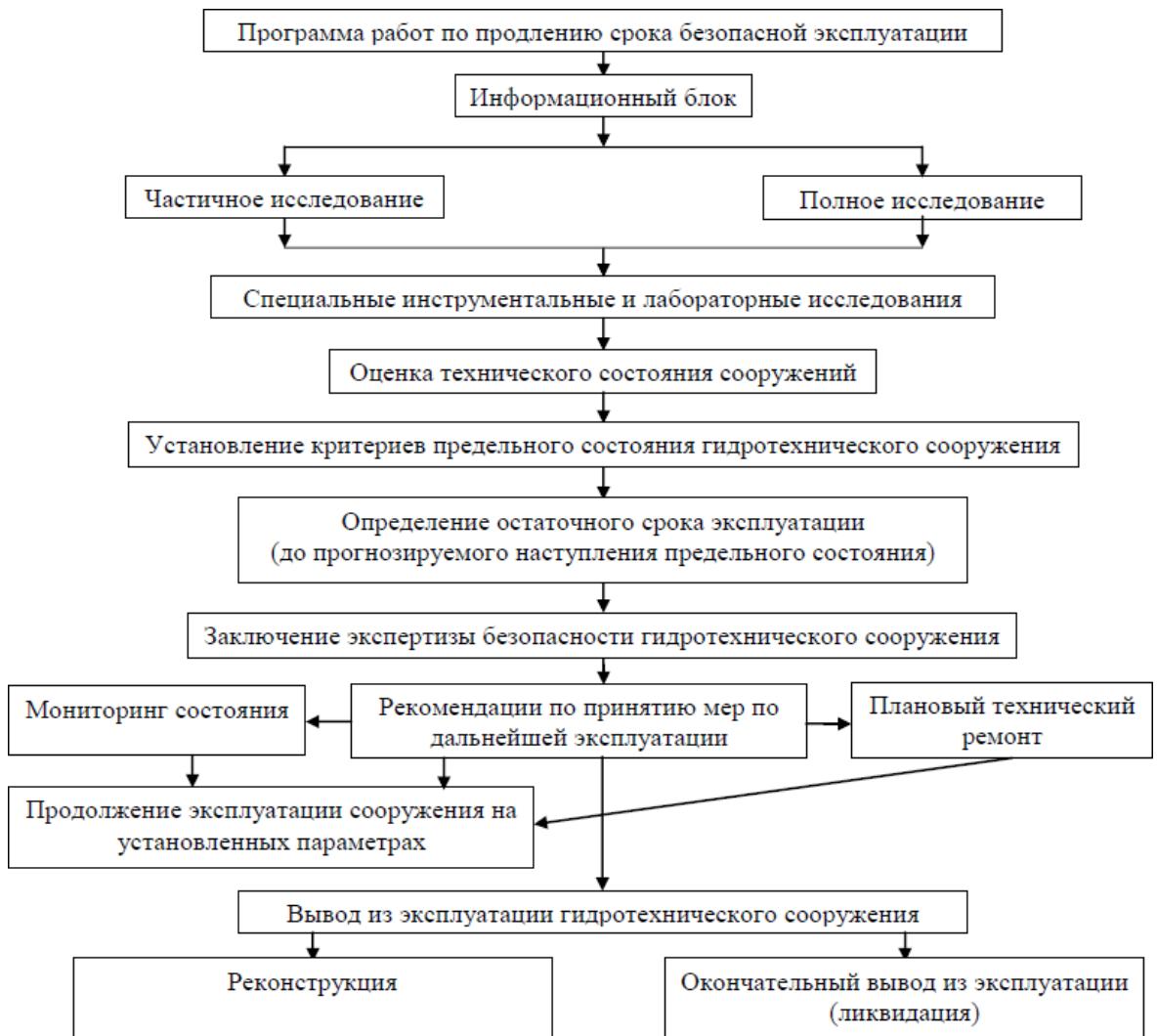
**Рис. 1.4. Характерное дерево отказов грунтовой плотины, рекомендованное СТО [49]**

При оценке дальнейшей судьбы ГТС, отработавшего установленный срок эксплуатации, следует присваивать ему соответствующий уровень продления срока эксплуатации в зависимости от значения обобщенного риска реализации предельных состояний первой группы. Для этого обследование, оценку технического состояния ГТС и выявление причин, приводящих к снижению их безопасности можно использовать блок-схему, приведённую на рисунке 1.5 [50].

**Программа наблюдений** должна включать:

- обоснование выбранного состава наблюдений и контрольно-измерительной аппаратуры;
- требования к точности и периодичности снятия показаний с КИА для определения характеристик состояния сооружений;
- схемы геодезических сетей (схемы расположения пунктов сетей и связи между ними с помощью измерений);
- методики измерений, с расчетами, подтверждающими определение характеристик состояния сооружений с требуемой точностью;

- допуски при измерениях;
- методику обработки и уравнивания результатов измерений;
- перечень применяемой переносной контрольно-измерительной аппаратуры (приборы, средства измерений);
- состав метрологического контроля, технологических поверок приборов, средств измерений, периодичность контроля и поверок.

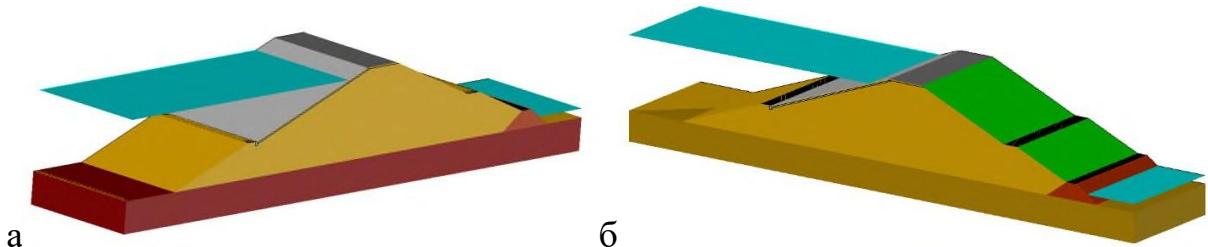


**Рис. 1.5. Блок-схема проведения исследования ГТС для оценки его технического состояния [50]**

## 1.2. Краткие сведения о земляных плотинах и дамбах, особенностях их возведения и области применения

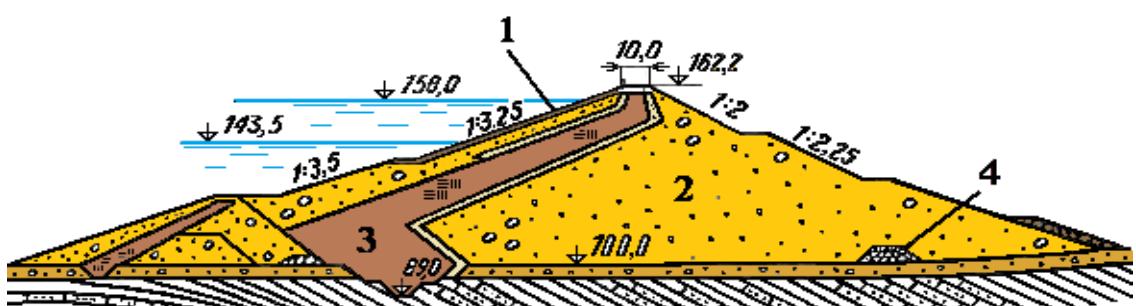
События последних лет, а именно, природные процессы, связанные с изменением климата, такие как крупные наводнения в Европе и Юге России,

заставляют предпринимать в природоохранной гидротехнике специальные меры по защите прибрежных зон от затопления. Наиболее эффективным способом защиты долины реки от наводнения является строительство плотины, создание водохранилища, аккумулирующего сток реки (рис. 1.6), и противопаводковая защита в виде дамб.



**Рис. 1.6. Схематичный вид фрагмента однородной земляной плотины со стороны верхнего (а) и нижнего (б) бьефов**

В отличие от дамб плотины перегораживают реку и поднимают воду до более высокого чем бытовой уровня водотока. Однако такое решение приводит к «рукотворному» затоплению больших территорий со всеми негативными хорошо известными последствиями [11, 51]. Поэтому в настоящее время чаще используют продольные защитные дамбы, как правило, из грунтовых материалов с каменным, бетонным или другим типом покрытия верхового откоса (рис. 1.7) [33, 34].



**Рис.1.7. Поперечное сечение русловой и пойменной земляных неоднородных плотин Шамкирского гидроузла (длина 3,8 км, наибольшая высота 70 м, Азербайджан, 1975-1982гг.):** 1 – железобетонное крепление плитами 8x8x0,3 м по гравийной подготовке толщиной 0,3 м; 2 – гравийно-галечный грунт; 3 – экран из суглинка; 4 – дренажная призма

Земляные дамбы хорошо зарекомендовали себя в качестве берегозащитных сооружений при реконструкции существующих грунтовых берегоукрепительных сооружений, например, в Крыму по обоим берегам реки Кача на Северной стороне Севастополя на участке протяженностью 525 м от старого русла реки вниз по течению (рис. 1.8), где укрепления откосов для защиты от опасных геологических процессов и гидрометеорологических явлений (эрозии, осипаний, наводнений и т.п.) выполнены из габионных конструкций за 60 млн. руб. Их целесообразно использовать при возведении и укомплектовании технологическим оборудованием сооружений станции водоочистки и прудов-накопителей очищенных стоков хозяйствственно-бытовых вод (рис. 1.9).

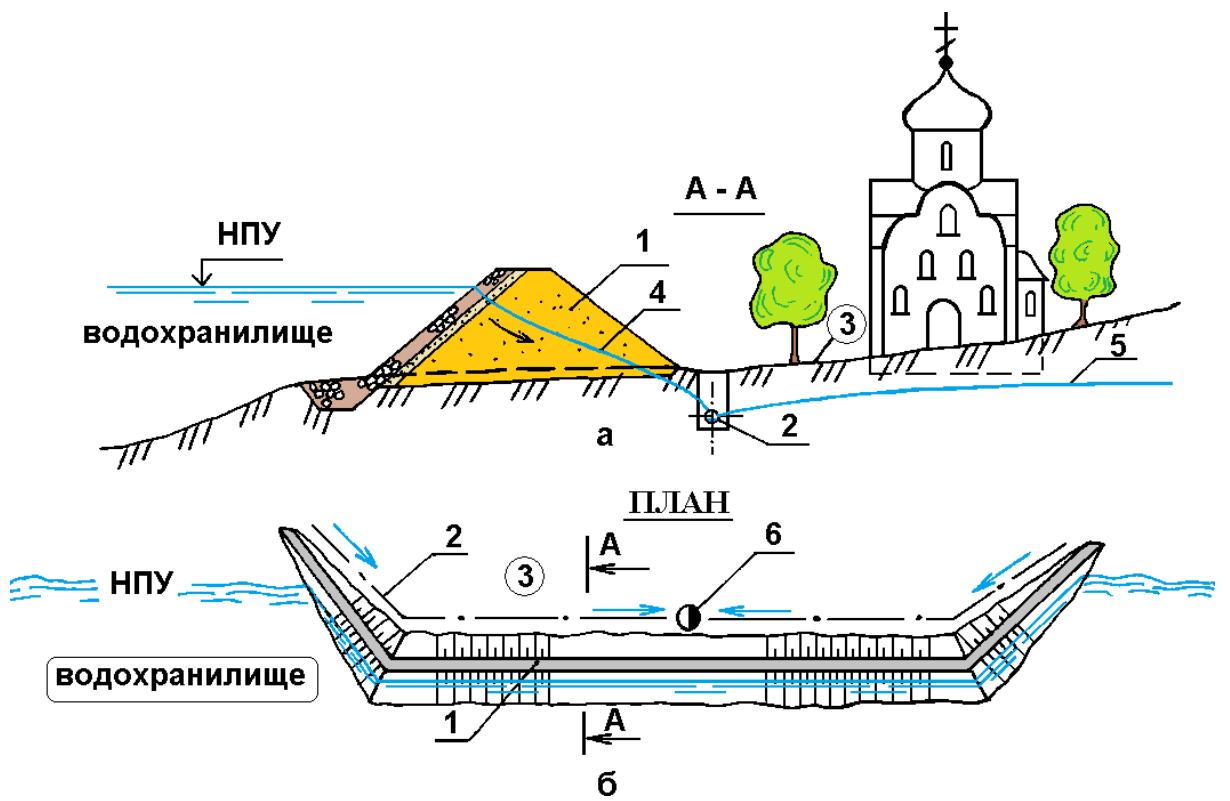


**Рис. 1.8. Берегозащитные дамбы на р. Кача под Севастополем, 2021 г.**  
(фото пресс-службы Департамента капитального строительства Севастополя)



**Рис. 1.9. Земляные дамбы комплекса сооружений станции очистки и пруда-накопителя очищенных стоков объемом 250 тыс. м<sup>3</sup> в Ленино под Симферополем, 2024 г. (фото Минстроя Республики Крым)**

В качестве защитных сооружений помимо земляных дамб (рис. 1.10 и 1.11) и плотин используют дамбы (стенки) из армированного грунта и железобетонные стенки [13, 31, 34, 38]. В тоже время такие защитные сооружения не целесообразно возводить на застроенных территориях (в посёлках, крупных населённых пунктах, городах), особенно если вероятность поводка не велика (например, 1...2 раза за 100 лет).

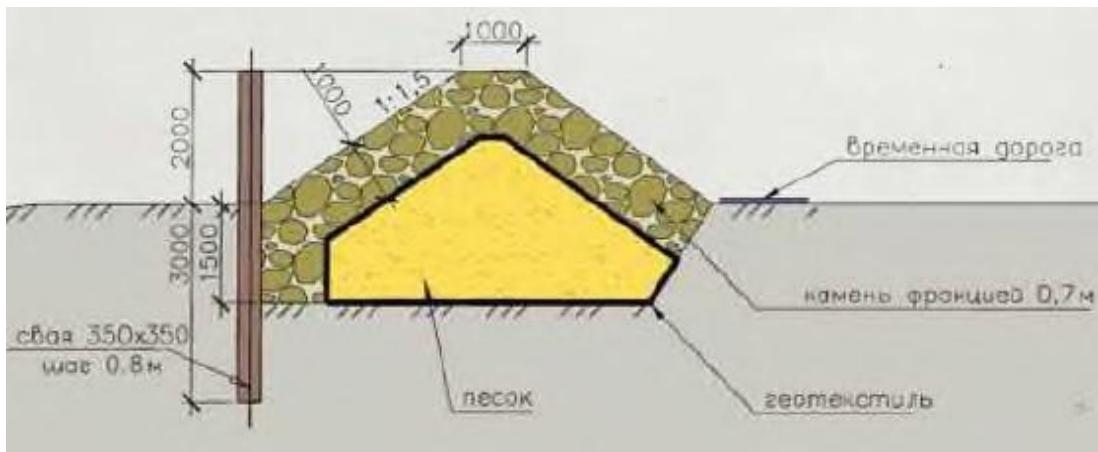


**Рис. 1.10. Типовая земляная противопаводковая дамба:** а — поперечный разрез А-А по дамбе; б — план защищаемого участка; 1 — однородная дамба обвалования из местного грунта; 2 — береговой дренаж; 3 — защищаемая территория; 4 — депрессионная кривая; 5 — уровень грунтовых вод; 6 — насосная станция



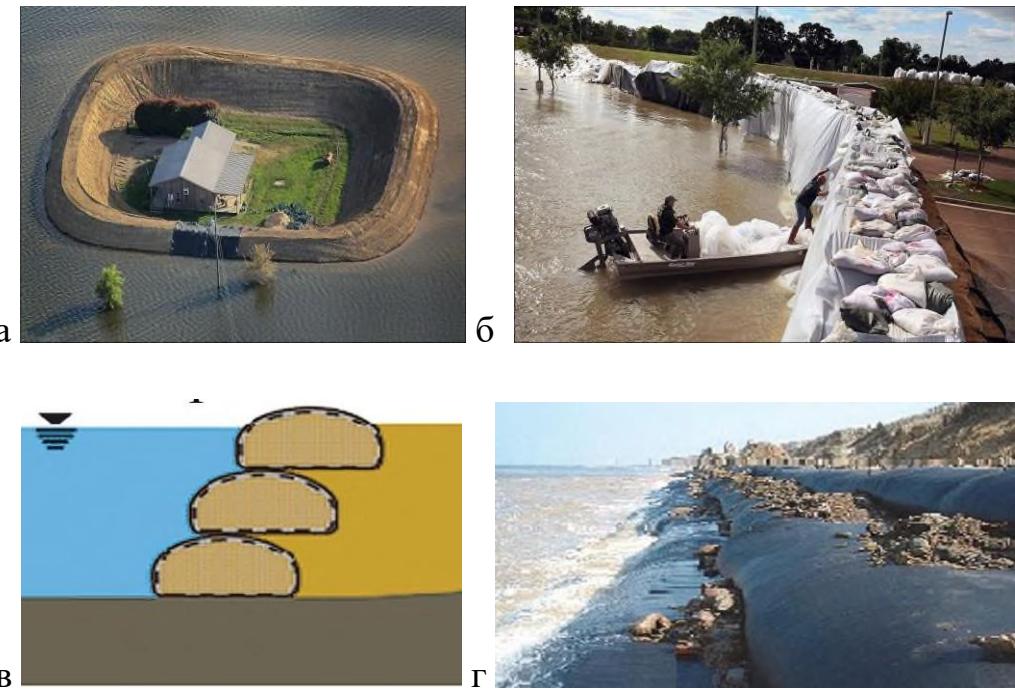
**Рис. 1.11. Дамбы, огораживающие специплощадки для нефтедобычи, на Нижнекамском водохранилище**

В этом случае наиболее эффективно возвести временную продольную перемычку, используя природоподобные или природные материалы (рис. 1.12) либо дамбу-рукав из геотекстиля (рис. 1.13).



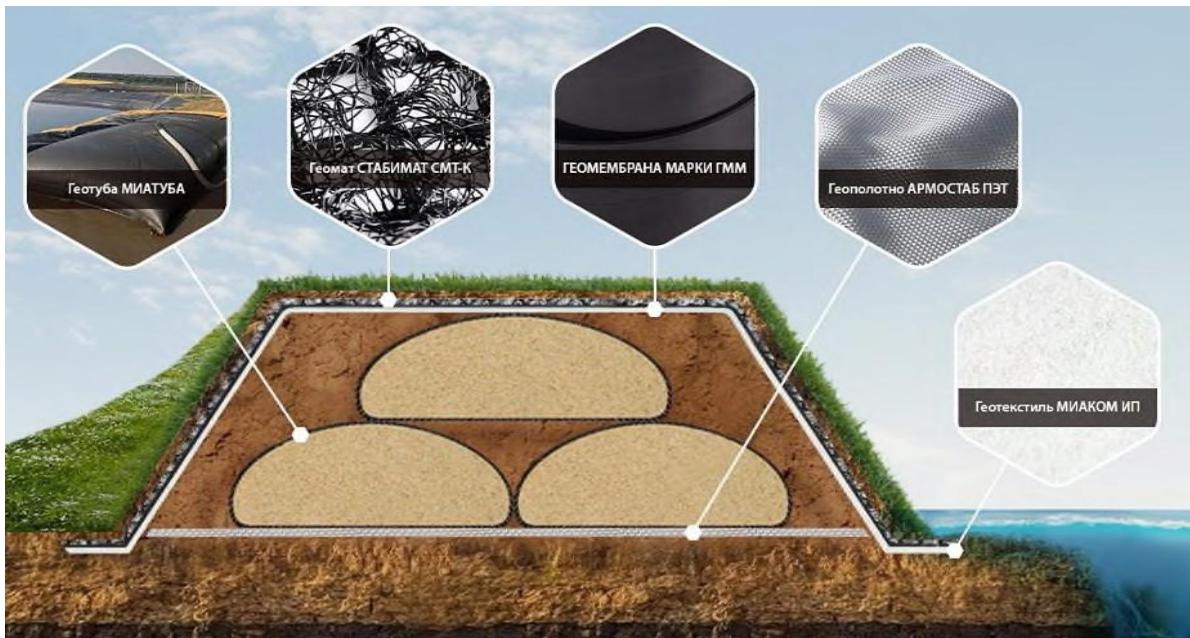
**Рис. 1.12. Временная дамба для защиты технологической дороги от волнового воздействия на период строительства променада в г. Светлогорск Калининградской области**

Такой рукав имеет контур из такого же материала, который прижимается или анкеруется к грунту или бетону, например, к бетону набережной. Дамбу такой конструкции можно развернуть, собрать, заполнить водой или местным грунтом и полностью подготовить к приёму паводка в считанные часы. Масса воды 1 м длины дамбы при диаметре до 2 м не превышает 15 кг. Герметичность стыков отдельных участков обеспечивается болтовой или пружинной стяжкой, понурная часть соединяется внахлест. При необходимости возведения более высокой дамбы можно использовать несколько рукавов, укладываемых последовательно рядами друг на друга (рис. 1.13). Например, нижний ряд – 3 рукава, средний – 2 и верхний 1 рукав. Все рукава объединяются стяжками-хомутами и общей защитной оболочкой с понуром.



**Рис. 1.13. Примеры конструкций защитных дамб:** а – земляная; б – из мешков с песком; в, г - дамба-рукав из геосинтетических оболочек

Для равномерности осадки конструкции и предотвращения глубинного выпора при строительстве на слабом основании укладывается геополотно, например, АРМОСТАБ ПЭТ, сочетающее функции фильтрации и разделения (рис. 1.14). Положительный экономический эффект достигается за счет применения местного грунта: и в качестве заполнителя оболочки, и для формирования устойчивого контура дамбы. Для защиты от вымывания грунта, из которого сложены откосы, и разделения этого грунта от растительного применяется нетканое геополотно МИАКОМ ИП, служащее и основанием под геомембрану, текстурированную ГММ Textured Rough.



**Рис. 1.14. Грунтовая дамба с телом, сформированным из геосинтетических оболочек-рукавов с местным грунтовым заполнителем: 1 – геотуба МИАТУБА; 2 – геомат СТАБИМАТ СМТ-К; 3 – геомембрана марки ГММ; 4 – геополотно АРМОСТАБ ПЭТ; 5- геотекстиль МИАКОМ ИП**

Она образует надежный противофильтрационный барьер и создает дополнительное сцепление с геосинтетическими и грунтовыми материалами, предотвращая их сползание по откосам. Поверх геомембраны укладывается противоэрозионный геомат СТАБИМАТ СМТ-К для дополнительной надежной фиксации растительного грунта на откосах дамбы. Армирование полиэфирной георешеткой позволяет избежать необходимости в креплении геомата анкерами, причём за счет наличия армирующего материала в композите, геомат способен удерживать растительный грунтовый слой самостоятельно.

Конструкция же **однородной земляной плотины и дамбы** в общем случае довольно проста и состоит из ряда следующих элементов (рис. 1.15)

- гребня шириной  $b$ , на котором, как правило, размещаются авто- и железнодорожные проезды;
- верхового и низового откосов с уклоном от 1:1,5 до 1:4 (реже до 1:6);
- берм, устраиваемых на откосах плотины с шагом 7...15 м;
- креплений верхового и низового откосов;

- волноотбойной стенки высотой 0,8...1,5 м;
- дренажного устройства для организованного отвода фильтрующей воды и понижения кривой депрессии.

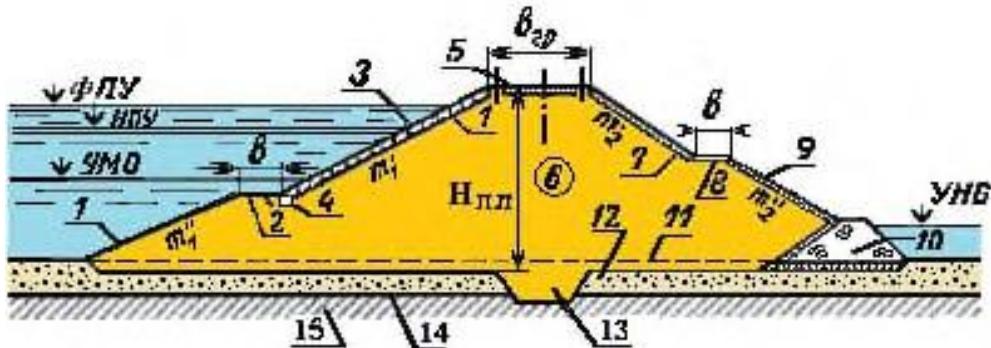
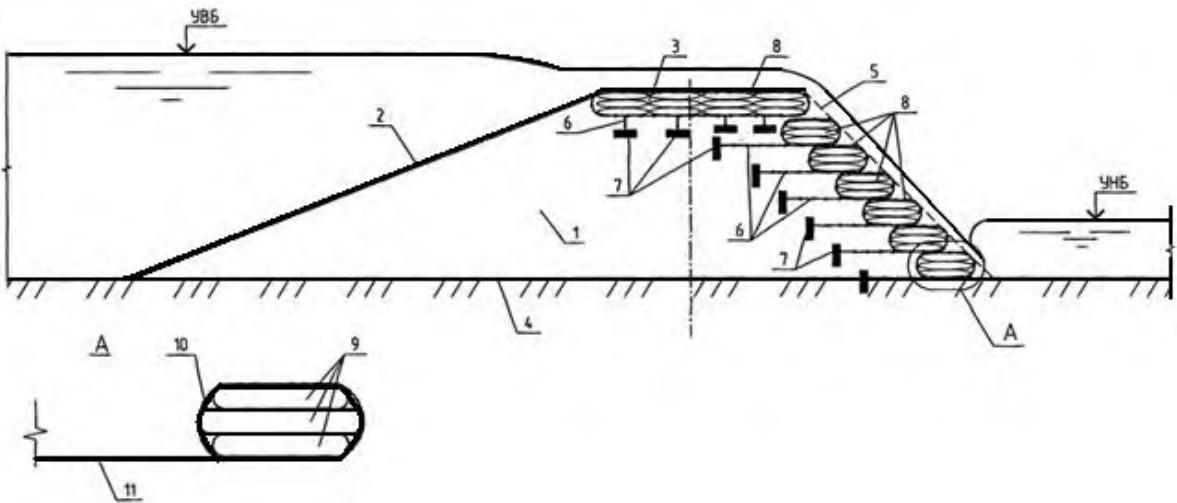


Рис. 1.15. Однородная земляная плотина на каскаде мелиоративных гидроузлов [37]: 1 - верховой откос; 2 - берма верхового откоса; 3 - крепление верхового откоса; 4 - упор крепления; 5 - гребень плотины; 6 - тело плотины; 7 - низовой откос; 8 - берма низового откоса; 9 - крепление низового откоса; 10 - дренажная призма; 11 - естественная поверхность грунта; 12 - основание плотины; 13 - замок; 14 - водопроницаемый слой основания; 15 - водонепроницаемый слой основания - водоупор

При реконструкции и строительстве современных защитных дамб целесообразно земляные элементы дамб или плотин комбинировать с другими материалами, например, с **габионными конструкциями**, **геоконтеинерами**, **геосинтетические оболочки** - ёмкости из геосинтетического материала для заполнения грунтом или другими строительными материалами и создающие замкнутые объемные элементы, которые хорошо корреспондируют с земляными плотинами, дамбами (рис. 1.16) [22, 31]. и др., приведёнными в учебном пособии [34]. При проектировании таких комбинированных ГТС следует учитывать общие недостатки. Например, для габионных конструкций: коррозийность металлической арматуры; быстрое истирание и разрушение сетки камнями; наличие местного дорогостоящего камня для заполнения металлических каркасов; трудоемкость выполнения многих операций, выполняемых вручную, в том числе и службой эксплуатации при очистке габионов от мусора; слабая защищенность от актов вандализма.



**Рис. 1.16. Схема переливной плотины с использованием крепления геосинтетическими оболочками, предложенной М.В. Родионовым [31]:** 1 - тело переливной грунтовой плотины; 2 - верховой откос; 3 - порог; 4 - подошва плотины; 5 - низовой откос; 6 - армирующая сетка; 7 - анкерные устройства; 8 - элементы крепления; 9 - гибкие оболочки; 10 - замкнутая часть армирующей сетки; 11 - протяженная часть армирующей сетки

Хотя разработаны и специальные устойчивые к солнечной радиации материалы, однако в отдельных случаях для продления срока их службы целесообразно нанесение защитных покрытий (различные эмульсии на основе битума или резины, цементные растворы или другие покровные материалы устойчивые к ультрафиолету).

### 1.3. Основы эксплуатации земляных подпорных сооружений

Эксплуатация ГТС водохранилищных узлов на местном стоке решает две основные задачи: 1 - обеспечивать подачу воды из водохранилища в соответствии с установленным графиком потребления; 2 - поддерживать ГТС узла в рабочем состоянии. Все они осуществляются путем наблюдений за работой ГТС МС и выполнением того или иного ремонта. Указанные задачи следует рассматривать как единый комплекс эксплуатационных мероприятий, благодаря которым узел сооружений служит целям орошения, водоснабжения, обводнения, гидроэнергетики и др. Зabor воды из водохранилища и подача ее потребителю представляют предмет самостоятельного рассмотрения и здесь не приводятся, так

как непосредственного отношения к земляной плотине не имеют. Вторая задача эксплуатации узла, которая и рассматривается ниже, является технической задачей и заключается в поддержании земляной плотины в проектном состоянии. Это достигается регулярными наблюдениями за плотиной, своевременным выявлением причин, которые могут привести к тем или иным деформациям, ликвидацией этих причин, устраниением происшедших разрушений, а также заменой отдельных частей в плотине вследствие износа материала.

Проявляющиеся во время эксплуатации деформации земляных плотин/дамб могут быть допустимыми и недопустимыми [1, 16, 17]. Первый вид деформаций предусматривается проектом и подтверждается соответствующими расчетами, как, например, деформации тела плотины в результате осадки основания. Второй вид деформаций может быть следствием: некачественных строительных работ; результатом нарушения правильного технологического процесса; применения материалов, несоответствующих условиям их работы; нарушения предписанного эксплуатационного режима работы сооружений; превышения фактических силовых воздействий против принятых в проекте, а также изменения реактивных сил в сторону их уменьшения. Опыт эксплуатации ГТС показывает, что любые деформации, включая и аварийные, не возникают неожиданно (рис. 1.17). Им предшествует накопление ряда причин, которые путем наблюдений за состоянием ГТС могут быть заранее установлены. Поэтому любую деформацию можно предупредить эксплуатационными мероприятиями или в крайнем случае ограничить размерами, неопасными для устойчивости всего ГТС. В последующем такие деформации легко ликвидируют и ГТС вновь приводят в устойчивое состояние. Эксплуатационный персонал, призванный обеспечить безаварийную работу всех ГТС узла, должен твердо усвоить это положение, а для этого прежде всего необходимо знать причины, ведущие к снижению устойчивости сооружения, и способы их устранения.

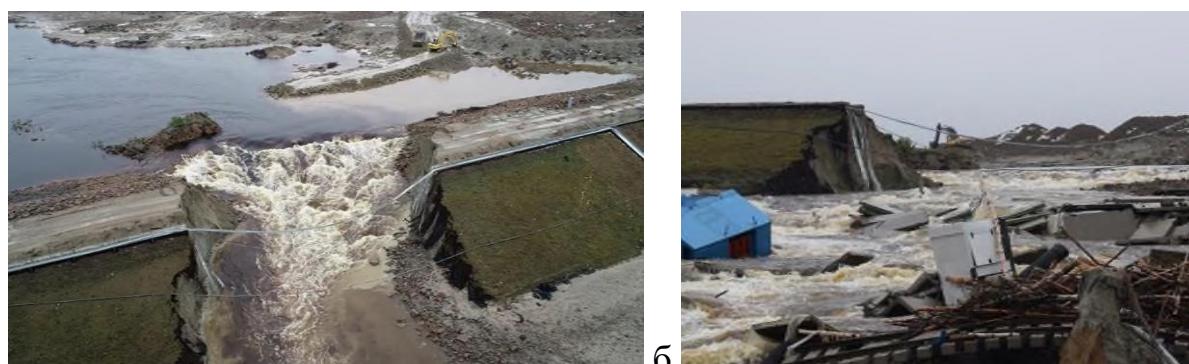


**Рис. 1.17. Разрушение подпорных земляных сооружений:** а - образование прорана дамбы на р. Мураниха, Московская область; б - последствия разрушения плотины на Колташинском водохранилище, Свердловская область

Эксплуатационный период земляной плотины или дамбы начинается с момента ее приёмки от строительной организации, специально назначенной приёмочной комиссией (для крупных объектов это правительственная комиссия, а для мелких, локальных – межведомственная). Приёмочная комиссия особым актом фиксирует соответствие выполненных работ проекту и испытывает работу сооружений узла во всех режимах, предусмотренных для эксплуатационного периода. На те элементы сооружения, которые в момент приёмки не могут быть освидетельствованы комиссией, строительная организация предъявляет акты на скрытые работы, подтверждающие выполнение скрытых частей в соответствии с проектом или теми изменениями, которые были внесены в процессе производства работ. В тех случаях, когда комиссия во время ее работы не может провести рабочее испытание ГТС узла, окончательная приемка производится позднее, когда ГТС в состоянии принять на себя расчетные нагрузки. Обычно это относится к периоду пропуска весеннего паводка. Вся техническая документация, включая и исполнительные чертежи сооружений, предъявленная приемочной комиссией, затем передается службе эксплуатации для дальнейшего руководства в проведении всех работ.

Наиболее опасный период для устойчивости земляных плотин — период весеннего половодья, когда по водосбросному тракту пропускают максимальные расходы. В это время чаще возможны деформации ГТС узла, особенно земляных плотин, так как они испытывают максимальную, а в отдельных случаях и

предельную нагрузку. Отсюда понятно повышенное внимание, которое уделяется подготовке ГТС узла к пропуску паводка, и особо тщательное наблюдение за состоянием отдельных частей ГТС. Например, эксперты указали причину прорыва на плотине из моренного мелкофракционного грунта (песка, супеси) Белопорожского гидроузла - некачественное сопряжение грунтового тела с основанием. Однако из рисунка 1.18 видно, что в результате прорыва происходит перелив через локальный проран, при этом поток воды интенсивно смывает вышележащие слои грунта тела плотин. В результате разжижение грунта откоса приводит к разрушению всей верхней зоны плотины. Таким образом, успешный пропуск паводковых вод может быть обеспечен только в результате комплекса подготовительных мероприятий (организационных и технических), разработанных и осуществленных до начала паводка.



**Рис. 1.18. Прорыв напорного фронта земляной дамбы (а)**

**Белопорожского гидроузла на р Кемь, Карелия, 2020 г. На заднем плане**

**видно строительство бетонной дамбы (б) для купирования аварии**

Организационная сторона этих мероприятий состоит: в своевременной доставке аварийного запаса строительных материалов, инструмента; вскрытии резерва талого грунта; опробовании в работе затворов, освещения; формировании дежурных бригад на период пропуска паводка. Сюда же следует отнести получение от местных управлений Гидрометеослужбы прогноза на паводок (рис. 1.19). Если ожидается большой паводок (малой обеспеченности), можно заранее сработать уровень воды в водохранилище, чем увеличить регулирующую ёмкость, срезать пик паводка и сдвинуть его во времени.



**Рис. 1.19. Фиксация начала (а) и конца (б) ЧС с прорывом защитной дамбы от затопления р. Урал в г. Орск Оренбургской области, апрель 2024 г.**

Техническая сторона подготовительных мероприятий состоит в выполнении необходимых ремонтных работ по узлу сооружений, устройстве майны по линии стыка ледового покрова с верховым откосом плотины, расчистке всех вооружений водосбросного тракта от снега и наледи. Все работы, связанные с освобождением водосбросных сооружений от снега, проводят заблаговременно до наступления притока воды в водохранилище или пруд. Укоренившееся мнение по устройству перед пропуском паводка по тракту в снежных заносах пионерной транши, - технически необоснованно. Смыв снежной толщи (обычно уплотнённой к весне) потоком воды, проходящим по пионерной траншее, продолжается длительное время и заканчивается позднее, чем максимальные расходы проходят по тракту. Недостаточная пропускная способность сооружений водосбросного тракта влечёт к повышению уровня воды в водохранилище против расчетного, следствием чего может быть перелив через гребень плотины. В водохранилищах со значительной регулирующей ёмкостью перелива воды через гребень может и не быть, но плотина в этом случае будет находиться в условиях, не отвечающих расчетным, а, следовательно, здесь и может быть заложена причина потери её устойчивости и разрушения.

Подъём уровня воды в водохранилище выше отметки ФПУ проходит также за счет притока воды с расходом меньше расчетной обеспеченности. Случай этот редкий, но возможный, особенно для плотин низкого класса ответственности, для которых расчетная обеспеченность максимальных расходов сравнительно

большая.

В исключительных случаях дополнительный приток воды в водохранилище может произойти за счет разрушения вышерасположенной плотины, в результате чего происходит быстрое повышение уровня воды, перелив через гребень и разрушение плотины. А это, в свою очередь, ставит под угрозу и все нижерасположенные плотины каскада, водохранилища которых не в состоянии вместить в себя такое количество воды. Поэтому, когда на водотоке возводится цепь водохранилищ, эксплуатация земляных плотин и водосбросных трактов требует повышенного внимания для предупреждения аварий.

#### **1.4. Организация мониторинга гидротехнических сооружений мелиоративных гидроузлов с грунтовыми плотинами и дамбами**

В условиях, когда территория РФ хорошо снабжена водными ресурсами (средние, малые реки), первостепенное значение для регулирования их стока приобретают грунтовые плотины III и IV класса ответственности (опасности), обеспечивающие надёжность напорного фронта. Знание закономерностей возникновения отказов таких плотин и дамб, анализ и классификация их причин позволяют обоснованно и целенаправленно проводить мероприятия по повышению качества проектных, строительных работ и уровня эксплуатации. Обоснование видов и периодичность натурных исследований, планирование состава и объема ремонтных работ на плотинах могут быть выполнены, основываясь на анализе причин возникновения отказов.

Показателем эффективной или неэффективной эксплуатации ГТС являются **надежность** и **безопасность** его работы: возможны аварии, местные происшествия и случаи отказа в работе ГТС. **Надежность** - способность ГТС или их отдельных элементов в нормальных эксплуатационных условиях в течение срока службы выполнять свои функции без отказов [49, 53]. Таким образом, это свойство ГТС сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность сооружения выполнять заданную

функцию в заданных режимах, условиях эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Показателями эксплуатационной надёжности комплексных мелиоративных гидроузлов являются: конструктивная надёжность (прочность, устойчивость, водонепроницаемость, морозостойкость); технологическая (напор, расход, объем воды в водохранилище, выработка электроэнергии, обеспечение водозабора и водоподачи, пропуск судов, плотов, рыбы через гидроузел и пр.); архитектурное соответствие ландшафту местности, фактуре поверхности, внешнему виду и т.д. Эксплуатационная надежность грунтовых ГТС и особенно земляных плотин в значительной степени зависит от эффективности работы противофильтрационных устройств, фильтрационной прочности и устойчивости грунта тела и основания плотины. Мировой опыт плотиностроения свидетельствует, что вследствие воздействия фильтрации наблюдается более 30 % аварий и разрушений грунтовых плотин [1, 16]. При фильтрации через *грунтовые плотины* наблюдаются потери воды из водохранилищ через их тело, основания и бортовые примыкания, снижение статической устойчивости откосов плотины, фильтрационные деформации грунта тела и основания плотины в виде суффозии или выпора, контактная фильтрация вдоль стенок водосбросного сооружения, возникает необходимость создания дренажа для свободного отвода фильтрационного потока. Важным направлением исследований для грунтовых плотин и дамб является *совершенствование методики оценки их фильтрационной безопасности*, в том числе с учетом возможных повреждений и трещинообразования противофильтрационных устройств в теле плотины и цементационной завесы или «стены в грунте» из глинистых супензий в основании плотины. При этом под фильтрационной безопасностью грунтовых плотин следует понимать обеспечение их надежной работой по критериям фильтрационной прочности грунта тела и основания, а также противофильтрационных и дренажных устройств в течение нормативного срока службы.

В зависимости от показателей, заложенных в проекте, и качества выполнения строительных работ в процессе эксплуатации надежность ГТС может понижаться, оставаться на том же уровне или повышаться. Пониженное значение надёжности земляных плотин и дамб обычно соответствует первым годам эксплуатации (5...7 лет), когда происходит и приработка отдельных ГТС гидроузла или их элементов. Отказы или сбои в работе ГТС могут быть вызваны: дефектами и ошибками, допущенными при проектировании либо строительстве ГТС; ненадёжной работой оборудования; отсутствием достаточной квалификации и опыта работы эксплуатационного персонала. Если режим эксплуатации нормальный, т.е. эксплуатационные параметры соответствуют проектным и соблюдаются все требования правил и инструкций, то наступление отказов в первую очередь зависит от условий самой эксплуатации, изменчивости внешних воздействий, не соответствие их значений тем, которые были приняты в проекте. В зависимости от срока службы ГТС такой период может доходить до 30...70 лет. Как правило, на заключительном этапе эксплуатации ГТС за счёт старения, износа, снижения пределов сопротивляемости материалов и элементов оборудования под влиянием длительного воздействия неблагоприятных факторов, вероятность отказов возрастает, соответственно и срок службы заключительного периода эксплуатации доходит до 3...10 лет. При этом отдельные элементы земляных плотин имеют различные закономерности распределения надежности во времени. Например, дренажные системы могут иметь высокую надежность в начальный период, а затем она снижается. ПФУ (конструкции) в начальный период могут работать менее надежно, а после кольматажа их надежность возрастает или, наоборот, уменьшается, если в процессе эксплуатации возникнут фильтрационные деформации, разуплотняющие грунт противофильтрационного элемента. В этой связи надежность мелиоративных гидроузлов в целом оценивается по характеристикам, указанным в табл. 1.1 [50]:

Таблица 1.1

**Ориентировочный срок службы основных ГТС мелиоративных систем  
[50]**

Типы сооружений	Срок службы, лет
1. Грунтовые, бетонные, железобетонные плотины	100
2. Магистральные оросительные каналы без облицовки и в одежде	100
3. Водосливы, водозaborы, отстойники, акведуки, лотки, дюкеры, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения	80
4. Водохранилища при земляных плотинах (кроме водохранилищ крупных ГЭС)	100
5. Бетонные и железобетонные водосбросы и водоприемники при прудах	40
6. Гидротехнические тунNELи	70
7. Деревянные водосбросы и водоприемники при прудах	10
8. Регулирующие (выправительные) фашичные, сипайные, габионные, каменно-хворостяные дамбы	10
9. Гидротехнические сооружения на каналах	30...40
10. Внутрихозяйственная оросительная сеть:	
Каналы: земляные без облицовки	40
с облицовкой камнем, бетоном, железобетоном	30
Железобетонные лотки	25
Асбоцементные трубопроводы	40
Стальные трубопроводы	25

**безотказность** - свойство ГТС непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого промежутка времени;

**долговечность** - свойство ГТС сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, когда его следует либо ремонтировать, либо исключить из эксплуатации (табл. 1.1);

**ремонтопригодность** - свойство ГТС, заключающееся в приспособленности его к предупреждению и обнаружению неисправности и восстановлению работоспособности;

**живучесть** - свойство ГТС сохранять работоспособность (полную или частичную) в условиях экстремальных воздействий, не предусмотренных нормальными условиями эксплуатации.

Среди основных показателей эксплуатационной надежности ГТС можно выделить [16, 18, 31]: **конструктивную надежность** (прочность, устойчивость, водопроницаемость, морозостойкость); **показатели технологической надежности** (напор, расход, объем воды в водохранилище, выработка электроэнергии, обеспечение водозабора и водоподачи, пропуск рыбы); **показатели архитектурного соответствия** (соблюдение архитектурных форм с учетом ландшафта, фактура поверхности, цвет, внешний вид).

Ключевым моментом в работе эксплуатирующей организации (государственное или муниципальное унитарное предприятие, либо организация любой другой организационно-правовой формы, на балансе которой находится ГТС из грунтовых материалов) является **мониторинг** его безопасности – совокупность постоянных (непрерывных) наблюдений за состоянием безопасности ГТС и характером воздействия опасных факторов на окружающую среду. Для сооружений повышенного уровня ответственности мониторинг (англ. monitoring – слежение, контроль) – обязательная специальная форма наблюдения (слежения) за текущим изменением тех или иных процессов или объектов в пространстве и во времени, осуществляемая на постоянной основе. На базе мониторинга устанавливаются отклонения наблюдаемых эмпирических показателей от их теоретических или нормальных (обычных) значений, а в порядке профилактики принимаются меры по минимизации таких отклонений [33-35].

К основным методам мониторинга технического состояния и безопасности можно отнести [53-55]:

- геофизические: электровзрыв, сейсморазведка, георадар (радиолокация);
- неразрушающего контроля;
- геодезического контроля (рис. 1.20 - 1.22) – теодолит, GPS и др., которые в данном учебном пособии подробно не рассматриваются;

- контрольно-измерительная аппаратура (КИА) – устанавливаемая (марки, реперы) и закладная дистанционная (датчики).



Рис. 1.20. Примеры средства измерений для геодезического мониторинга:  
цифровой (а) и оптические (б) нивелиры; высокоточные линейно-  
угловые построители - электронный тахеометр (в) и оптический  
теодолит (г);



Рис. 1.21. КИА для высокоточного спутникового координирования



Рис. 1.22. Роботизированный тахеометр

### Цели мониторинга:

- постоянный контроль показателей работы сооружений, технического состояния и безопасности;
- регистрации всех случаев отказов в работе, их частоты, интенсивности и среднего значения времени между соседними отказами;
- проведение мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности;
- установления конкретного места, времени и причины, характеристики отказа и размера причинённых повреждений;
- определение трудоёмкости, затрат материалов, деталей и денежных средств для устранения повреждений.

**Конечная цель** любого мониторинга – предвидение (прогноз) будущего состояния происходящих явлений и событий с целью снижения степени неопределённости, риска при принятии решений. Результаты мониторинга состояния ГТС должны отражаться в декларации безопасности ГТС, а также учитываться при назначении критериев безопасности ГТС

### Состав мониторинга:

- регулярные взаимоувязанные контрольные наблюдения за состоянием ГТС, их оснований, береговых сопряжений в нижнем и верхнем бьефах;

- сбор, накопление и хранение данных наблюдений;
- создание и ведение базы данных наблюдений;
- сопоставление измеренных значений диагностических показателей состояния ГТС с их критериальными значениями;
- оперативная оценка состояния ГТС, их оснований и береговых сопряжений;
- информирование органов, заинтересованных в безаварийном состоянии ГТС на местном (локальном), региональном (территориальном) и федеральном уровнях.

**Основными методами геодезического мониторинга являются:**

1. Для контроля за вертикальными перемещениями конструкций зданий и сооружений, основания, фундаментов и поверхности грунтового массива:

- геометрическое нивелирование коротким лучом визирования;
- тригонометрическое нивелирование;
- гидростатическое нивелирование;
- метод относительных спутниковых измерений с использованием глобальной спутниковой навигационной системы (ГНСС).

2. Для контроля за вертикальными перемещениями грунтового массива по глубине: геодезические наблюдения по кустам глубинных реперов.

3. Для контроля горизонтальных смещений, сдвига зданий и сооружений, ограждающих конструкций котлованов, грунтового массива:

- метод створных наблюдений (метод бокового нивелирования);
- метод полигонометрии;
- метод отдельных направлений;
- метод триангуляции;
- метод фотограмметрии;
- метод трилатерации.

Выбор измерительного оборудования для проведения геодезического мониторинга зависит от требуемой точности измерений, степени автоматизации

измерительного процесса. Используемое измерительное оборудование должно иметь свидетельства об утверждении типа средств измерений РФ и действующие свидетельства о поверке. Класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений устанавливается в ГОСТ 24846: *I класс точности* – для зданий и сооружений: исторической застройки, аварийных, технически сложных, в отдельных случаях - уникальных, длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации, возводимых на скальных и полускальных грунтах; *II класс точности* – в остальных случаях для зданий и сооружений. При наблюдениях за осадками земляных плотин, оползней и в ряде других случаев, где не требуется высокая точность, применяется нивелирование *III и IV классов*.

## **2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ДАМЬ**

Долговременное обследование дамб/плотин или мониторинг необходимы для прогнозирования устойчивости ГТС, предотвращения экологического и экономического ущерба. В ходе обследования плотин/дамб и других ГТС решаются ряд задач, среди которых можно выделить **основные задачи**:

- проведение обследования просадки и деформации грунта в самой плотине, выявление мест разуплотнения и просадок в теле земляной плотины, картирование зон трещиноватости, которые могут привести к оползневым процессам;
- оценка зоны потенциального развития суффозионного процесса;
- проведение работ по определению устойчивости плотины;
- оценка устойчивости откосов техногенных массивов.

Натурные эксплуатационные наблюдения можно разделить на *контрольные* (систематические **визуальные** и **инструментальные** наблюдения, проводимые на ГТС в целях изучения основных параметров работы, комплексного анализа их состояния и оценки эксплуатационной надёжности), и *специальные* (проводятся для контроля общего состояния ГТС в период строительства и в начальный период эксплуатации с помощью закладной аппаратуры, устанавливаемой во время строительства и имеющей ограниченный срок гарантойной эксплуатации).

Разработанная экспертная система диагностики и прогноза поведения земляных плотин для проведения эксплуатационных наблюдений и обеспечения безопасности ГТС низко- и средненапорных гидроузлов, основные элементы которой приведены в приложении П3, включена в виде блока в составленную на кафедре гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева программу по оценке безопасности ГТС и создания банка данных дефектов, повреждений и деформаций ГТС различного назначения [12, 14, 16, 31].

Для высококлассных плотин/дамб важна также организация долговременного вибромониторинга, позволяющего отследить изменение свойств земляного сооружения, связанных как с динамическим воздействием, так и с течением геологических и техногенных процессов (например, с помощью регистратора сейсмических сигналов «Дельта-03М» и программного обеспечения «Вибро» [55]).

## **2.1. Методы мониторинга технического состояния грунтовых гидротехнических сооружений разного класса ответственности для установления дефектов и повреждений**

На всех грунтовых водоподпорных сооружениях должны вестись наблюдения за (рис. 2.1):

- деформациями в различных точках ГТС (откосов, гребня, берм плотин и дамб);
- осадками и смещениями гребня, отдельных точек сооружений и основания земляной плотины и дамбы;
- состоянием (деформациям и нарушениям) креплений откосов грунтовых, бетонных, каменных и пр. ГТС, швами и трещинами в них; параметрами трещин в элементах сооружения и их примыканиях (раскрытие, глубина, протяжённость, ориентация);
- фильтрационными режимами в теле сооружения, его основании и береговых примыканиях: режимом грунтовых вод в районе сооружения; появлением неорганизованных выходов фильтрующей воды из основания плотины в нижнем бьефе, на низовом откосе и в примыканиях плотины к бетонным сооружениям; общие фильтрационные расходы и высачивания на отдельных участках сооружения;
- режимом уровней бьефов гидроузла;
- работой дренажных и противофильтрационных устройств;
- размывами откосов и берегов, проявлениями оползневых процессов; локальными провалами, промоинами, зонами размывов, ходами от землеройных животных и т.д.;

- появлением наледей у подошвы низового откоса плотины и в зоне устьев дренажных систем;
- состоянием ливнеотводной сети на гребне, бермах и откосах плотины;
- зарастанием канав, отводящих дренажные воды;
- состоянием доступных для осмотра частей КИА и оборудования гидрометрических и контрольных постов.

Многие из отмеченных результатов наблюдений относятся к основным контролируемым показателям состояния земляных плотин и дамб [16, 18, 31, 32].



**Рис. 2.1. Методы наблюдений за грунтовыми плотинами и дамбами**

Обследование дамб и плотин всё чаще проводят специалисты геофизическими методами, позволяющими получить непрерывную информацию о геологическом разрезе основания ГТС ещё на этапе инженерно-геологических изысканий (рис. 2.2): проследить опасные инженерно-геологические процессы, такие как оползни, плавуны, карстовые явления, выявить зоны распространения специфических грунтов (торфы, илы и др.), участки повышенной влажности, зоны фильтрации и разуплотнения, просадки в насыпных грунтах и многое др. При

выполнении геофизических работ при изысканиях и последующем мониторинге вовремя и после окончания строительства используется георадиолокационное, сейсмоакустическое и электроразведочное оборудование разного, как импортного, так и отечественного, в том числе и собственного производства [55].



Рис. 2.2. Комплексное георадарное обследование плотины [55]

## 2.2. Визуальные наблюдения

**Визуальные наблюдения** за техническим состоянием грунтовых плотин и дамб - это натурные (полевые) наблюдения, которые проводятся путем общих систематических осмотров плотин, их основных конструктивных элементов и прилегающей территории с целью оценки состояния, выявления дефектов и неблагоприятных процессов, снижающих эксплуатационную надежность сооружения, определения вида и объемов ремонтных работ. При таком обследовании обычно сочетаются визуальные наблюдения с простейшими опытами и измерениями на ГТС, выполняемыми в целях не только для констатации, но и для выяснения возможных причин или характера проявления тех или иных зарегистрированных дефектов и процессов. Обследования проводятся специалистами-гидротехниками или комиссией из нескольких специалистов путем детальных осмотров сооружения, его элементов и территории

с применением простейших измерительных приборов, приспособлений, органолептических и других методов распознания. Сочетание визуальных наблюдений и обследования составляют единый комплекс наблюдений за работой и состоянием грунтовой плотины/дамбы и особенно важны, когда на ней отсутствует специальная контрольно-измерительная аппаратура (КИА). На плотинах, оснащенных КИА, роль их тоже не снижается, так как в промежутках между наблюдательными створами, оснащенными измерительными приборами, только они могут дать информацию о поведении ГТС. Кроме того, ряд показателей и признаков неблагополучной работы плотины не фиксируется КИА и может быть зарегистрирован только визуальными наблюдениями (проявления выходов фильтрации, следы суффозионного выноса грунта из тела плотины, образование трещин, просадочных воронок и др.). Визуальные наблюдения и обследования при контроле эксплуатационной надежности ГТС, дополняют инструментальные наблюдения, выполняемые с помощью КИА, и в тесной увязке с ними должны использоваться при анализе и оценке состояния плотины.

Состав натурных визуальных наблюдений и обследований должен назначаться с учетом класса плотины, её конструктивных особенностей, природно-климатических и технологических условий, требований эксплуатации, наличия и характера дефектов и неблагоприятных проявлений в сооружении.

В общем случае визуальные наблюдения и обследования на грунтовых плотинах должны **включать**:

- выявление и оценку выходов фильтрации через плотину, основание, берега, сопряжения, швы и др.;
- регистрацию и оценку фильтрационно-суффозионных выносов грунта из плотины, основания, береговых и пойменных массивов, примыкающих к плотине;

- контроль за работой и состоянием дренажей плотины, водоотводящих выпусков, канав и кюветов;
- контроль за мутностью воды, профильтровавшейся через плотину или основание;
- фиксирование мест заболачивания территории, примыкающей к подошве низового откоса плотины;
- выявление и оценку местных деформаций откосов, гребня и берм плотины, а также береговых склонов в примыканиях;
- выявление, регистрацию и оценку развития всевозможных трещин на гребне, откосах и бермах;
- контроль состояния креплений верхового и низового откосов, крепления берегов (если таковые имеются);
- наблюдения за эрозией берегов водохранилища;
- наблюдения за образованием “продухов”, наледей на низовом откосе и прилегающей территории, за ледовым и температурным режимом водоемов, образовавшихся у плотины, за льдообразованием в пустотах материала низовой призмы;
- выявление признаков морозного выветривания материалов тела плотины;
- наблюдения за размывами и подмывами плотины и берегов со стороны нижнего бьефа;
- контроль за изменением во времени геометрического профиля плотины, включая его подводные части;
- наблюдения за развитием древесно-кустарниковой растительности, травяного покрова и поведением землеройных животных на плотине.

**Основными объектами** визуальных наблюдений и обследований на грунтовых плотинах должны быть: конструктивные элементы и основание; прилегающая к плотинам территория и берега; дефектные участки, проявившиеся

еще до начала наблюдений, и отдельные зоны плотины, вызывающие опасения. В процессе обследований при визуальной оценке деформаций следует обращать внимание на общее состояние грунтовых сооружений (размывы, осадки, просадки, оползни, трещины, подвижки грунтовых масс, состояние примыканий) и местные деформации. При описании их характера в журнале наблюдений необходимо пользоваться принятой в [54] терминологией и условными обозначениями (см. п. 2.2 и приложение П1 - П3).

При визуальных наблюдениях **гребня** (берм) грунтовой плотины обычно контролируются: появление и характер развития трещин различной направленности и происхождения; чрезмерные осадки и просадки гребня, в том числе в примыканиях плотины к бетонным сооружениям и крутым берегам; проявления морозного пучения грунта; очаги формирования оползней откосов.

Как правило методами визуальных наблюдений контролируется состояние **земляных откосов и их креплений**. Наиболее тщательным образом должны обследоваться крепления откосов в зоне действия волн, а также низовые откосы. При сильном ветре или буре визуальные наблюдения следует проводить несколько раз в течение штормовой погоды и до окончания сильного волнения поверхности воды. Желательно использовать при этом и установленную КИА.

Особое внимание следует обращать помимо просадок, подвижек, оползней, трещин и других нарушений на: возможность выноса и разрушения уплотняющих материалов из швов бетонных и железобетонных элементов крепления под действием волн или фильтрационного потока при колебаниях уровня воды; вынос гравийно-песчаной подготовки или грунта из-под одежды через щели в уплотнённых швах и через трещины; образование промоин под облицовками, вызванных затеканиями дождевой воды, движением грунтовых вод, появлением ходов землеройных животных, строительными дефектами; смещение отдельных плит относительно друг друга в горизонтальном или вертикальном направлении; состояние соединений плит между собой. При сильном ветре необходимо следить

за волновыми воздействиями и нагоном волны. При определённых условиях возможен перелив воды через гребень, приводящий в последствии к значительным разрушениям гребня и низового откоса.

В ходе проведения систематических визуальных осмотров и обследований сооружений составляется техническое досье контролируемого сооружения, где отражаются все основные неблагоприятные факторы природного и техногенного характера, способные нарушить нормальную работу сооружения, а также серьезные отклонения от проекта, повреждения и дефекты, имевшие место как при строительстве, так и проявившиеся позднее (рис. 2.3).

#### **Техническое досье плотины**

(наименование плотины)				
Наименование неблагоприятных факторов, тенденций и дефектов	Местоположение, дата первого проявления	Краткая характеристика неблагоприятных факторов, тенденций, дефектов	Мероприятия по устранению неблагоприятных факторов, тенденций и дефектов, их эффективность	Современная оценка влияния неблагоприятных факторов, тенденций и дефектов на работу сооружения
I. Природные факторы: (тектонические разломы, трещины, слабые прослойки грунта)				
II. Проектные, строительные, технологические факторы: (отступления от проекта, недодуплотнение грунта, "захороненный" лед, оползания откосов и т.п.)				
III. Эксплуатационные факторы: (просадки, суффозия, сосредоточенная фильтрация, трещины, оползни, повреждения крепостей, засорение дренажей и т.п.)				
IV. Факторы экстремальных воздействий: (деформации, трещины, фильтрация, разрушения и т.п., обусловленные землетрясениями, штормами, непрогнозируемыми паводками)				

**Рис. 2.3. Пример технического досье грунтовой плотины/дамбы**

В "досье" сооружения рекомендуется включать: наличие в основании слабых или фильтрующих прослоек грунта, тектонических разломов, трещин; места и характер непроектного сопряжения сооружения с основанием; все случаи грубых нарушений технологии укладки и уплотнения грунтов в противофильтрационные элементы и тело плотины с указанием точного местоположения дефектных участков и, по возможности, количественных и качественных характеристик;

сведения об оползаниях откосов, образовании трещин, наледей, суффозионных выносов грунта, просадочных воронок, о проявлениях опасных тенденций в работе сооружения и т.п.; сведения о выполненных ремонтно-восстановительных мероприятиях по ликвидации повреждений и дефектов, их эффективности и др.

В составе документации наблюдателя должны быть разработанные маршрутные схемы обхода сооружения и отдельных его элементов, которые бы обеспечивали полный их осмотр. Для этого ГТС и подлежащая контролю прилегающая территория разбиваются условно на участки осмотра и маркируются (рис. 2.4).

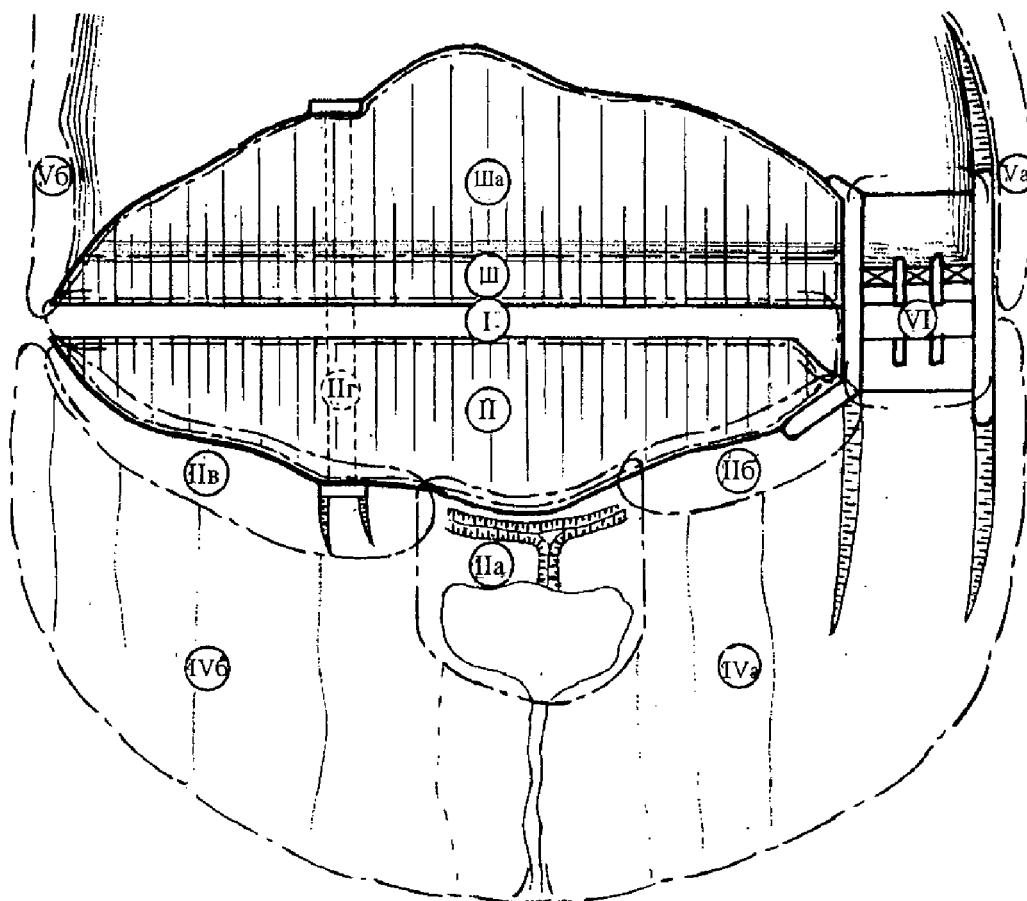


Рис. 2.4. Пример разбивки участков визуальных наблюдений на плотине  
**I, II, III и т.д. – участки визуальных наблюдений в соответствии с  
рекомендациями [54]**

Для удобства и наглядности отображения результатов контрольных визуальных наблюдений на каждое сооружение должна быть составлена

масштабная карта-развертка поверхностей (план-схема), на которую в последующем наносятся условными обозначениями повреждения и неблагоприятные явления (рис. 2.4, 2.5). Карты-развертки строятся в координатах, а обнаруженные дефекты наносятся в условных обозначениях (рис. 2.6). Маршруты обхода ГТС разрабатываются исходя из основных принципов методики и техники выполнения визуальных наблюдений и обследований, обеспечивающих их полный осмотр: тщательность и систематичность наблюдений во времени; сравнимость результатов, полученных на различных (по времени) стадиях наблюдений и этапах работы ГТС.

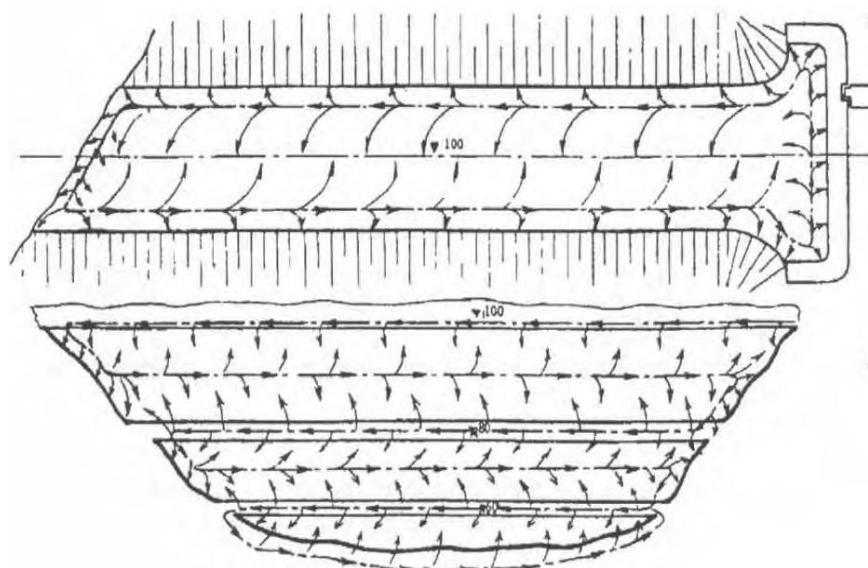


Рис. 2.5. Пример маршрутных схем на карте-развёртке осмотров земляной плотины/дамбы [54]: а - гребень; б - низовой откос и берма

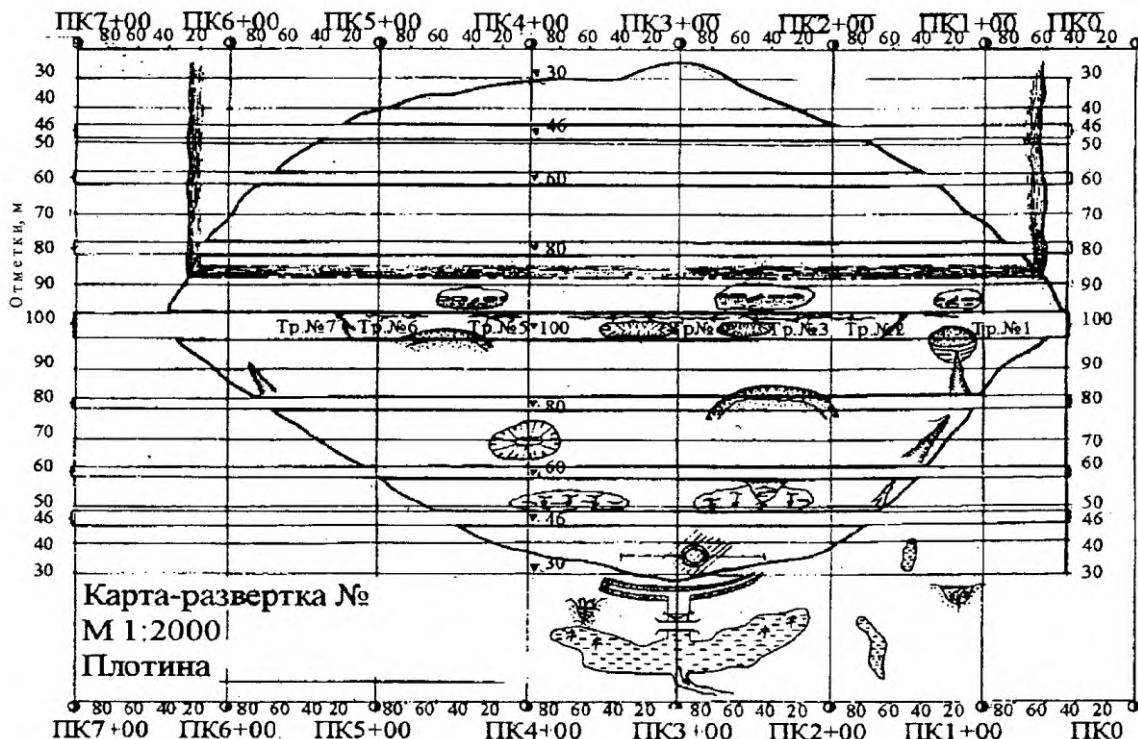


Рис. 2.6. Масштабная карта-развертка грунтовой плотины [54].

Условные обозначения приведены в таблице П2

В качестве основного рабочего документа наблюдателя используется журнал визуальных наблюдений, состоящий из титульного листа и набора заполняемых форм. При выявлении в процессе визуальных наблюдений различных деформаций тела плотины необходимо зафиксировать их в журнале визуальных наблюдений. В записи должны быть указаны местоположение деформации, ее характер, размеры и время появления. Рекомендуется производить зарисовку и фотографирование таких мест с приложением их к журналу наблюдений (рис. 2.6). О возникших повреждениях или отклонениях от нормальной работы элементов сооружений надзорщик обязан немедленно докладывать своему руководству.

Основные принципы методики и техники выполнения визуальных наблюдений:

- предварительно для проведения визуальных наблюдений необходимо подготовить для наблюдателя чертеж-карту зоны обследования, на которой должны быть нанесены схема движения (маршрута) наблюдателя и ориентиры

движения (границы сооружений, бермы, пикетажные знаки, марки, пьезометры, дренажные колодцы и т.д.);

- наблюдатель во время обхода наносит условными знаками на чертеж места обнаруженных объектов поиска: трещины, просадки, промоины, очаги фильтрации и др. Размеры объекта поиска измеряют рулеткой и на чертеже делают их привязку к ближайшим ориентирам. На месте обнаружения объекта поиска выставляют сигналы в виде флагка, шеста, штыря, по которым эти объекты могут быть легко обнаружены при повторных осмотрах;

- длину маршрута и схему движения во время проведения наблюдений определяют из условия, что визуально наблюдатель может контролировать по обе стороны от себя полосу обследования шириной от 5 до 10...15 м в зависимости от фона (наличия растительности, материала поверхности – камень, бетон и других факторов). Скорость передвижения от нескольких сотен метров в час до 3...4 км/ч;

- особенность техники проведения визуального осмотра состоит в тщательности осмотров сооружения; систематичности наблюдений во времени; сравнимости результатов, полученных на различных (по времени) стадиях наблюдений и для различных этапов работы сооружения.

Важно во время полевого обследования выявить и зафиксировать места **выхода сосредоточенной фильтрации**, которые могут появляться в виде грифонов, ключей (рис. 2.7 и П2.4) или мокрых пятен на низовом откосе, что наиболее возможно при наличии в теле сооружения хорошо проницаемых путей для фильтрационного потока. Такими путями могут служить поперечные трещины или ходы землеройных животных в теле насыпи или же участки рыхлого, плохо уплотнённого грунта, примыкающего к бетонным сооружениям.

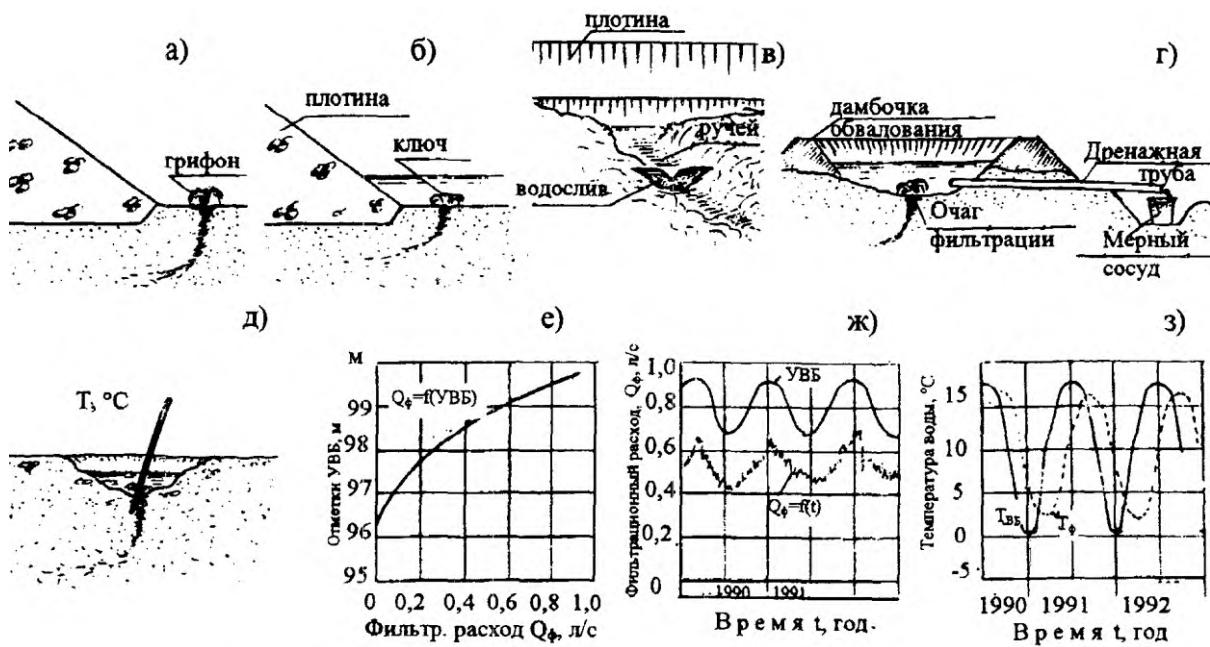
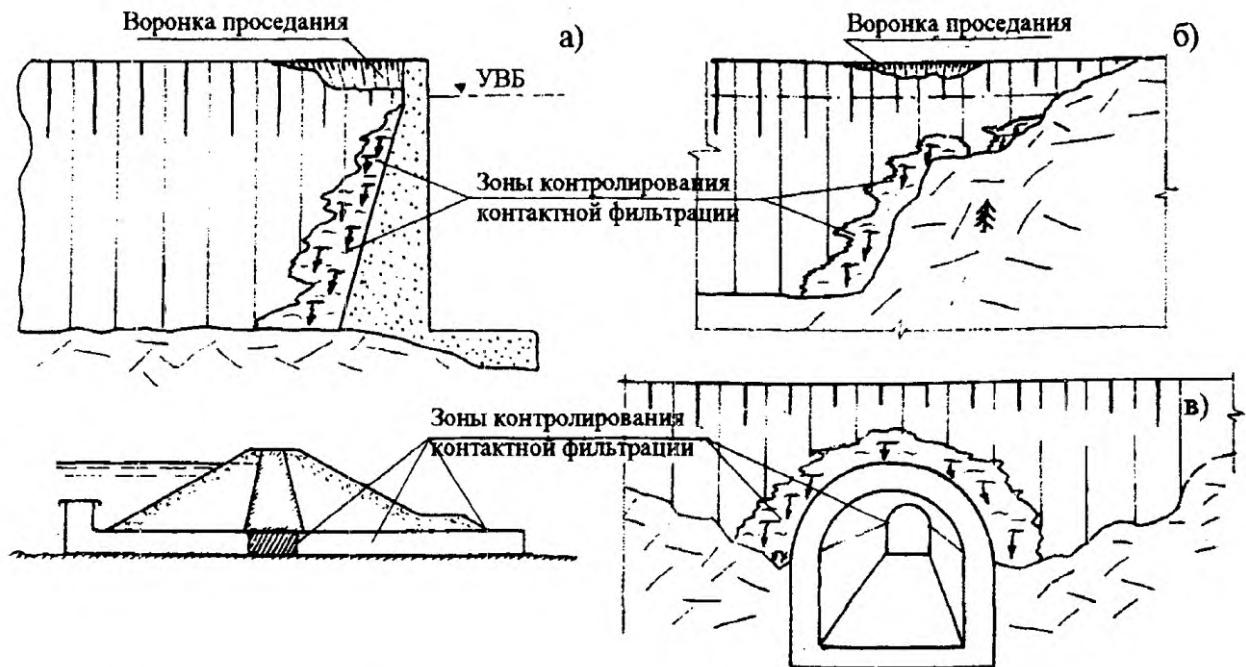


Рис. 2.7. Наблюдения за сосредоточенными очагами фильтрации [54]: а, б – сосредоточенные очаги фильтрации (грифон, ключ, ручей); в – измерение температуры воды; е, жс, з – представление данных наблюдений

Причиной выхода воды на откос может быть также заиление или промерзание дренажных устройств. Поэтому внимательнее надо осматривать полосу низового откоса выше дренажных призм и места примыкания земляных и бетонных сооружений. Особое внимание при этом обращается на зоны контакта грунтовой части земляной плотины, особенно с бетонными элементами (рис. 2.8), где вероятно образование зоны контактной фильтрации.



**Рис. 2.8. Зоны визуального контроля сопряжения плотины с берегами и бетонными сооружениями [54]:** а – сопряжение с устоем; б – сопряжение с крутым берегом; в – сопряжение с туннельным водосбросом

При обследовании земляных сооружений и участков приграничной к ним территории на схемы (рис. 2.6, 2.8) должны быть нанесены все выходы фильтрационных вод. При определении характера внешней фильтрации следует пользоваться общепринятыми понятиями [1, 3, 8, 12, 31, 51, 54] с указанием объёмов и площадей, воронки проседания, заболоченные и оползневые участки, участки с растительностью или облысённые. Следует визуально или с применением простейших приборов определять расходы фильтрации, проверять наличие взвесей в воде, а при необходимости – измерять температуру вытекающей воды, отбирать пробы на химический и массовый (весовой) анализ.

**Очаг фильтрации** фиксируется в журнале наблюдений с указанием даты, характеристики погодных условий в день проведения осмотра, привязки места повышенной фильтрации, размеров и характера фильтрации с описанием, зарисовками и фотографиями. В записях указывается место (номер пикета и расстояние в метрах от пикета и от оси сооружения), характер фильтрации, а также размеры (рис. 2.9). Рекомендуется производить зарисовку и

фотографирование таких мест с приложением их к журналу наблюдений. Для определения скорости фильтрации потока в основании или через тело плотины/дамбы используют различные способы и индикаторы (красители, солевые растворы, радиоактивные вещества и др.). Химический анализ проб воды следует выполнять для заключения о наличии или отсутствии химической суффозии грунта. По мутности пробы воды из очага фильтрации судят о явлении механической суффозии.

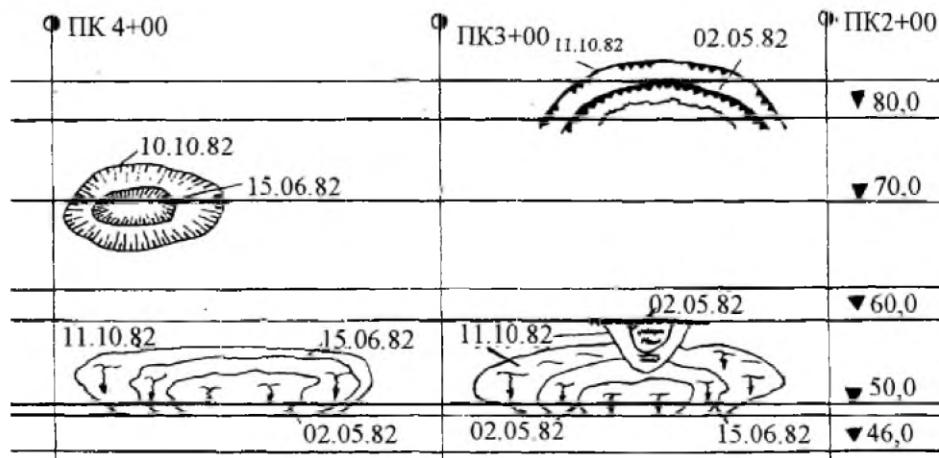


Рис. 2.9. Пример карты-развертки фрагмента плотины (низовой откос с бермами) [54]. Условные обозначения приведены в таблице П2

При наличии ПФУ - противофильтрационных устройств в виде ядра, экрана, диафрагмы и пр. элементов реальную угрозу для грунтового подпорного ГТС представляет повреждение или разрушение встроенной под ними или в теле плотины цементационной потерны. Основными опасными **дефектами потерны** являются: повреждение бетонных стенок и свода (вывалы бетона, трещины, разрушение бетона от перенапряжения и т.п.); выщелачивание некачественного и трещиноватого бетона фильтрующей водой; нарушение герметичности и чрезмерное раскрытие швов между секциями; ступенчатые с образованием уступов вертикальные смещения секций относительно друг друга и др. **Осадки и взаимные смещения секций потерны** контролируются геодезическими способами. При наличии в потерне фильтрации воды через швы, трещины, пористый бетон стенок и свода необходимо: тщательно измерять расходы воды

через каждый шов и их совокупность, а также общий расход по потерне; систематически определять мутность профильтровавшейся через швы, трещины и бетон воды; одновременно с измерениями раскрытия швов и трещин измерять температуру воды на выходе ее из стенок. Для контроля за **раскрытием межсекционных швов потерны** их следует оснастить простейшей КИА (щелемерами либо металлическими анкерами, устанавливаемыми по обе стороны шва в точке измерения). Расстояние между анкерами можно измерять штангенциркулем или миллиметровой линейкой. Параллельно с измерениями раскрытия швов обязательно выполняются единовременные измерения температуры воздуха в потерне в контрольных точках, а при фильтрующих швах – и температура воды на выходе из шва. Результаты систематических наблюдений представляются в виде сводных графиков изменения во времени контролируемых параметров (раскрытие швов, температура воздуха, воды, УВБ) (см. гл.5).

Важно по ряду известных признаков оценить состояние и работу дренажа земляной плотины, вероятность ремонта её дренажной системы (рис. 2.10).

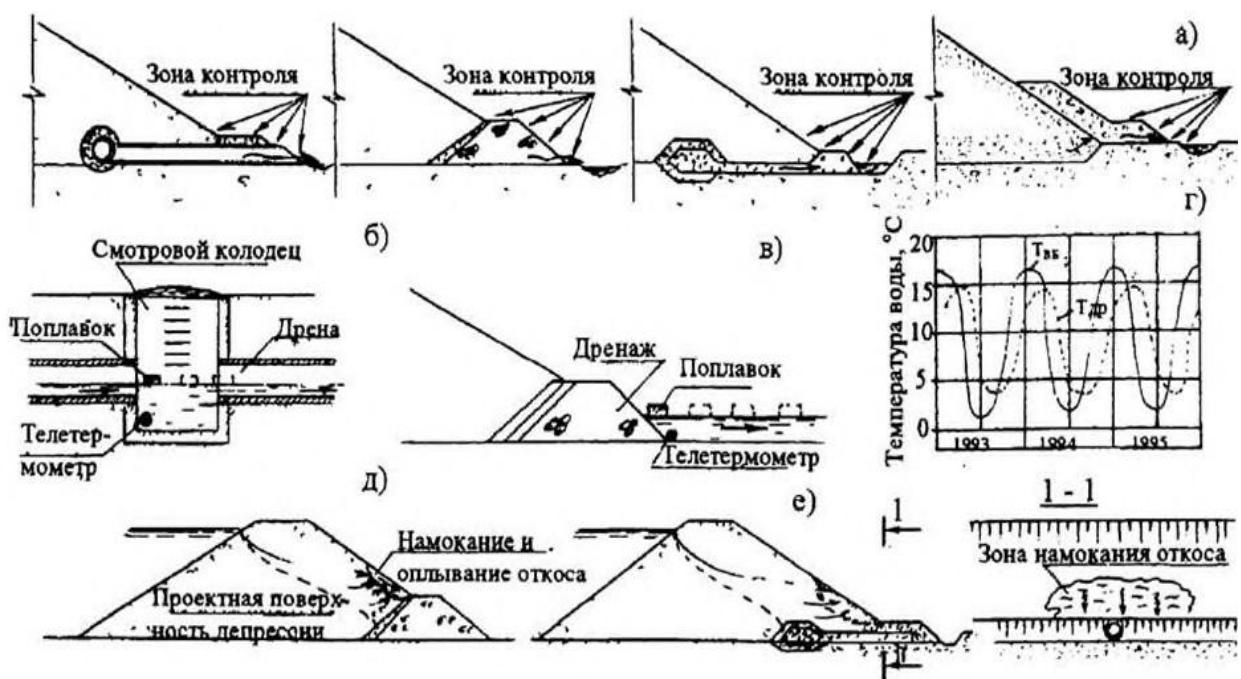


Рис. 2.10. Наблюдения за дренажными устройствами плотины [54]: а - зоны визуального контроля дренажей; б, в - контроль течения воды поплавками; г - температурный контроль работы дренажа; д, е - признаки выхода из работы дренажей

К дренажным устройствам грунтовых плотин относятся: дренажный банкет; дренажная призма (например, низовая призма тела плотины из каменной наброски); трубчатый закрытый дренаж (или грунтовая дренажная лента); наслонный дренаж; комбинированный дренаж (сочетание дренажного банкета с наслонным или внутренним дренажем), а также водосборные и водоотводящие канавы, трубы и т.п.

Если дренаж плотины не подтоплен со стороны нижнего бьефа и доступен для осмотров, то выходы воды из него легко фиксируются осмотром выходных отверстий водовыпусков (например, из трубчатого дренажа) или контактов внешних откосов банкета, наслонной призмы с основанием. Выходы воды из грунтовых дренажей проявляются, как правило, в виде заметных на глаз мелких ручейков и водонасыщенности грунта у подножия низового откоса. Из водовыпусков трубчатого дренажа вода изливается в виде сосредоточенных струй, занимающих полностью или частично выходное сечение трубы. В дренажных канавах поступление профильтровавшейся через плотину и основание воды может прослеживаться в виде высачиваний на откосе, ближнем к плотине.

Засорение дренажа оценивается визуально по отложениям мелкого (часто пылеватого) грунта в трубах-дrenaх, водовыпусках или в пустотах наброски банкета, в порах наслонных призм. Основным признаком выхода из работы дренажа тела плотины являются полное отсутствие или ничтожно малое истечение из него фильтрующейся воды и, как следствие этого, - значительное повышение поверхности депрессии в теле плотины (последнее фиксируется по показаниям пьезометров, расположенных перед дренажем, визуально или обоими способами).

При определении **характера внешней фильтрации** необходимо пользоваться следующими понятиями:

- *мокрые пятна* – слабая фильтрация в виде пятен на сухом грунте;

- *просачивание* – слабая фильтрация в виде отдельных капель, скатывающихся по откосу, или незначительных лужиц на поверхности грунта;
- *протечки* – фильтрация в виде слабых струй воды, выходящих из грунта или лужиц;
- *свищи* – появление сосредоточенной фильтрации в виде отдельных струй, выходящих из тела плотины или на контакте грунтового сооружения с бетонным;
- *грифоны* – тоже, но в виде небольших фонтанчиков смеси несвязного грунта с водой («кипение» грунта), могут наблюдаться за пределами низового откоса, в зоне выхода фильтрационных вод из основания сооружения;
- *ключи* – выходы сосредоточенной фильтрации в виде отдельных струй воды на берегах, откосах, котлованах, в "сухом" русле нижнего бьефа или за низовым откосом плотины на склонах;
- *разжижение грунта* или грунтовых противофильтрационных устройств.

В очаге сосредоточенной фильтрации оценивают выходные градиенты и полученное значение выходного градиента напора сравнивается с допустимым его значением для данного вида грунта, затем оценивается вероятность потери грунтом его фильтрационной прочности [10, 14, 16, 31]. При наличии такой угрозы территория вокруг очага сосредоточенной фильтрации и сам очаг пригружаются слоем дренирующего материала (песчано-гравийным грунтом, гравием, щебнем и т.п.), гранулометрический состав которого и толщина слоя определяются расчетом.

Контрольные наблюдения за очагами сосредоточенной фильтрации должны включать: систематические измерения расхода и температуры воды в очагах, определение мутности воды непосредственно на выходах из очагов, установление связи очагов фильтрации с верхним бьефом. Для измерений расходов воды от очага сосредоточенной фильтрации делается отвод в виде канавки или дренажной трубы, в конце которых устраивается небольшой приямок для размещения

мерного сосуда. Предварительно очаг фильтрации можно обваловать суглинком. При небольших расходах измерение их проводится объемным способом - по времени наполнения сосуда определенной емкости. Если расходы значительные (более 0,5 л/с), то на отводе воды из очага следует установить стандартный мерный водослив треугольного или другого профиля.

При визуальном обследовании важно осмотреть и имеющиеся КИА, пикеты, створные знаки, другие контрольные приспособления и устройства, используемые при наблюдении и исследованиях, определить состояние берегов, оврагов в районе гидроузла. Следует фиксировать повреждения дорог на гребнях плотин, дамб и бечевниках каналов, состояние зелёных насаждений, знаков судоходной обстановки, а также различных искусственных сооружений – труб, лотков, переходных мостиков, сходов, лестниц, деревянных конструкций и состояние металлических деталей и устройств локальных ГТС.

При обнаружении в результате проведения визуальных наблюдений повреждений и отклонений в работе элементов грунтовой плотины/дамбы необходимо провести их сопоставление с утвержденными критериями безопасности, установленными в декларации безопасности ГТС и действующих нормативных документах. При необходимости для более детального изучения характеристик ГТС и его технического состояния проводятся инструментальные наблюдения.

В дополнение к представленному выше перечню визуальных наблюдений и обследований земляной плотины в их состав могут быть включены также общие наблюдения за состоянием гидромеханического оборудования водопропускных сооружений (затворы, краны, лебедки и т.п.) и негрунтовых конструкций (подпорные стенки, устои, бычки и др.), расположенных в плотине, повреждения которых могут прямым образом отразиться на ее надежности.

Систематические визуальные обследования, как правило, дополняются *предпаводковыми и послепаводковыми обследованиями* сооружений [2, 8, 19, 32,

45, 54, 55], а также внеочередными обследованиями, выполняемыми после землетрясений, ураганов, штормов и других экстремальных событий, включая повреждения и отказы.

При организации систематических визуальных наблюдений и обследований грунтовых плотин и дамб необходимо подготавливать технический персонал наблюдателей, с которым первоначально проводится ознакомление с техническим проектом ГТС, технологией его строительства, показателями качества выполнения строительных работ, выявленными дефектами в строительный период, а затем при приемке сооружения в эксплуатацию, - с особенностями работы сооружений в натурных условиях. Желательно визуальные наблюдения и обследования любых ГТС проводить специалистами-гидротехниками, способными оценить степень опасности для сооружения того или иного отмеченного явления, процесса или повреждения. Анализ визуальных наблюдений и обследований напорного ГТС должен проводиться квалифицированным персоналом из числа инженеров-гидротехников.

Для проведения визуальных натурных наблюдений и обследований плотины подразделение наблюдателей обеспечивается техническим инвентарем, приборами и оргтехникой: нивелир с набором геодезических реек или лазерный тахеометр; фото- и видеотехника; рулетка; отвес строительный; линейка масштабная; секундомер; мерные сосуды 1, 3. 5, 10 литров; колбы химические 1-3 л; электрическая плитка; аналитические весы; термометры ртутные  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ ; готовальня чертежная; калькулятор; электрический фонарь; топор туристический; щуп стальной; лопата штыковая; ломик строительный; канцелярские товары (бумага, карандаши, резинки и т.п.); лыжи охотничьи; бинокль полевой и др.

Сравнение результатов начального и последующих циклов визуальных наблюдений за тем или иным дефектом, явлением или процессом должно производиться регулярно путем сопоставления численных значений или качественных показателей контролируемых параметров, а также методом наложения чертежей, рисунков, схем, фотографий, полученных для одного и того

же объекта при различных циклах, но в идентичных условиях съемки и масштабности. Выявленные и зарегистрированные повреждения или неблагоприятные явления на сооружении детально обследуются в целях установления причин их возникновения. В местах наиболее крупных повреждений или неблагоприятных явлений (трещины, просадки, грифоны, суффозия и т.п.) при необходимости устанавливается контрольно-измерительная аппаратура для наблюдений за их развитием и оценки влияния на надежность сооружения.

Внеочередные обследования ГТС проводятся после неординарных и чрезвычайных событий природного и техногенного характера, способных повредить или заметно изменить их работу и состояние: землетрясения, ураганы, сильные штормы и ливни, интенсивные паводки, небывало сильные морозы, мощные производственные или военные взрывы вблизи сооружения, оползание больших объемов грунта в водохранилище или в зоне промплощадки и пр.

Обследование ГТС рекомендуется проводить оперативно (сразу после ЧС) и с привлечением специалистов-гидротехников. Осмотры должны быть выполнены по полной программе визуальных наблюдений, а их результаты подвергнуты анализу совместно с данными контрольных инструментальных наблюдений, проводимых одновременно. По результатам внеочередного обследования сооружения комиссией из специалистов-гидротехников составляется соответствующий акт, в котором должны быть отражены все замеченные изменения в его работе и обнаруженные вновь дефекты или повреждения.

Для каждого объекта должен быть получен ряд наблюдаемых качественных показателей или количественных параметров путем многократных его освидетельствований во времени. Для последующей сравнимости данных, составляющих ряд наблюдений, они должны быть получены с соблюдением в каждом цикле наблюдений идентичного подхода в осмотрах, измерениях, изображениях на схеме или фотографии, в описании процесса и т.п. Полученные ряды наблюденных тех или иных показателей или параметров представляются в

виде таблиц, графиков, масштабных схем или фотографий, последовательных описаний одних и тех же качественных признаков процесса или явления, отображающих все изменения и развитие во времени наблюдаемых повреждений или дефектов сооружения. При анализе данных наблюдений необходимо выявление первопричин, имеющихся в ГТС повреждений, дефектов или процессов.

### **2.3. Инструментальные наблюдения**

В состав инструментальных наблюдений при помощи контрольно-измерительной аппаратуры (**КИА**) за грунтовыми плотинами входят в основном наблюдения за:

- деформациями тела плотины: вертикальными и горизонтальными;
- фильтрационным режимом грунтовой плотины.

В плотинах из грунтовых материалов в период строительства и эксплуатации происходит ряд процессов, влияющих на работу ГТС, в частности деформации сооружения, от характера которых во многом зависит надежность работы противофильтрационных конструкций. Для оценки этой работы необходимо определять осадки и послойное сжатие плотин. Систематические наблюдения за осадками и послойным сжатием в период эксплуатации помогают обнаружить развитие суффозионных процессов, т.к. на участках с суффозионными процессами осадка больше, чем в других местах. В последнее время большое внимание уделяют горизонтальным смещениям как поверхности плотины, так и ее ядра из грунтовых материалов. Горизонтальные смещения в сочетании с осадками позволяют получить сведения о напряженном состоянии плотины и тем самым о взаимодействии образующих плотину элементов - ядра, переходных зон, призм. Осадки плотин зависят от способа и сроков укладки грунта, высоты плотины, характера материала и достигают 1...2 м. В строительный период относительные осадки (в % от высоты плотины) составляют 1...2% высоты плотины. В эксплуатационный период осадки затухают и прекращаются, причем

этот процесс длится 5...10 лет и более. В среднем осадки в эксплуатационный период составляют 0,5...0,6%, но на ряде плотин достигают 1%.

### 2.3.1. Наблюдения за перемещениями

Инструментальные наблюдения за вертикальными деформациями грунтовых плотин и дамб заключаются в периодически повторяющихся нивелировках высотных марок и исходных реперов в соответствии с декларацией безопасности. Государственная нивелирная сеть России разделяется на нивелирные сети I, II, III и IV классов. Определение высот точек на поверхности производится в Балтийской системе высот от нуля Кронштадтского футштока, горизонтальной черты на медной пластине футштока. Конструкция и размещение реперов и марок – геодезических знаков плановой и высотной сети предусматриваются проектной документацией. Периодичность и общая продолжительность проведения наблюдений за деформациями тела плотины зависит от местных условий, величины и скорости их затухания. При составлении технического проекта земляной плотины/дамбы должно быть предусмотрено как минимум оборудование её *реперами*, установка которых обязательна и *пьезометрами*, установка которых не является обязательной для ГТС низкого класса ответственности. Конструкции КИА приведены в главе 5.

Организация наблюдений за деформациями сооружений выполняется по **геодезическим знакам**. По назначению знаки разделяют на опорные, деформационные и вспомогательные, а также на плановые, высотные и планово-высотные. Высотная сеть гидроузла состоит из **исходных и рабочих реперов** (рис. 2.11). Реперы предназначаются для измерения общей вертикальной осадки плотины и устанавливаются на гребне плотины у бровки низового откоса. Исходные (фундаментальные) реперы располагаются за пределами зоны возможной осадки пород после наполнения водохранилища. Эта зона в нижнем бьефе может простираться на 1...2 км, поэтому исходные реперы закладывают на 1,5...3 км выше створа вблизи берегов в соответствии с топографией местности.

Выбор реперов зависит от точности измерений и грунтовых условий. Используются конструкции следующих типов:

- для I класса точности измерений – *глубинные* реперы, основания которых закладываются в скальные, полускальные или другие плотные грунты;
- для II – IV классов точности измерений – *грунтовые* реперы, основания которых закладываются ниже глубины сезонного промерзания или перемещения грунта; стенные реперы, устанавливаемые на несущих конструкциях зданий и сооружений, осадка фундаментов которых практически стабилизировалась.
- При проведении геодезических измерений следует контролировать устойчивость исходных реперов для каждого цикла наблюдений.

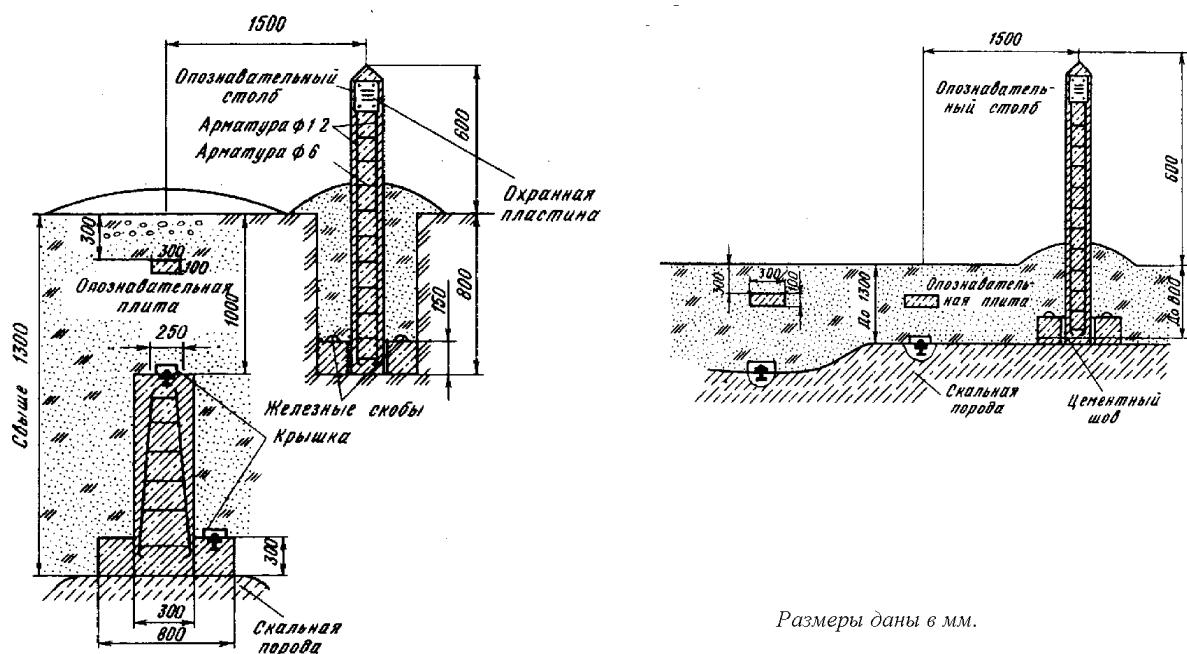


Рис. 2.11. Фундаментальные реперы для скальных грунтов [17]: а – тип 164 оп. знак; б – тип 114 оп. знак

Для большего контроля прокладывают нивелирный ход до 3...5 км по реперам, закладываемым через 0,5...1 км. Расстояние между реперами по длине плотины выбирается, исходя из размеров плотины (её высоты и длины), геологических условий её основания и т.д., и колеблется от 10 до 100 м. Кроме

того, желательна закладка реперов в ряде характерных поперечных сечениях плотины. Устойчивость исходных реперов контролируют двумя путями: созданием вблизи исходного репера двух реперов-спутников, в результате чего создается куст реперов; измерением превышений между кустами реперов (рис. 2.12). В кусте реперы 1-3, как правило, одинаковой конструкции, располагают в 30...50 м друг от друга в вершинах треугольника, чтобы все превышения можно было получить с одной стоянки нивелира (рис.2.12 $a$ ), оборудуемой постоянным знаком в виде бетонной тумбы или трубчатого типа. В горных районах это условие не всегда выполнимо, то реперы 1-3 в кусте закладывают вдоль берега (рис.2.12 $b$ ) на расстоянии 40...50 м друг от друга. В этом случае каждое превышение измеряют с отдельной станции по методике нивелирования I разряда.

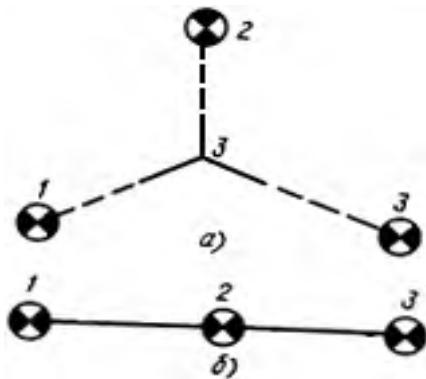
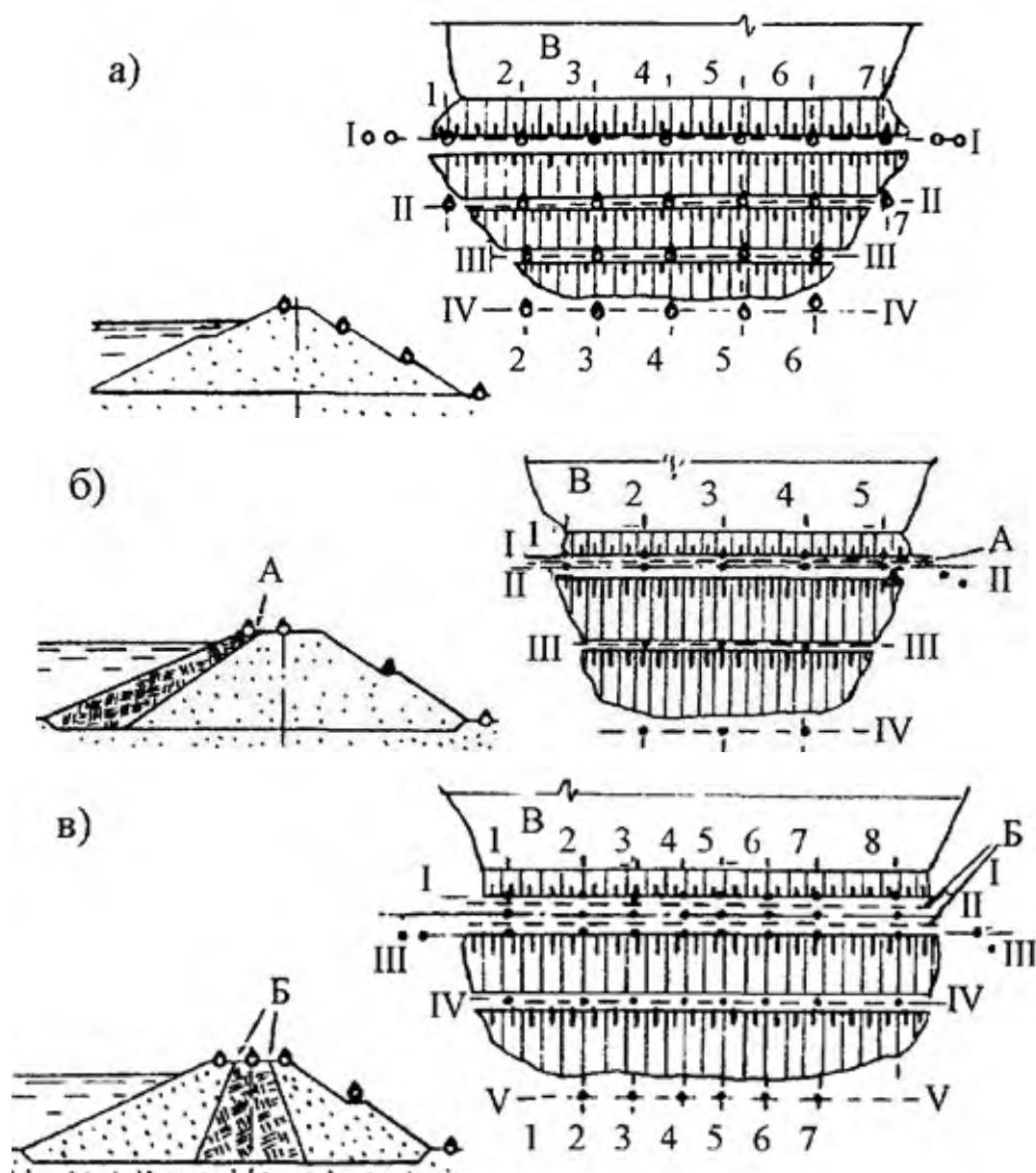


Рис.2.12. Схема расположения реперов в кусте: а – в вершинах треугольника; б – продольное, линейное

В зависимости от конструкции плотины, геологии основания и других факторов число и расположение реперов могут быть изменены. Между рабочими реперами по замкнутому ходу производятся измерения осадок сети высотных **марок**, установленных на грунтовых плотинах и дамбах нивелированием III-IV класса [17]. Потерны и галереи, расположенные в грунтовых плотинах, оснащают **поверхностными, боковыми и глубинными марками** для определения общей и послойной осадки основания и тела плотины. Боковые (стеновые) марки размещают по концам секций (у швов), глубинные - с пола потерны в точках, совпадающих с местоположением поперечных измерительных створов на

плотине. *Поверхностные марки*, установленные в поперечных наблюдательных створах, позволяют контролировать осадки гребня, откосов и основания плотины, территории у основания плотины со стороны нижнего бьефа на характерных и ответственных участках сооружения, в том числе: на русловом участке через 20...50 м, где плотина имеет наибольшую высоту и наибольшие ожидаемые осадки (рис. 2.13). *Поверхностные марки*, используемые для контроля деформаций плотины, основания и прилегающей территории, размещают преимущественно в продольных и поперечных створах, расположенных параллельно и перпендикулярно к оси сооружения.



### Рис. 2.13. Схема расположения створов марок на грунтовых плотинах

[43, 45]: I-I - V-V - продольные створы марок, 1-1 - 8-8 - поперечные створы марок; •♦ - марки поверхностные, A - граница экрана; B - границы ядра, B - водохранилище; а - однородная плотина, б - плотина с экраном (водоупорной верховой призмой); в - плотина с ядром

Количество продольных створов и марок в каждом створе зависит от конструкции плотины, ее размеров и геологического строения основания и должно составлять:

- в однородных плотинах - не менее одного створа, расположенного вдоль верховой, низовой бровок, либо вдоль оси гребня (рис. 2.13а);
- в плотинах с грунтовыми экранами или водоупорными верховыми призмами - не менее двух продольных створов, располагаемых на гребне вдоль бровок верхового и низового откосов (рис. 2.13б);
- в плотинах с центральным ядром или диафрагмой из суглинка или асфальтобетона - не менее трех продольных створов, контролирующих осадки находящихся во взаимодействии (вплоть до аварийно-опасного напряженно-деформированного состояния) верховой и низовой призмы и противофильтрационного элемента и расположенных вдоль верховой и низовой бровок гребня и по гребню ядра или диафрагмы (рис. 2.13в).

Количество створов наблюдения с марками может быть увеличено на 50...100 м (рис. 2.14) в следующих случаях: на участках залегания в основании плотины прослоек сильно деформируемых или резко отличающихся по строению грунтов количество створов наблюдения с марками увеличивается; в местах резкого изменения высоты плотины над изломами поверхности основания; в сопряжениях плотины с встроенным или проложенным под ней бетонными сооружениями (устоями, туннелями, трубами и т.п.); над зонами тектонических разломов и крупных трещин в основании; на границах участков плотины, выполненных из разных материалов, а в условиях Севера также на границах сопряжения участков руслового талика с мерзлыми береговыми массивами; на береговых и пойменных

участках плотины постоянного профиля, расположенных на пологих берегах, сложенных однородными качественными грунтами, через каждые 50...100 м по длине сооружения; над ослабленными зонами тела плотины, образовавшимися при строительстве (некачественный грунт с льдонасыщенными включениями и т.п.) или над выявленными расчетами и наблюдениями зонами возможного трещинообразования, химической суффозии и др.; в местах поворотов плотины под углом более  $15^{\circ}$ . На протяженных (в несколько километров) плотинах расстояние между поперечными наблюдательными створами может достигать 150...200 м.

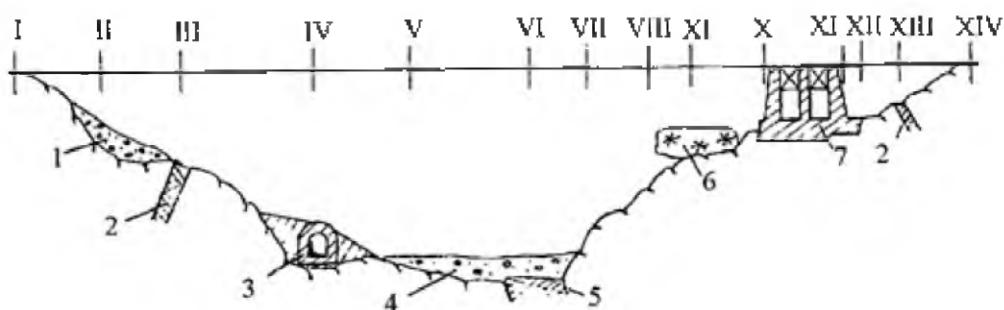
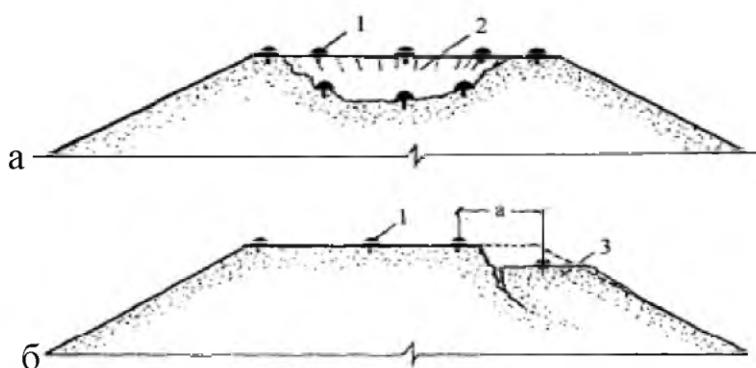


Рис. 2.14. Схема размещения поперечных наблюдательных створов марок [45]: II - XIII - створы марок; 1 - водопроницаемый слой; 2 - тектоническая трещина; 3 - временный водосброс; 4 - аллювий; 5 - тектонический разлом; 6 - зона промерзания; 7 - водосброс

Когда в результате нивелирования обнаруживаются резкие расхождения в отметках **марок (реперов)** по сравнению с предыдущей нивелировкой, необходимо произвести *контрольную нивелировку* и лишь после установления достоверности отметок заносить их в журнал наблюдений (рис. 2.14).





**Рис. 2.14. Схема размещения временных высотных марок для контроля просадки(а), оползня (б) и трещины (в):** 1 – поверхностная марка; 2 – воронка проседания; 3 – массив оползня; 4 - трещина

На основании данных журнала наблюдений составляются сводные ведомости осадок. По материалам наблюдений строятся графики интенсивности осадок сооружения по продольным и поперечным створам, где на горизонтальной оси откладывают время наблюдений (1 см – 1 мес.), а на вертикальной – осадки марок (мм). На основании данных инструментальных наблюдений за состоянием грунтового ГТС производится анализ вертикальных деформаций сооружений в целом и отдельных их элементов. Наблюдения за осадкой на напорных земляных сооружениях должны производиться в первый год эксплуатации два раза в месяц, в дальнейшем – один раз в квартал. Календарные сроки наблюдений за осадками должны устанавливаться индивидуально для каждого грунтового ГТС в зависимости от местных условий.

Для выполнения инструментальных измерений, в том числе и горизонтальных деформаций ГТС должно быть оснащено **плановыми знаками**, составляющими сеть: **опорные знаки**, закладываемые вблизи объекта, относительно которых определяют смещения сооружений или его частей; **контрольные знаки**, которые закладываются в ГТС и, перемещаясь вместе с ним, характеризуют горизонтальные смещения; **исходные знаки**, закладываемые за пределами возможных деформаций пород, относительно которых определяют смещения опорных и контрольных пунктов..

Для измерения **абсолютных плановых смещений плотины** (за плановыми перемещениями гребня или берм плотин) используются в зависимости от типа

сооружения и топографии створа различные геодезические методы: *триангуляция, полигонометрическая съемка, створный, параллельных створов, вытянутых треугольников, трилатерационный и др. комбинированные методы.* Триангуляция и полигонометрия относятся к наиболее сложным геодезическим методам, створный метод является самым простым и распространенным. Триангуляция, как правило, применяется в сочетании с другими методами, в частности, створным.

Для измерений на сооружении устанавливается **визирный створ**, закрепленный на концах опорными пунктами, которые должны быть неподвижны. Если это невозможно, то опорные пункты должны быть включены в триангуляционные сети. Между опорными пунктами по створу и устанавливаются контрольные знаки.

Высотные и планово-высотные поверхностные марки размещают в точках пересечения продольных и поперечных измерительных створов, когда общее количество марок соответствует количеству точек пересечения створов. Каждая марка в указанных точках служит одновременно для измерений осадок в продольном и поперечном направлениях, а также для измерений горизонтальных смещений плотины (рис. 2.15а). **Глубинные марки** для определения послойных осадок устанавливают в массиве тела плотины и основании в поперечных створах, причем их плановые координаты не всегда совпадают с расположением поверхностных марок. Вертикальные смотровые шахты в теле плотин оснащают марками, устанавливаемыми на днище и у торцов соседних звеньев (рис. 2.15б).

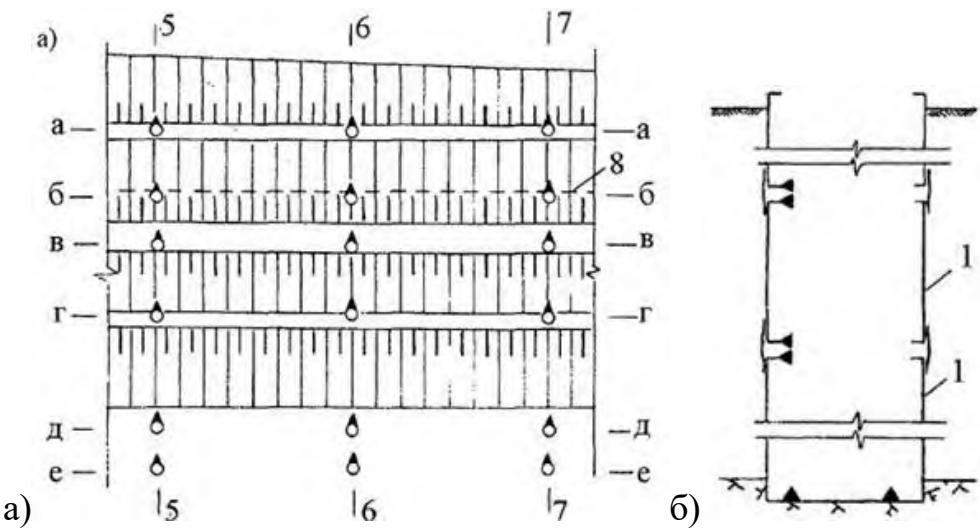
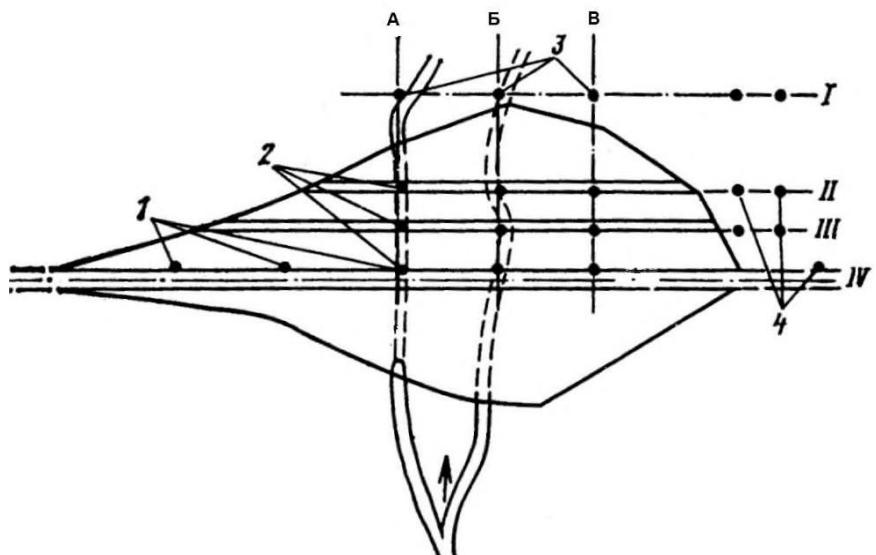


Рис. 2.15. Схема размещения марок в грунтовых плотинах [45]: а) - на поверхности и у подошвы участка плотины; б) - в смотровой шахте; *a-a*, ..., *e-e*, 5-5, 6-6, 7-7 - продольные и поперечные створы с марками; - марка поверхностная, *I* - звено шахты; - марка в смотровой шахте; 8 - положение УВБ

Помещая измерительный инструмент (теодолит, алиниометр) на одном из опорных пунктов и неподвижную марку на другом, измеряют смещения линии створа. Помимо измерений горизонтальных смещений контрольных пунктов оптическим способом с использованием теодолитов или алиниометров и визирных марок, также применяются светодальномеры, для использования которых при определении смещений грунтовой плотины в нижнем бьефе (0,4...0,7 км от плотины) закладывают опорные знаки и с них измеряют расстояния до специальных марок с отражателями, заложенных в плотине (см. главу 5).

Для эксплуатационных целей высотные марки располагают строго по продольным или поперечным осям: продольные – по гребню, бермам и у подошвы низового откоса, поперечные – на расстоянии 100...250 м в пойменной части и 50...100 м в русской, в местах поворотов плотин, если угол поворота больше 15°. Кроме того, их устраивают за низовым откосом для определения выпора грунта. Обычно марки продольных створов по расположению совпадают с поперечными. Глубинные марки размещают в тех же створах на расстоянии 1...1,5 м от поверхностных. Их располагают также через 20...30 м по высоте в

местах излома очертания профиля тела плотины, на границах изменения конструкции и в местах с различным геологическим строением. Обычно на поперечнике устанавливают несколько марок (не менее трех) примерно через 20...30 м по высоте. На верховом откосе марки размещают на участке от гребня до НПУ и на 1...2 м выше УМО (рис. 2.16).



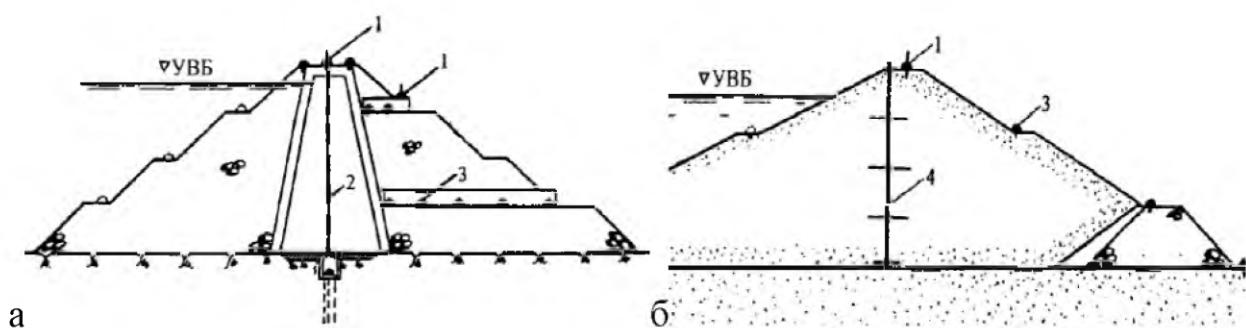
**Рис. 2.16. Схемы размещения марок и створных знаков на грунтовой плотине [17]:** 1 и 2 – для определения продольной и поперечной осадки; 3 – для фиксирования появления выпора; 4 – створные знаки; I...IV – продольные створы; А, Б, В – поперечные створы

Наблюдения за осадками и другими деформациями, выполняемые геодезическими методами, проводятся инженером-геодезистом высокой квалификации. Для получения удовлетворительных по точности результатов измерений рекомендуется, чтобы во всех циклах, по возможности, они выполнялись одной организацией, одним и тем же специалистом, одними и теми же инструментами, в одни и те же календарные сроки (квартал, месяц, число), при одинаковых отметках УВБ и УНБ и при благоприятной погоде. Для измерений следует использовать современные приборы и инструменты, отвечающие требованиям заданной точности измерений и прошедшие очередную поверку. Перед наблюдениями осадочные марки, плановые знаки и другая закладная КИА должны быть освобождены от завалов, очищены от грязи, обновлена их маркировка, устраниены неисправности, проверены отметки и показания с

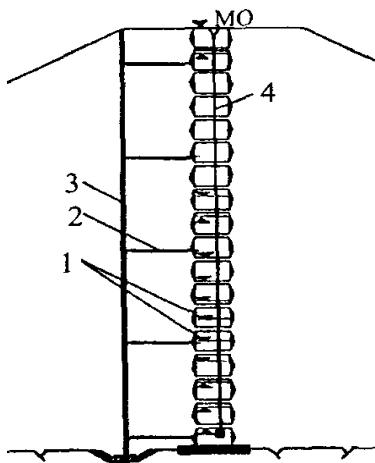
соответствующей записью в журнале. Подходы к геодезическим знакам и закладной КИА, галереям, бермам и т.д. должны быть расчищены и приведены в безопасное состояние. Продолжительность работ в каждом цикле наблюдений должна быть минимальной (1...2 суток), особенно в строительный период, когда осадка проходит интенсивно.

При обнаружении на плотине, у подошвы низового откоса, откосах береговых примыканий или бортов водохранилища, просадок, оползней, трещин отрыва и других аномальных деформаций в местах их проявления следует оперативно установить временные марки, организовать более частые систематические наблюдения вплоть до проведения ежесуточных измерений. Прекращение этих наблюдений возможно только после выяснения причин деформаций, их устранения и установления, что процесс стабилизировался.

Контроль за деформацией земной поверхности в районе створа грунтовых плотин высокого класса и напора при их строительстве или наполнении водохранилища (когда оценивается вероятность образования воронки оседания почвы) выполняется по реперам и маркам, установленным на берегах ВО вниз по течению реки и в 1...2-х точках у каждого берега на 5...10 км вглубь горных массивов в направлениях, перпендикулярных берегам водохранилища (рис. 2.17, 2.18).



**Рис. 2.17. Принципиальные схемы размещения геодезических марок на грунтовых плотинах:** а- каменно-набросная плотина с ядром; б- однородная плотина; 1 – планово-высотная марка; 2 – система деформометров (типа ПЛПС-320); 3 – поверхностная марка; 4 – глубинная многоярусная марка



**Рис. 2.18. Размещение высотных марок, прогибомеров и отвеса в смотровой шахте плотины с диафрагмой:** 1 – стеновые высотные марки на кольцах шахты; 2 – прогибомер; 3 – диафрагма плотины; 4 – отвес прямой

В створах с потенциально неустойчивыми грунтовыми массивами и для наблюдения за деформациями оползневых участков используют створные, плановые и высотные геодезические знаки, расположение которых предварительно устанавливается визуальными наблюдениями и исследованиями. Рабочие реперы и опорные пункты должны находиться за контуром оползня или потенциально неустойчивого массива. Створ назначают перпендикулярным направлению движения оползня, а марки устанавливают в характерных и доступных для наблюдения точках оползня или потенциально неустойчивого массива. Осадки марок определяют с помощью геометрического и тригонометрического нивелирования. Если есть вероятность тектонических подвижек или вблизи гидроузла есть разломы скального основания, то контроль за возможными перемещениями ведётся по плановым и высотным знакам, расположенным в характерных поперечниках, оснащённых для этого 4 и более марками (не менее 2 на каждой стенке разлома). Смещения марок и прочих знаков определяют створными и линейными измерениями. Также для полевых наблюдений могут быть использованы светодальномеры, лазерные дальномеры, а в качестве закладной КИА - деформометры, гидростатические уровни и другие приборы.

### 2.3.2. Наблюдения за фильтрацией в грунтовых плотинах и дамбах

Контроль за **фильтрационным режимом** в теле грунтовых сооружений, в основании и береговых примыканиях всех ГТС осуществляется при помощи **пьезометров** (уровень грунтовых вод) (смотри п.5.2 и рис. 2.19 и 2.20) и **расходомеров** разнообразных видов (мерные водосливы, дифманометры, вертушки и т.д.), устанавливаемых на дренажных устройствах и в местах выхода фильтрационных вод.

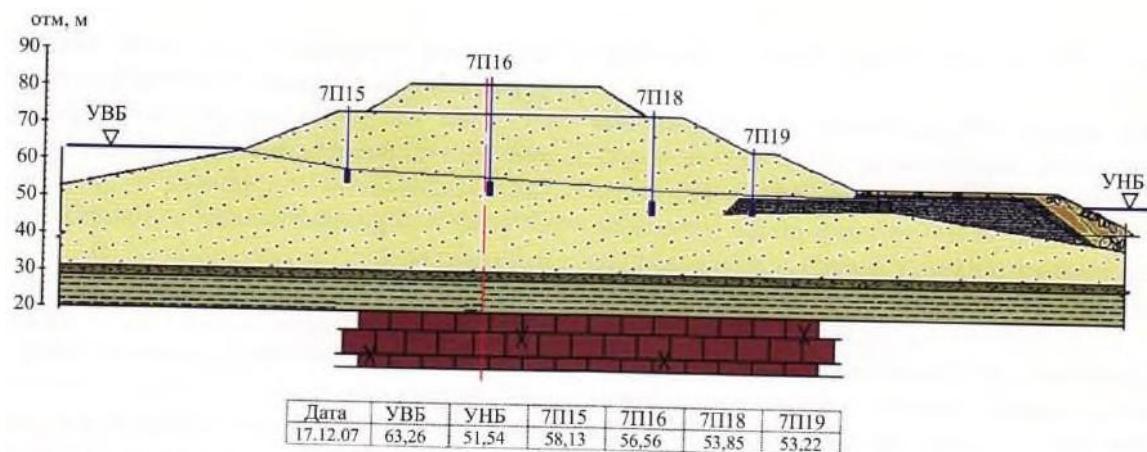


Рис. 2.19. Установка пьезометров для определения положения кривой депрессии в створе 5 земляной плотины Чебоксарской ГЭС

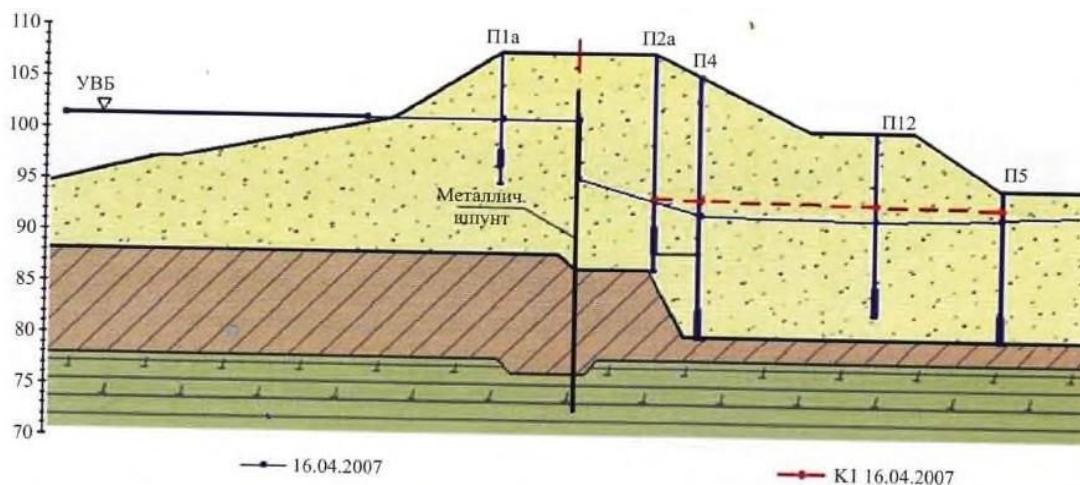


Рис. 2.20. Определение положения депрессионной кривой дамбы 41 Рыбинской ГЭС в створе 1 при помощи пьезометров

Кроме пьезометров, располагаемых в глухой части плотины, желательно, если в теле плотины устраивается водопропускное сооружение, заложить пьезометры вдоль соприкасающегося с плотиной контура этого сооружения. Размещение этих пьезометров должно быть таково, чтобы мог быть выявлен характер депрессионной кривой при фильтрации в обход водопропускного сооружения. На плотинах или дамбах пьезометрические створы располагают на расстоянии 100...150 м в русловой части и 150...250 м в пойме. В теле ГТС и в береговых примыканиях размещают не менее трех створов. В каждом створе должно быть не менее трех пьезометров и минимум 1 в нижнем бьефе ГТС.

Различают пьезометры разных типов: по **способу установки** (*закладные* - устанавливаются во время строительства гидротехнического сооружения; *опускные* - применяются в строящихся и построенных ГТС); по **местоположению водоприемника** измерительного средства (*поверхностные*; *глубинные*; *точечные*); по **местоположению устья** датчика (*безнапорные*; *напорные*). Следует отметить, что *пьезометрия* широко используется в автоматизированных системах контроля безопасности ГТС, особенно промышленной гидротехнике где является базовой методологией производственного измерения гидростатического или гидродинамического давления жидкостей и деформации твердых тел (см. гл.4 и 5). С помощью датчиков пьезометров разных типов в структуре автоматизированных систем геотехнического мониторинга ГТС решаются такие важнейшие контрольные задачи, как определение: фильтрационного давления на основания бетонных ГТС (плотины, дамбы), фильтрационные деформации конструкции и оснований; пьезометрических напоров и гидравлический режим ГТС, их оснований и береговых примыканий; напряжений в материалах ГТС, в точках мониторинга различных зон внутри сооружений (в том числе поровое давление); уровней и температурных параметров грунтовых вод, позволяющих оценивать изменения плотности и водопроницаемости грунтов ГТС в процессе длительной эксплуатации и влияния этих процессов на надежность их оснований;

вертикальных и горизонтальных смещений ГТС, осадки, взаимные смещения их элементов и оснований; зон, величин и размеров деформаций элементов ГТС, протяженности и раскрытия трещин.

Мониторинг пьезометрических напоров и противодавления выполняется в теле и основании грунтовых плотин с использованием: **пьезометров опускных; пьезометров закладных; преобразователей давления (пьезодинамометров)**. Мониторинг расходов фильтрационной воды в дренажных устройствах (скважинах, лотках и пр.) и в местах выхода фильтрационных вод выполняется с применением: **мерных водосливов; расходомеров; объемометрических измерений; гидрометрических вертушек**.

## 2.4. Подводный осмотр сооружений

Для выполнения работ, связанных с инструментальным контролем, количественными измерениями и отбором проб, обычно требуется привлечение водолазов и соответствующего оборудования. **Подводное техническое обследование (ПТО)** подводных частей ГТС производится эксплуатирующими организациями с привлечением специализированных предприятий, обладающих необходимым оборудованием, квалифицированным персоналом и имеющих соответствующие разрешительные документы для выполнения данного вида работ. Водолаз, производящий обследование, должен хорошо знать конструкцию и условия работы сооружения, чётко представлять намеченный маршрут осмотра. В зависимости от условий работы ГТС при выборе методов подводного обследования, измерительной аппаратуры, технического оснащения и квалификации специалистов учитываются следующие факторы: положение ГТС (или его элементов) относительно уровня воды; наличие и скорость течения; видимость под водой в зоне обследования; агрессивность водной среды; ледовые условия; температура водной среды; глубина водоема; удаленность объекта от берега (доступность).

Работы по обследованию начинаются с разработки программы обследования и согласования ее с заказчиком. Обследование подводной части ГТС проводится с соблюдением требований безопасности труда следующими методами:

- **визуальным методом** - **водолазное обследование** (водолаз с использованием фото- и видеосъемки) производится для выявления: поверхностной коррозии, обрастаания конструкций, трещин, и других видов разрушений бетонных конструкций, размывов грунтовых оснований, оползневых явлений на откосах, накоплений иловых отложений и посторонних предметов на дне сооружений; при отсутствии прямого безопасного доступа водолаза к обследуемому объекту, когда следует применять робототехнику - телекомандные управляемые подводные аппараты (ТПА), а также элементов участков подводных поверхностей сооружений, которые по своим конструктивным особенностям и расположению недоступны для обследования гидроакустическими средствами; при необходимости проведения дополнительного обследования участков, на которых в ходе обследования гидроакустическим методом были обнаружены деформации или неясные предметы, влияющие на оценку состояния ГТС;

- **приборно-инструментальным методом** (обследование дна и откосов гидролокатором) производится контроль поверхности дна, определение месторасположения посторонних предметов на дне; при общем удовлетворительном состоянии конструкций производится исследование прочности бетонных элементов ГТС выборочно (не менее чем у 10 % конструкций) неразрушающими методами контроля обычно с использованием ультразвуковых и ударно-импульсных приборов;

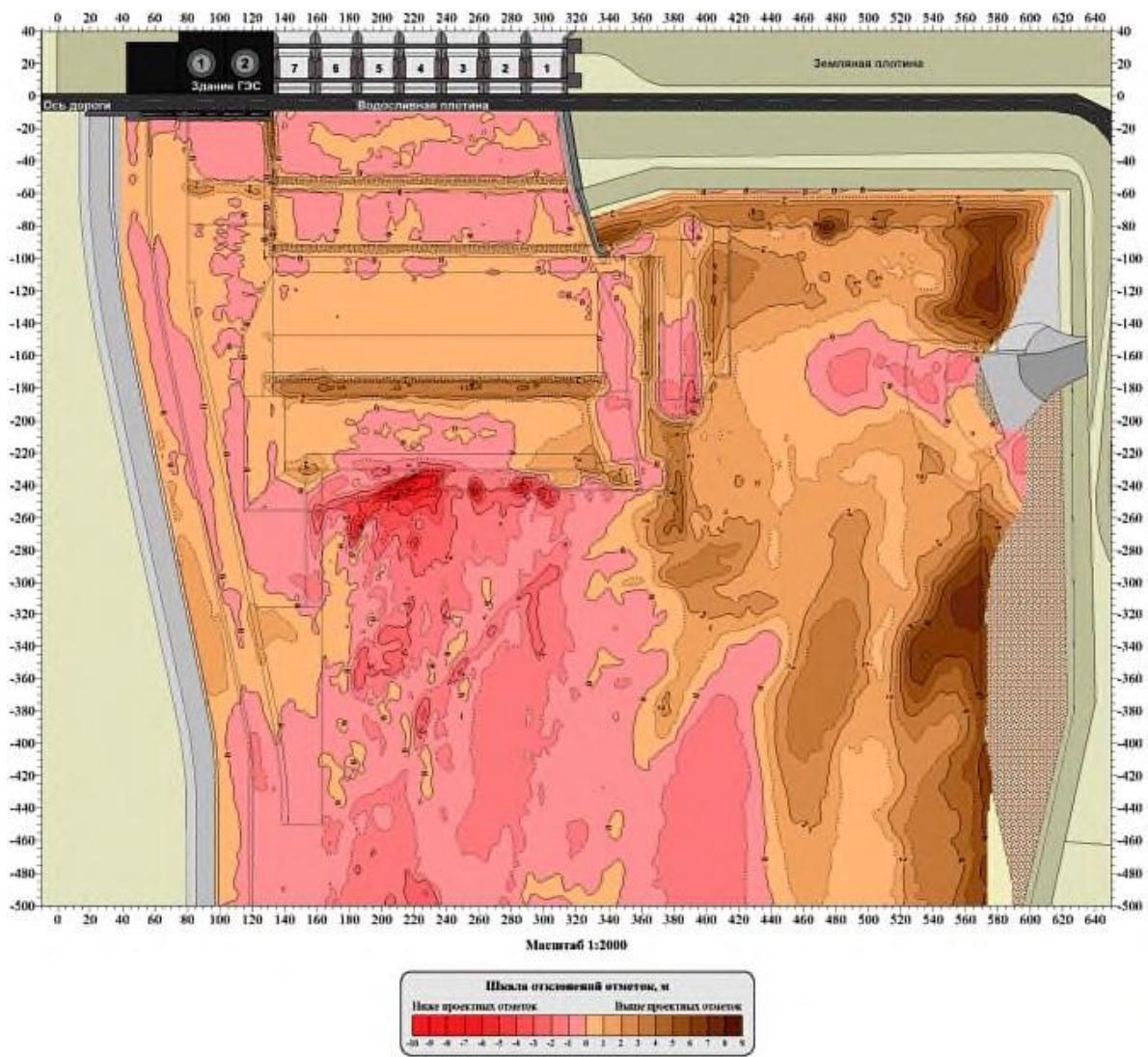
- **путем лабораторных исследований отобранных проб** (отбор проб может быть осуществлен водолазом, либо ПА, оснащенным специальным

манипулятором-пробоотборником или специальным буровым устройством для керноотбора).

Во время ПТО определяется толщина иловых отложений, состояние бетонных частей и металлических конструкций для мониторинга и планирования. При этом применяется специализированный инструмент для измерения прочности бетона, толщины металлических изделий и др., входящих в состав грунтовых ГТС. Инstrumentальная база, используемая для обследования технического состояния подводных ГТС, должна быть **откалибрована** в соответствии с нормативными требованиями к метрологическому обеспечению измерений в РФ.

**Состав работ** при подводных обследованиях разных ГТС определяется степенью их ответственности, конструктивными особенностями, условиями работы и состоянием. Ориентировочный **перечень работ** по обследованию подводных частей **грунтовых ГТС**: характер поверхности (плоский, волнистый, наличие травяного покрова); локальные ямы, просадки, промоины, размывы; выпор грунта; отложение наносов; трещины в грунте хаотического расположения; трещины в грунте с четкой направленностью; заметные деформации плоскости откосов; оползневые явления на откосах; наличие выходов грунтовых вод (ключей, родников, мутной воды); состояние покрытия откосов (плитного: трещины, выколы бетона или асфальтобетона, обнажение арматуры, состояние швов, состояние упорной призмы разрушение, просадки и смещения плит; каменно-набросного крепления: просадки на откосе, сохранность камня в зоне ледостава, наличие каменного материала на дне); состояние поверхности бетонных, железобетонных и других конструкций берегоукрепительных сооружений вертикального профиля; коррозионные повреждения и т.д.

Поскольку подводный осмотр ГТС является особым видом визуальных обследований, то он включает в себя также работы по ПТО состояния поверхностей ГТС и примыкающих к ним со стороны верхнего и нижнего бьефов участков неукреплённых русел (рис. 2.21).



**Рис. 2.21. Карта рельефа и отклонений отметок дна от проектных отметок [42]:** области понижений отметок дна по результатам площадной съемки 2019 г. относительно проектных отметок показаны красно-розовыми оттенками, зоны повышений - коричневыми.

Наиболее эффективно съёмка выполняется с использованием многолучевого эхолота, гидролокаторов бокового и кругового обзора, телеуправляемых подводных аппаратов, водолазной фото- и видеотехники, приборов неразрушающего контроля и пр. Основные принципы организации ПТО ГТС: деление сооружения на участки осмотра, составление описания результатов осмотра со схемами, на которых обозначаются обнаруженные дефекты, подводные выходы фильтрации, участки размыва, участки бетона, повреждённого коррозией или эрозией и т.д.

Инструментальное обследование предполагает использование как закладной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), наблюдения с помощью которой напрямую не связаны с подводными работами, так и специальных методов и соответствующих технических средств, выбор которых осуществляется в зависимости от вида обследуемого объекта и условий его работы [42]:

- магнитометрический метод;
- ультразвуковой метод;
- электрометрический метод;
- метод вихревых токов;
- радиографический метод;
- акустический метод;
- гидролокационный метод и промерные работы;
- метод механических испытаний;
- геодезические методы.

Подводные поверхности сооружений и рельеф примыкающих к ним участков русла надлежит обследовать, как правило, *гидроакустическим и визуальным методами*. Обследование подводных частей ГТС согласно требованиям СТО 17330282.27.140.003-2008, должно производиться с охватом **100% их поверхности**, т.е. без пропусков в пределах заданного участка обследования каждым применяемым методом. Выявление количественных показателей состояния подводных элементов, их дефектов и всех находящихся на них посторонних предметов, должны иметь размер, не превышающий следующие значения:

- при обследовании состояния подводных откосов грунтовых ГТС и поверхности неукрепленного русла: глубиной **более 25 м – 0,50 м**; глубиной **менее 25 м – 0,30 м**;

- при обследовании состояния поверхностного слоя бетонных конструкций, производимом с целью выявления мест оголения арматуры, кавитационных, абразионных и иных повреждений – 0,05 м;
- при обследовании состояния бетонных поверхностей, в том числе плитных покрытий для выявления деформаций (сдвигов, осадок, выпучивания и т.п.) – 0,15 м.

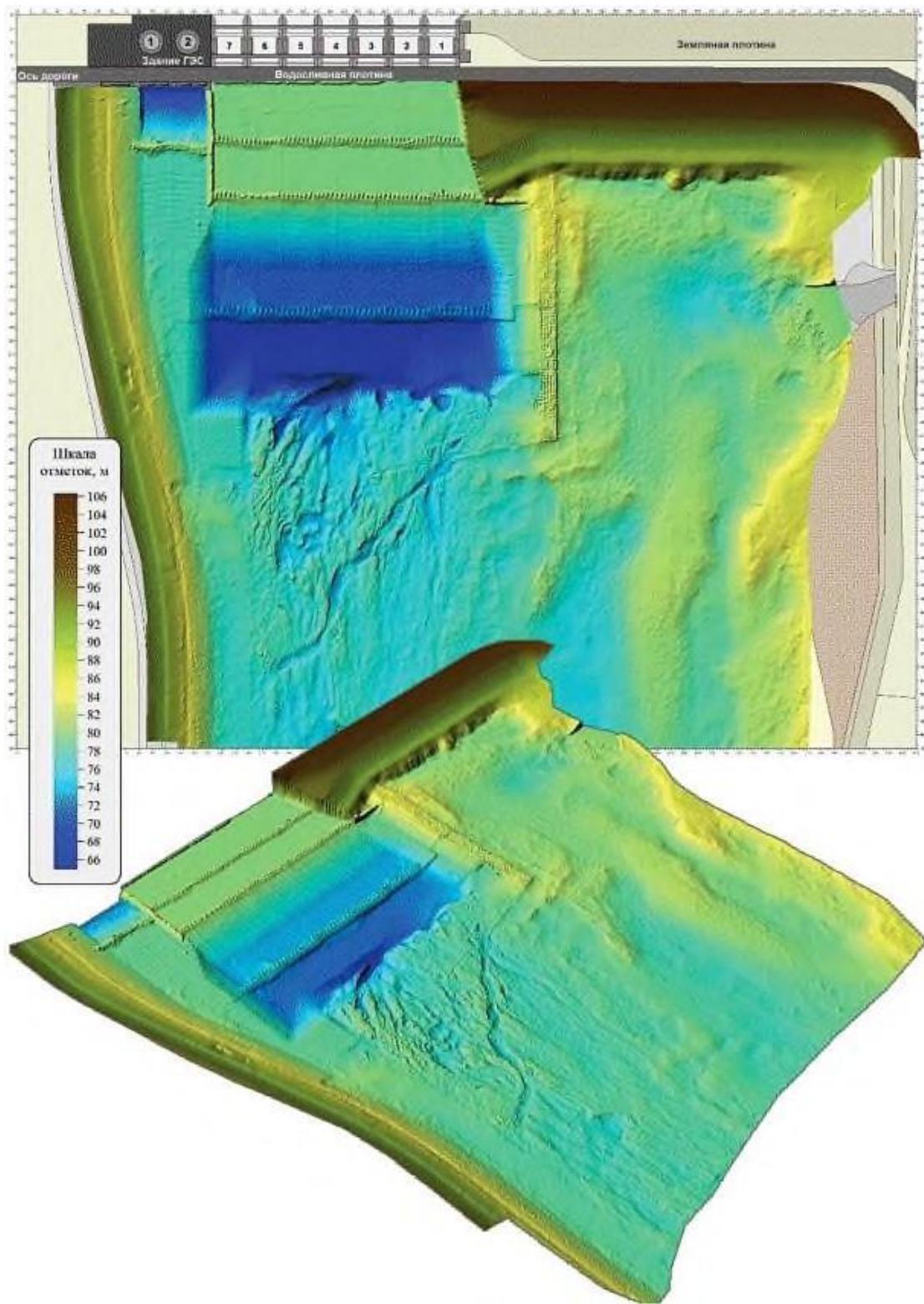
При обследовании подводной поверхности участков, линейные размеры любой стороны которых в местной системе координат превышают 25 м, рекомендуется применять специализированные телеуправляемые необитаемые подводные комплексы, отвечающие требованиям к аппаратуре для профессиональных подводно-технических работ, позволяющих работать на подводных течениях со скоростями до 1,0...1,5 м/с. Запись с телеуправляемыми необитаемыми подводными аппаратами (ТНПА) на цифровой регистратор видеоизображения должна осуществляться в реальном времени с наложением на нее информации со встроенных датчиков глубины, магнитного компаса или спутниковых приемников. Для обеспечения полного 100% охвата обследуемой визуальным методом поверхности должна применяться **площадная фотовидеосъемка** с выполнением следующих требований: - масштаб всех снимков (изображений) должен быть одинаковым на всем обследуемом участке; перекрытие снимков должно быть не менее **25...30%**; на каждом снимке должны присутствовать элементы, по которым можно осуществлять привязку к снимкам соседних участков.

В **верхнем бьефе** (ВБ) многопролетных сооружений, не имеющем явно выраженных морфологических особенностей русла (неровностей дна, резких сужений или расширений в плане), участок обследования подводящего канала должен охватывать примыкающую к напорному фронту полосу шириной не менее 3...5 глубин воды на понуре или расчистка подводящего русла при НПУ – для низко - и средненапорных сооружений (напор менее 60 м) и не менее 2...3 глубин – для высоконапорных сооружений. В условиях, когда русло ВБ имеет

явно выраженные морфологические особенности и/или когда водосбросное сооружение имеет 3 и менее пролетов, а в здании ГЭС установлено 4 и менее агрегатов, размеры участка обследования назначаются эксплуатирующей организацией (заказчиком) по согласованию с генеральным проектировщиком, исходя из анализа возможных скоростных режимов течения на подходе к сооружению.

**В нижнем бьефе** (НБ) обследование неукрепленного русла должно обязательно охватывать зону расположения ям (воронок) местного размыва за водопропускными сооружениями, а при необходимости оценки потерь выработки электроэнергии, обусловленных подпором уровней НБ здания ГЭС от гряды отложений продуктов местного размыва (бара), – зону расположения этой гряды. В НБ многопролетных (5 и более пролетов) водосбросных сооружений и зданий ГЭС с 5 и более гидроагрегатами при отсутствии явно выраженных морфологических особенностей русла (островов, скальных выступов, резких сужений и расширений в плане и т.п.) обследованием рекомендуется охватывать примыкающую к водопропускным сооружениям полосу шириной не менее – 2,5...3,0 длин крепления дна (водобоя, рисбермы, ковша и т.п.) или 25...30 напоров на гидроузел – за водосбросными плотинами с гашением энергии в гидравлическом прыжке на водобое, а также за русловыми зданиями ГЭС в условиях гидроузлов, как правило, возведенных на нескальных грунтах; – 4,0...5,0 длин отбrosа струи – за водосбросами, сопряжение бьефов за которыми осуществляется по принципу отброса потока в нижний бьеф, как правило, в условиях гидроузлов, возведенных на скальных грунтах.

По результатам обследований ГТС пишется отчет, прикрепляются фото- и видео-фиксация обследования, составляются чертежи с обозначением разрушений, отложений, мусора (рис. 2.22).



**Рис. 2.22. Пример аксонометрической проекции подводной поверхности по данным многолучевого эхолота и 3D-сканера [42]**

Далее эти данные используются проектными организациями для разработки проекта ремонта (реконструкции) объекта. ПТО в период завершения

**строительства** сооружений гидроузла должны производиться после пропуска воды с нарушением режимов регулирования затворами водопропускных сооружений и/или при пропуске паводков с расходами, превышающими расчетные расходы строительного периода, но не реже одного раза в 2 года. ПТО завершенных строительством ГТС должно производиться впервые после 2 лет эксплуатации гидроузла. Если в первом году эксплуатации условия пропуска паводка отличались от проектных, обследование должно выполняться после пропуска паводка первого года эксплуатации.

В дальнейшем ПТО ГТС и примыкающих участков русла со стороны НБ должны производиться после каждого пропуска расходов воды, близких к расчетным, но не реже одного раза в 5 лет. Со стороны ВБ ПТО допускается производить с большей периодичностью, но не реже одного раза в 10 лет.

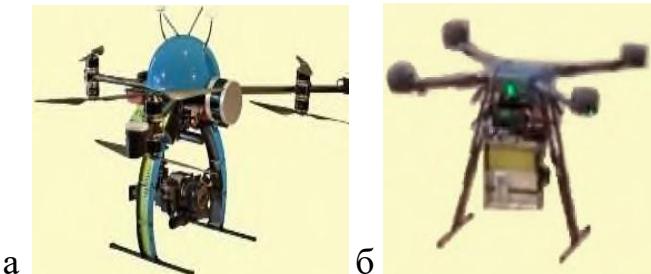
При выполнении работ по ремонту/реконструкции элементов подводных конструкций после пропуска первого паводка через отремонтированный участок следует произвести его внеочередное ПТО с целью оценки качества и эффективности выполненных работ. Подводные обследования креплений откосов земляных ГТС целесообразно проводить при наиболее низких уровнях воды и наибольшей ее прозрачности. В случае обнаружения на элементах сооружений разрушений, деформаций и размывов, влияющих на надежность работы ГТС, ПТО рекомендуется проводить чаще на всём протяжении ГТС.

## **2.5. Использование беспилотных аппаратов**

**Беспилотные аппараты** - самоходные аппараты или транспортные средства без экипажа на борту. В зависимости от *типа управления* беспилотники можно подразделить на: управляемые и буксируемые. В зависимости от *типа среды*, в которой движется аппарат (вода, земля, воздух), беспилотники можно классифицировать на подводные, надводные, наземные и воздушные (летательные – БПЛА).

**Беспилотный летательный аппарат (БПЛА)** - *воздушное судно или дрон*, которым управляют дистанционно либо полностью автоматически

без присутствия человека (экипажа) на борту. Таким БПЛА чаще управляет оператор в режиме реального времени через пульт. Он может как полностью контролировать судно, так и запускать его уже по заданному маршруту, корректируя действия (рис. 2.23). В общем случае БПЛА входит в инфраструктуру беспилотной воздушной системы (БВС).



**Рис. 2.23. Примеры разных модификаций БПЛА, часто используемых при мониторинге:** а - NEXUS 800; б – WSD 4

В её составе есть: наземный пункт управления, системы связи, средства обработки данных, транспорт, системы запуска и посадки летательных аппаратов. БПЛА используют, когда нужно охватить значительную территорию ВО или гидроузла с большой высоты, не рискуя при этом жизнью или чтобы оценить масштабы бедствия.

Первый беспилотник появился более ста лет назад в США (1917 г. модель Kettering Bug - летающая бомба). В СССР были разработаны беспилотные разведчики: Ту-123 «Ястреб», Ту-141 «Стриж», Ту-143 «Рейс». Ближе к 80-м появились «Эльф», «Комар», «Пчела». В 2000-2010 гг. Россия закупала израильские БПЛА. В настоящее время среди гражданских и коммерческих БПЛА самые популярные — DJ Mavic 3 из Китая и американский Skydio 2+. Эти модели могут летать без подзарядки около получаса и снимать местность с воздуха, быстро передавая данные на пульт управления. Среди современных российских беспилотных систем, которые активно используются в подразделениях МЧС для мониторинга территорий (их более 400), находящихся в зоне риска возникновения чрезвычайных ситуаций, наиболее востребованы комплексы «Орлан-10», «Груша» и «Инспектор (INSPECTOR)», разработанные

отечественными производителями. БПЛА «Орлан-10» — это многофункциональный беспилотник весом до 18 кг может оставаться в воздухе до 16 часов и передавать данные на расстояние до 120 км. «Орлан-10» оснащен фотоаппаратом, видеокамерой, тепловизором и другими системами, которые позволяют выполнять задачи мониторинга объектов с высокой точностью. «Груша» — портативный беспилотник весом 2,4 кг может летать около 75 мин. на высоте 500...1 тыс. м и передавать информацию на расстояние до 15 км. Благодаря своей мобильности, он запускается с рук и не требует специальных условий для взлета (рис. 2.24). «Груша» состоит из 8 небольших самолетов и 2-х ноутбуков с управлением (база Windows XP). Каждый из аппаратов имеет 2 цифровые камеры, способных снимать изображения в полном визуальном диапазоне, и аэрофотоаппарат с разрешением 10 Мpx и четырехкратным оптическим зумом. «Грушу» запускают с рук, а летит он на автопилоте по точкам, указанным на цифровой карте. Программное обеспечение, 2-х лопастный электрический двигатель, корпус и передатчик – российские.



**Рис. 2.24. Модификации БПЛ:** а -«Орлан-10»; б - «Груша»

ЗАО "Аэрокон" (г. Жуковский Московской обл.) разработала целую линейку беспилотных авиационных комплексов (БАК) "Инспектор" с разными задачами и возможностями для воздушной разведки, наблюдения и мониторинга (рис. 2.25). Все БАК имеют хорошую аэродинамическую компоновку, в конструкциях широко использованы современные композиционные материалы, параметры изменяются в широком диапазоне: взлётный вес от 0,25 до 120 кг, размах крыла 0,3...4 м, время полёта 30 мин ...7 часов, радиус действия 1,5...25 км.



**Рис. 2.25. Виды БПЛА "Инспектор", предназначенные для контроля сельскохозяйственных угодий:** слева направо: модели 201, 301, 101

В данный момент Россия, несмотря на, то, что в военных целях десяток стран создали коалицию беспилотников и средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), является мировым лидером в области БВС. Типы и модели современных отечественных мини-беспилотников разнообразны, число предлагаемых моделей измеряется десятками, а то и сотнями. Беспилотники сейчас находят применение практически во всех отраслях. Сделаны многофункциональные дроны-ретрансляторы с возможностью быстрой смены частот. В РФ с 01.1.01.2024 г. запустился национальный проект «Беспилотные авиационные системы» (БАС), определяющий стратегию развития беспилотной авиации на период до 2030-2035 гг. На его реализацию предусмотрено федеральное финансирование в размере 696 млрд. рублей до 2030 г. В следующие шесть лет в стране должна появиться перспективная самостоятельная отрасль экономики, связанная с созданием и использованием гражданских беспилотников. До 2030 г. планируется создать 48 крупных производств дронов.

Выпуском беспилотных систем уже занимаются свыше 600 предприятий по всей стране. Аналитический центр лесного и сельского хозяйства, входящий в ITFB Group, в июне 2025 г. совместно с Комитетом лесного хозяйства Московской области и компанией «Инсайт-проект» запустили пилотный проект по использованию БПЛА для мониторинга состояния лесных территорий,

используемый как инструмент раннего реагирования на экологические угрозы и деградацию лесных культур. Ведущим отечественным разработчиком и производителем беспилотных летательных аппаратов является группа компаний ZALA AERO. С 2004 г. она разработала и поставила на серийное производство широкий модельный ряд БПЛА разного типа, а также комплексы управления ими, предназначенные в основном для спецопераций по обеспечению комплексной безопасности территорий. Лидером отрасли является Москва. Её доля на рынке беспилотных систем составляет около 40%. Здесь расположены свыше 120 предприятий и 16 научных центров., занимающихся разработками БПЛА. В 2025 г. в кластере БПЛА в «Руднево» появился лётно-испытательный комплекс.

БПЛ отличаются друг от друга по лётным характеристикам (взлетная масса, дальность полета, высота полета, продолжительность полета). Все БПЛА можно разделить на два основных класса: *самолеты и мультикоптеры* (многороторные вертолеты). Также БПЛ бывают по строению: смешанные и аэростаты. В общем можно выделить *по методам управления* БРА: автоматически управляемые (выполняющие движение по заданной программе - АУЛА); дистанционно управляемые оператором с пункта управления (ДУЛА); гибридные. БЛА, построенные по самолетной схеме, имеют большую дальность полета и могут значительно дольше находиться в воздухе; но при этом они имеют меньшую стоимость, более просты в обслуживании, а для взлета и посадки требуется наличие подходящей площадки. БЛА, построенные по вертолетной схеме, взлетают и садятся вертикально, пилотировать их проще, но они имеют ограниченный радиус действия.

БПЛ, как правило, состоит из следующих частей: корпус; двигательная установка; источник энергии; навигационная система; съемочная аппаратура; двигательная установка; система управления (рис. 2.26).



а

б

в



Рис. 2.26. Общий вид (а-в) и основные элементы (г) БПЛА

Применение БПЛА дает ряд преимуществ, выражющихся в:

- оперативности, поскольку БПЛА позволяют вести обследование ГТС водных объектов со скоростью в десятки км/ч или в режиме зависания над локальным объектом либо его определённым элементом; за несколько минут полета можно собрать детальную информацию об изучаемом объекте, создать ортофотоплан, 3D-модель рельефа и не только;
- качестве, так как в результате аэрофотосъемки получают материалы высокого разрешения с их геопривязкой;
- объективности контроля, учитывая постоянное наличие документов, фото и видео материалов;
- безопасности обследования из-за снижения вероятности несчастных случаев при использовании БПЛА;

- постоянное совершенствование летательных аппаратов разных видов и классов, в том числе беспилотных, создающихся в соответствии с госпрограммой РФ на 2027 - 2036 гг.;

- экономике из-за относительно низкой стоимости производственных работ, например, достаточно двух операторов, которые при необходимости могут обследовать водные объекты с ГТС протяжённостью сотни километров в день, что существенно дешевле мониторинга с борта пилотируемого воздушного судна.

Есть ряд решений, когда для облегчения запуска дрона, его оснащают гребными винтами, позволяющими самостоятельно плавать под водой. Например, китайский дрон Feiyi (рис. 2.27), выйдя из подлодки на своих винтах, поднимается к поверхности, раскрывает лопасти и взлетает. Потом плюхается в воду и сам возвращается на носитель – подводную лодку. Можно выпускать дрон и через торпедный аппарат.

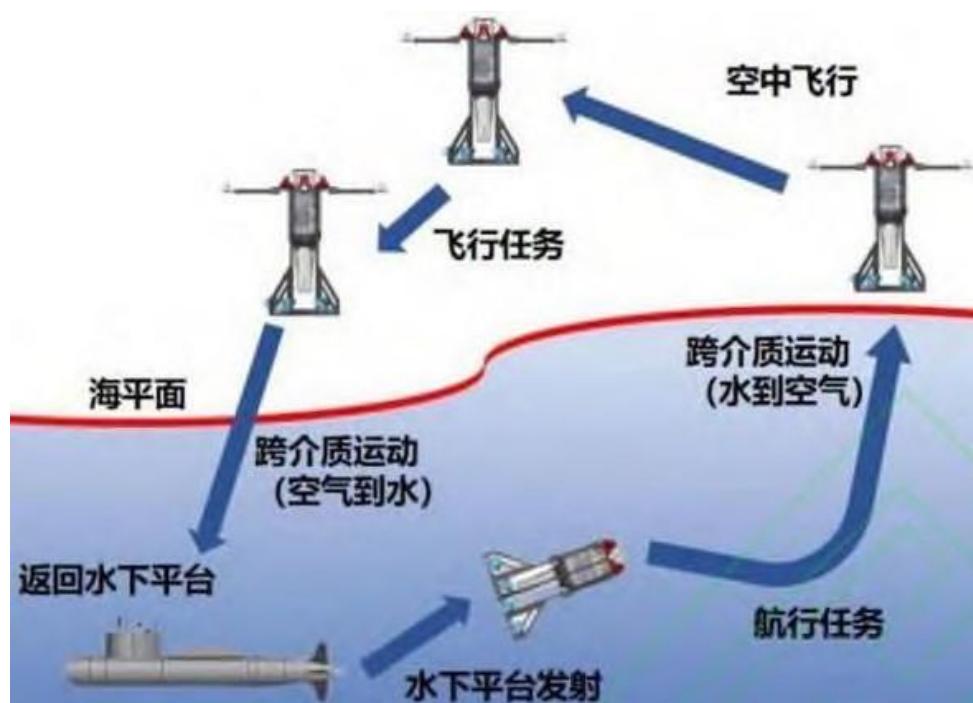


Рис. 2.27. Дрон Feiyi (Китай), самостоятельно плавающий под водой и многократно перемещающийся между водоёмом и воздушной средой

Эффективная эксплуатация дронов напрямую зависит от актуальности и полноты информации о состоянии ГТС, которую надо получить. Основные направления исследований, в решении которых целесообразно применение БПЛА в гидрологии, гидрометрии, русловые процессы, опасные гидрологические явления, водоэкологические проблемы (рис. 2.28).



Рис. 2.28. БПЛА Phantom 3 Advanced

Выделяют четыре основные задачи применения БПЛА в гидромелиорации: построение цифровой модели; мультиспектральный мониторинг; моделирование операций по управлению мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения путем корректировки геометрических данных; создание трехмерной и двумерной картографической подосновы с точностью данных от 3 см на пиксель для проектных институтов, работающих в области гидротехники и мелиорации. Так наблюдение и мониторинг водотоков и прибрежных зон и земляных плотин водохранилищ, подверженных наводнениям; определение границ, площадей и социально-экономических объектов, попавших в зоны затопления. На основании набора аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, используя программные комплексы, например, программу Agisoft PhotoScan, можно создать трёхмерную модель местности и цифровую модель рельефа (ЦМР) (рис. 2.29). Начальный этап создания ЦМР – это импорт фотоматериалов,

настройка параметров и калибровка фотокамеры. Затем определение координат центров снимков и расстановка на исходных снимках маркеров, с помощью которых модель трансформируется. После расстановки маркеров на всех снимках указываются их координаты. Следующий этап – автоматическое построение 3-х мерной модели местности. Заключительный этап – построение текстуры модели и процесс «насаживания» ее на ЦМР. На основании полученных данных ЦМР строится в виде поверхности с рельефными горизонталями, и получается картографическая продукция: трехмерная модель местности, цифровая модель рельефа и ортофотоплан, пригодный для прогнозных расчетов.

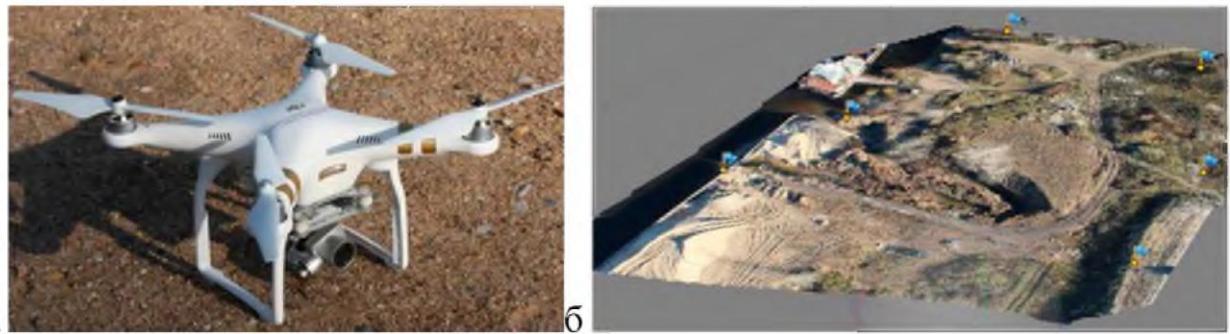


Рис. 2.29. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional (а) и фрагмент ЦМР прибрежной зоны водохранилища (б), созданной с его помощью

БПЛА могут быть использованы для измерения параметров паводковой волны (скорость продвижения, уровни воды), для диагностики условий формирования селевых паводков и оперативного предупреждения населения о возможном сходе селевых потоков. При ледовой разведке, в период ледохода, образования ледяных заторов на реках квадрокоптер может осуществлять посадку на лед и воду для измерений параметров и отбора проб воды. Точность зафиксированных параметров объектов, подверженных съемкам с БПЛА, например, значений ширины зоны подтопления, является достаточной, обеспечивающей среднюю погрешность в пределах 15 %, что допустимо для проведения практических инженерных расчетов.

**Преимущества БПЛ:** можно быстро и точно определить опасные гидрологические явления; измерить параметры паводковой волны; более безопасный и быстрый вариант мониторинга.

**Недостатки БПЛА:** есть вероятность потери сигнала от дрона, в следствие чего он может разбиться или утонуть. Разработанные алгоритмы и программные средства для интерпретации фотоматериалов могут быть в дальнейшем использованы совместно с любой ГИС-системой как в качестве основы при проектировании ВО, так и базы при оценке экологического и технического состояния территорий и ГТС.

**Дистанционно управляемый подводный аппарат** (ПА) или ROV удаленно управляет оператором или группой операторов с борта судна-носителя (рис. 2.30). ПА связан с судном кабелем, через который на аппарат поступают сигналы управления и электропитание, а обратно передаются данные с датчиков и видеинформация.

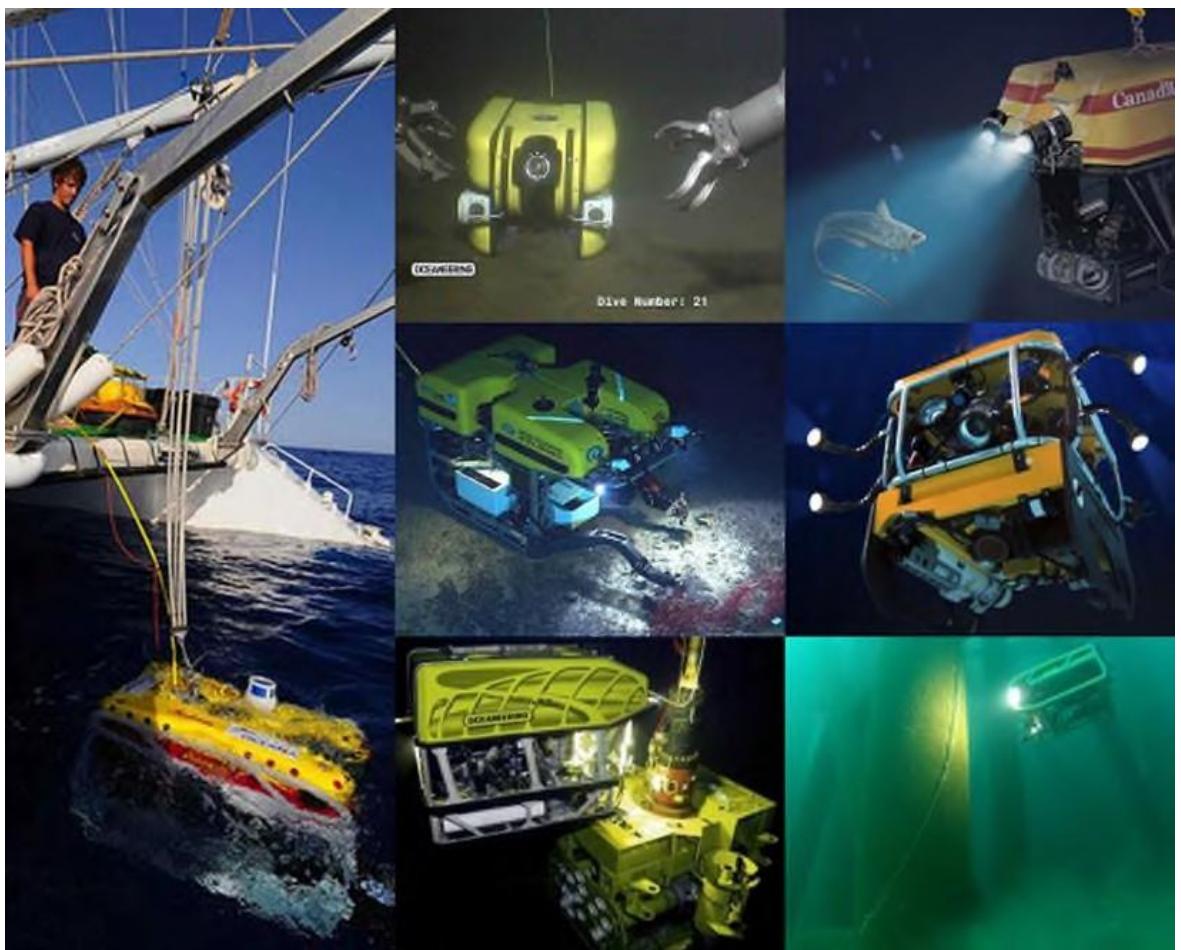


Рис. 2.30. Дистанционно управляемые подводные аппараты

**Подводные дроны** существенно расширяют границы исследований и наблюдений. Они оборудованы специальными приборами для: отбора проб воды; производства теплового, инфракрасного зондирования; спектрального анализа поверхностных, подземных вод и загрязнителей; других видов научных приборов. Например, использование дистанционного управляемого **подводного дрона Chasing M2**, оснащённого 8 двигателями и способного погружаться на глубину более 100 м, помогает как обследовать дно, так и получить точные измерения глубины и информацию о состоянии ГТС (рис. 2.31). Благодаря тому, что подводный дрон оснащен профессиональной стабилизированной видеокамерой 4К, светодиодными лампами мощностью 4000 люмен и лазерным измерительным оборудованием, удаётся получить качественную картинку дна, определить объемы и локации донных отложений, сделать 12-мегапиксельные снимки.

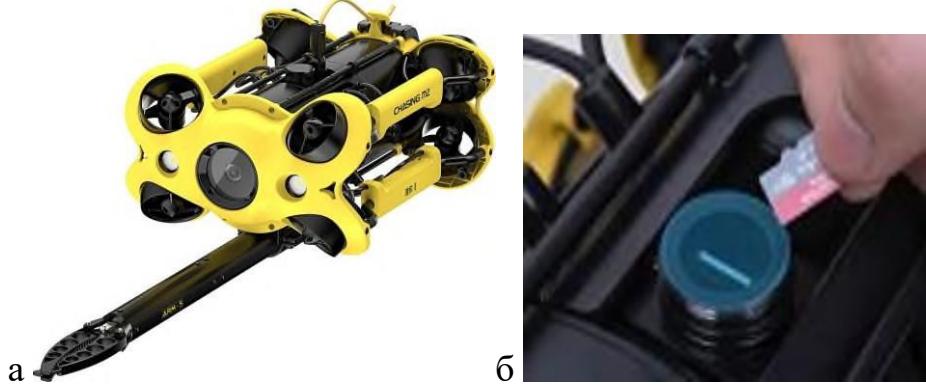


Рис. 2.31. Дрон Chasing M2: а – общий вид; б – цифровая камера со съёмной картой памяти на 512 ГБ

Со временем дно заиливается песком, мусором, остатками растений и рыб, поэтому необходимо время от времени проводить очистку. Использование подводных дронов делает работу более эффективной, потому что есть места, которые человек физически не может достать. Для примера – трубы гидрокомплекса диаметром 50...70 см, которые надо осмотреть изнутри. Дронами это делать гораздо быстрее и безопаснее, еще и без привязки к времени года.

**Преимущества** использования подводных дронов (ПА): не нужно привлекать к работе водолазов; возможность посмотреть места куда человеку не проникнуть; более безопасный вариант мониторинга ГТС. Однако есть и **недостатки**: высокая стоимость; сигнал от пульта к дрону передается через кабель длиной 100 или 200 м, что не всегда удобно.

Подводные поверхности сооружений и рельеф примыкающих к ним участков русла надлежит обследовать, как правило, гидроакустическим и визуальным методами. Для проведения инструментального обследования **акустическим методом** можно использовать «Тритон 900» отечественного производства с рабочей частотой 900 кГц (рис. 2.32а). Данный звуковизор по техническим характеристикам не уступает лучшим зарубежным аналогам, получившим распространение в РФ, что особенно актуально в связи с затруднением поставок импортного оборудования и курса страны на импортозамещение. «Тритон 900» воспроизводит акустическое изображение подводных объектов: двумерное 2D —

при поиске; трехмерное 3D — при распознавании. Получаемые в результате обследования гидроакустическими методами количественные показатели состояния подводных поверхностей конструкций, их элементов, дна и береговых склонов русла должны обеспечивать выявление и фиксацию дефектов, повреждений и деформаций обследуемых поверхностей и всех находящихся на них посторонних предметов.

**Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) «Марлин-350»** (рис. 2.32б) предназначен для проведения подводно-технических, осмотровых и аварийно-спасательных работ на глубинах до 350 м. Он обеспечивает: обнаружение подводных объектов с помощью гидролокатора кругового обзора; обследование подводных объектов с помощью цветной видеокамеры; гидролокационную и видеосъемку; подводно-технические работы с помощью манипулятора.

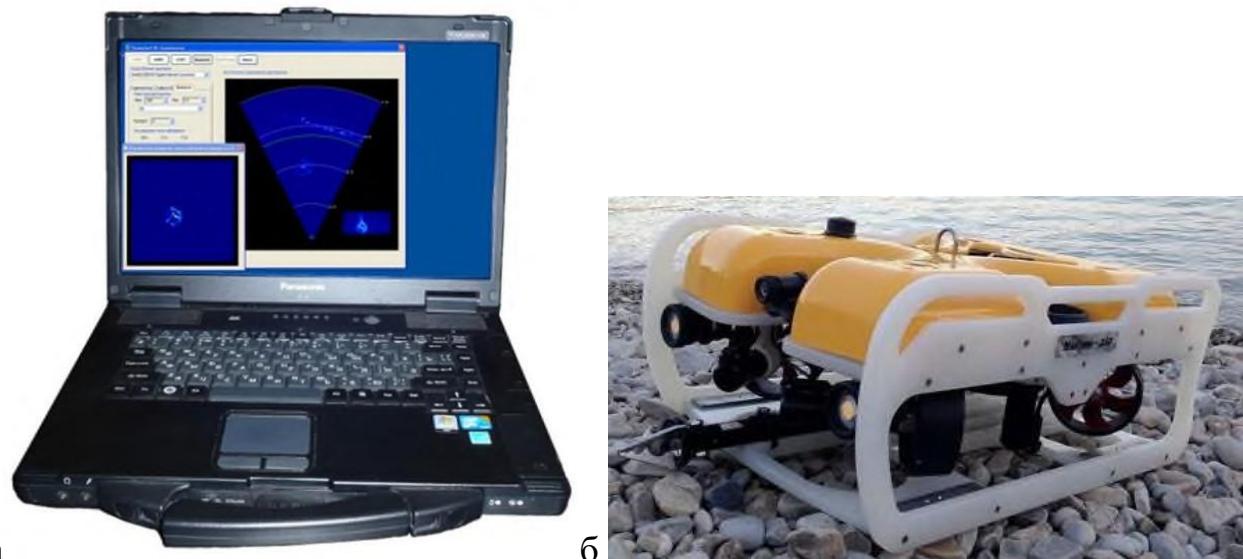


Рис. 2.32. Оборудование для подводного обследования: а – звуковизор «Тритон 900»; б - ТНПА «Марлин-350»

С помощью надводного беспилотного, одного из самых оснащённых, дрона **АРАСНЕ6** можно решать следующие задачи (рис. 2.33): определение глубин водоемов, картографирование дна рек, озер, водохранилищ, прибрежных участков моря; проведение инженерно-гидрографических изысканий при строительстве и эксплуатации любых ГТС; мониторинг поверхности дна в акватории ГТС, в том

числе и на мелководье; создание и обновление навигационных карт; русловые съёмки; проведение работ для последующего очищения и восстановления природных водных объектов (удаление ила, дноуглубительные работы).



Рис. 2.33. **Беспилотный дрон АРАЧЕ6 для замеров на внутренних водоёмах и мелководье**

**Достоинства дрона АРАЧЕ6:** удобен в транспортировке (небольшой, помещается в багажнике автомобиля, не нужно возить громоздкие катера); безопасен (не нужно заходить в воду, глубина, состав воды и характер дна не влияют на установку и работу); не нужна команда, переносит 1...2 человека, а на открытых участках воды дрон может собирать данные самостоятельно, экономя и время обследований; в результате обработки полученной в процессе съёмки информации, можно построить карты подводного рельефа дна, обеспечивающих решение большого круга инженерных и природоохранных задач.

На автономных беспилотных надводных аппаратах и на катерах либо малых судах для измерения глубины водных объектов или параметров подводных частей ГТС устанавливают **одно** или **многолучевые эхолоты**, например, **эхолот PicoMBES-120SF** — недорогой, компактный многолучевой эхолот, использующий технологию внутриимпульсной линейной частотной модуляции (рис. 2.34а). Эхолот, измеряя время прохождения акустических сигналов на определённой частоте до дна и обратно, позволяет вычислить дискретные измерения глубин в

различных точках, построить профиль и примерную структуру дна. Эхолот используют также для поиска объектов на дне и в толще воды.

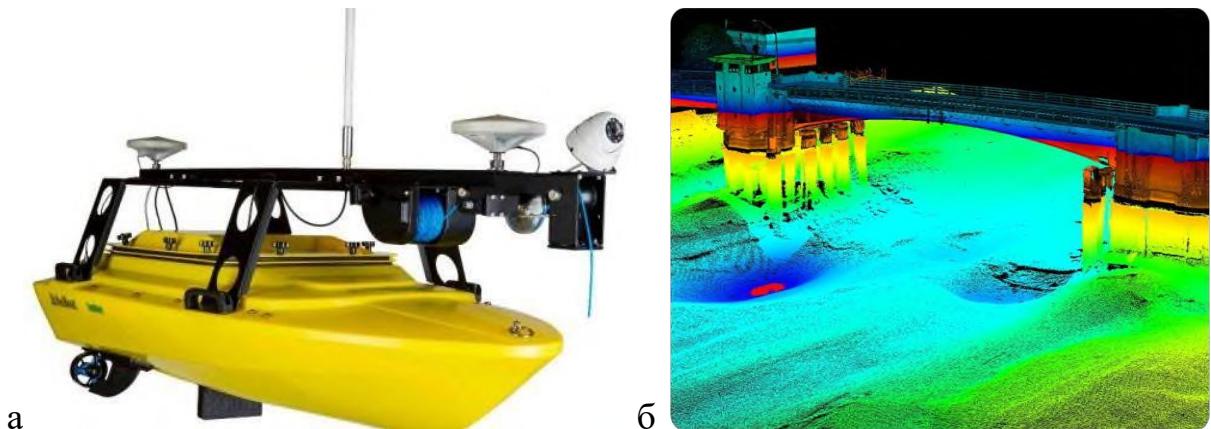


Рис. 2.34. Надводный ПА с МЛЭ PicoMBES-120SF (а) и цифровая модель рельефа дна в зоне ГТС (б)

**Многолучевой эхолот PicoMBES-120SF** оснащён прочными, полностью герметичными гидроакустическими антенами, выдерживающими давление воды до 300 dbar. Электронные платы формирования лучей и цифровой обработки сигналов размещены в гидрофоне. Алюминиевый интерфейсный блок со встроенной системой Applanix INS подключается к персональному компьютеру. В работе могут быть использованы графические интерфейсы Android или Windows, как контроллер, для отображения и записи данных в реальном времени.

**Многолучевой эхолот** (МЛЭ) используется для высокопроизводительной площадной съёмки дна. Распространяя акустические импульсы (лучи), расходящиеся веером в плоскости, перпендикулярной направлению движения судна, он захватывает широкую полосу дна за один проход. Лучи формируются с использованием антенной решетки сонара МЛЭ. Ширина полосы охвата современных МЛЭ обычно составляет более 5...6 глубин. В результате каждого сканирования с учетом параметров движения судна (курса, продольного и поперечного кренов, вертикальных перемещений) и распределения скорости звука по глубине обследуемой акватории собирается набор данных по глубинам

акватории. Измеряя наклонные расстояния от дна до приёмной антенны, а также угловое отклонения каждого луча МЛЭ вычисляет глубину по каждому лучу. В дальнейшем информация о глубинах и их координатах используется для построения цифровой модели рельефа дна в специализированном ПО (рис. 2.35). Кроме того, МЛЭ позволяют создавать сонограмму (графическое спектрально-временное представление звука/звуковых колебаний) на основе информации измеренной интенсивности отражённого сигнала (рис. 2.35б). Обязательным дополнением к самому многолучевому эхолоту являются: GNSS инерциальная система для определения точных координат, курса и параметров движения судна, датчик для определения скорости звука в воде.

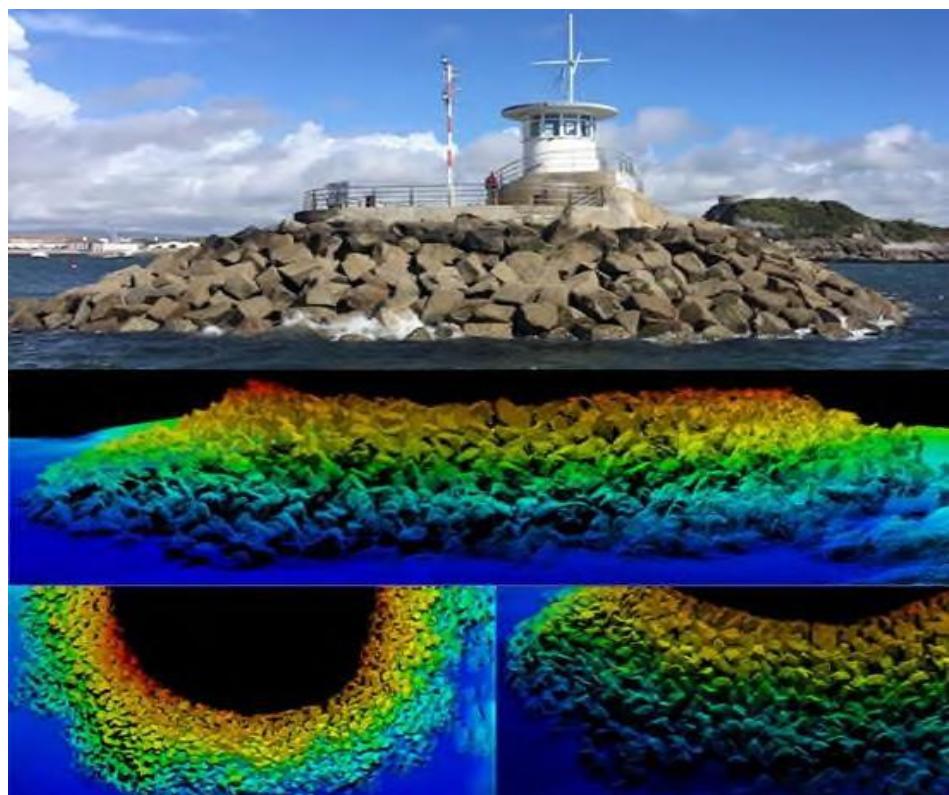


Рис. 2.35. Съёмка, выполненная многолучевым эхолотом PicoMBES-120SF с ИНС «Applanix Surfmaster ONE», сырье данные

Все МЛЭ SeaBat серии Т построены на гибкой расширяемой технологии нового поколения, позволяющей выполнять модернизацию функциональности системы (рис. 2.36). Они способны выдерживать самые сложные морские

условия, что делает их подходящими для использования, как на небольших гидрографических катерах, так и на более крупных судах, где портативность и компактность для широкого спектра съемочных приложений и задач являются востребованными. Встроенные настраиваемые функции, такие как высокая плотность лучей, несколько алгоритмов обнаружения дна, контроль данных водного столба, интеллектуальная автоматизация и другие – позволяют оператору получать высокоточные данные, которые можно легко и быстро проанализировать.

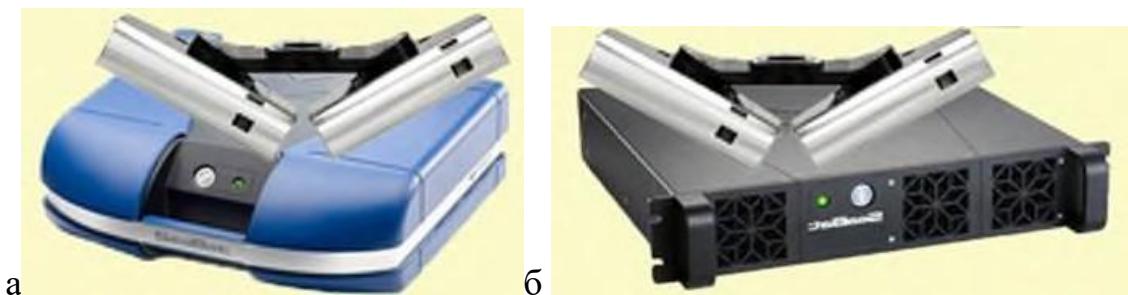


Рис. 2.36. **Многолучевые эхолоты:** а - SeaBat T20; б - SeaBat T50

Для измерения **параметров водного потока**, оценки профиля течения в водной толще при натурных обследованиях всё чаще наряду с классическими способами измерений [17] используют современные **акустические измерители, основанные на доплеровском эффекте (ADCP)** (рис. 2.37). Прибор периодически излучает звуковой сигнал определённой частоты, который отражается от планктона и мелких пузырьков воздуха. Измеряя смещение частоты отражённого сигнала относительно частоты базового сигнала и время его прихода, получают значение скорости течения на определённой глубине. Обычно применяют не один, а четыре излучателя звукового сигнала, что: увеличивает точность; позволяет определять направление течения; позволяет быстро и с высокой точностью проводить измерения профиля русла, скоростей течения и расхода воды в реках и каналах при глубинах от 6 см до 80 м.



Рис. 2.37. Акустический доплеровский измеритель течения (ADCP)

При установке МЛЭ в соответствующие корпуса и миксируя с мощными программными комплексами получают **профилографы** разной модификации, позволяющие быстро и с высокой точностью проводить измерения профиля русла, скоростей течений и расхода воды в реках, каналах, лотках и пр., получить карты рельефа дна и трехмерных полей течений на акваториях с глубинами до 80 м в автоматическом режиме (рис. 2.38). Многочастотный многолучевой доплеровский **профилограф RiverSurveyor M9** позволяет быстро и с высокой точностью проводить измерения профиля русла, скоростей течений и расхода воды в реках и каналах (рис. 2.38а). Портативный, простой в использовании, надежный – работает без предварительных настроек оператором и в экстремальных условиях наводнений или засухи.



б



**Рис. 2.38. Профилографы:** а – многочастотный RiverSurveyor M9 с программным комплексом НУРАК; б - акустический пятилучевой SonTek IQ

Акустические профилографы SonTek IQ разработаны для онлайн получения качественных данных о расходе на основании измерений скорости потока и уровня воды в русле. Эти 5-ти лучевые приборы с 4-мя разнонаправленными приёмо-излучателями для доплеровских измерений скорости воды снабжены также встроенным датчиком давления и вертикальным излучателем, что позволяет регистрировать уровень в различных условиях. Расход вычисляется встроенным процессором прибора в реальном времени, для чего достаточно при настройке ввести параметры сечения канала. КИА приспособлен для использования как в естественных водотоках, так и в каналах и трубах глубиной от 8 до 500 см.

Для установки под водой в портах, на пирсах, терминалах, на мостах, стенках каналов, на элементах ГТС в реках, водоёмах, море специально разработаны горизонтальные профилографы SonTek SL (рис. 2.39).

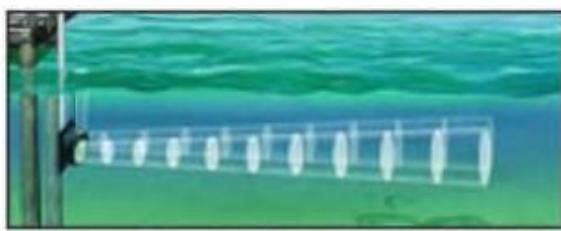
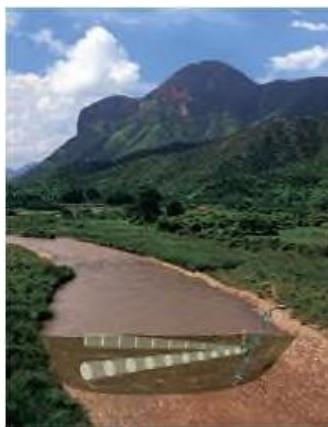


Рис. 2.39. **Общий вид (а) и схема установки (б) горизонтального подводного профилографа SonTek SL**

Их низкопрофильный корпус значительно упрощает установку прибора. Ультра-узкие лучи в сочетании с функцией подавления бокового отражения обеспечивают отличную акустическую направленность, необходимую для достижения горизонтальной дистанции до 120 м. Важным эксплуатационным достоинством для использования в реальном времени является встроенная функция вычисления скоростей потока, расхода, характеристик волнения на акватории и до 4 ГБ внутренней энергонезависимой памяти.

**Преимущества многолучевых доплеровских профилографов:** более безопасный вариант постоянного мониторинга ГТС без необходимости прибегать к помощи водолазов; одновременно позволяет проводить измерения профиля русла, скоростей течений и расхода воды в реках, лотках и каналах. Недостатки: возможна потеря сигнала при плохих погодных условиях, но это компенсируется

встроенной памятью, на которую и записывается вся не полученная информация. Анализ результатов подводно-технического обследования проводится с целью оценки влияния дефектов и повреждений, выявленных в результате подводно-технического обследования. На основании анализа полученных в работе результатов должны быть даны рекомендации по проведению последующих подводно-технических обследований: их периодичности, необходимому объему и качеству результатов.

**Геодезическая спутниковая система наблюдений** использует спутниковую технологию, которая не требует прямой видимости между пунктами и позволяет включить на рельфе в сеть пункты разных классов точности, как пункты равного порядка точности (рис. 2.40). На исходные и определяемые пункты устанавливаются спутниковые приемники. Для определения одного вектора между пунктами требуется синхронная работа, как минимум, двух приемников.

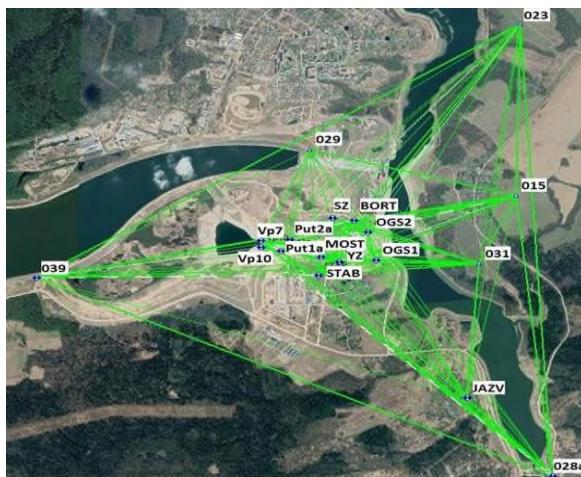


Рис. 2.40. Точки спутниковой системы наблюдений

### **3. ОСНОВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ДЕФЕКТЫ ГРУНТОВЫХ ВОДОПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ СРЕДНЕ- И НИЗКОНАПОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ**

Очень важно при выполнении мониторинга безопасности ГТС, составлении экспертных оценок и заключений представителями, как эксплуатационного персонала, так и высококвалифицированными специалистами знаний качественных диагностических показателей. Анализ качественных диагностических показателей является для ГТС IV класса ответственности практически единственным способом оценки состояния при отсутствии проектной документации. При проведении эксплуатационных обследований необходимо выявить, перечислить и описать все причины, влияющие на устойчивость сооружений, составить перечень возможных деформаций, которые могут быть определены как визуальными наблюдениями, так и по КИА, дать рецепты исправления дефектов. Для этого ниже приведены наиболее характерные случаи встречающихся деформаций, указаны причины их появления.

Ряд ситуаций, заслуживающих внимания, надо учитывать при подготовке и при проведении эксплуатационных обследований. Например, это некачественный прогноз паводковых расходов и ошибок в управлении пропуском паводков, как на Поляковском гидроузле в Самарской области, где было отмечено отсутствие предпаводковой сработки водохранилища [55]. В результате произошло намокание грунтов верхней части напорного откоса, приведшее в зимний период к морозному пучению грунта тела плотины и деформации крепления. Ледовыми полями был разрушен входной оголовок паводкового сифонного водосброса. В нормативной документации не рассматриваются ситуации, возникающие при сочетании экстремальных нагрузок и являющиеся основной причиной разрушения сооружений в современных условиях. Например, при эксплуатации водохранилищ при форсированном подпорном уровне может возникнуть экстремальная штормовая нагрузка. Волны могут достигнуть гребня плотины и перелиться через него. При длительной эксплуатации на уровне мёртвого объёма волновые, ледовые

нагрузки могут негативно влиять на входные оголовки водозаборных и водопропускных ГТС и крепления верховых откосов.

Некоторый обобщенный перечень качественных и количественных диагностических показателей состояния земляных плотин и дамб приведён в приложении данного учебного пособия (рис. П3). Более широко - в литературе с фотоиллюстрациями основных повреждений элементов грунтовых плотин, где в приложениях сгруппированы по элементам плотины основные повреждения, кратко описаны основные причины их возникновения и возможные последствия. [12, 16]. Перечень, схемы дефектов и возможных повреждений элементов грунтовых плотин/дамб даны ниже в таблицах 3.1 - 3.4 данного учебного пособия.

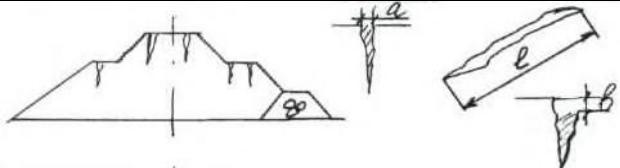
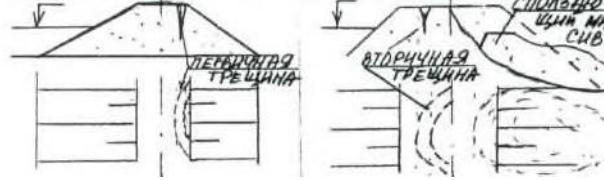
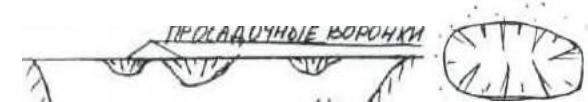
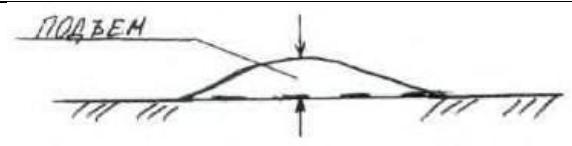
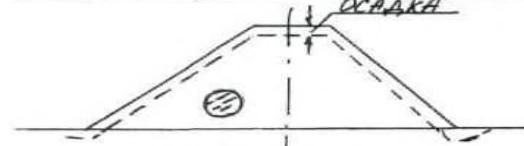
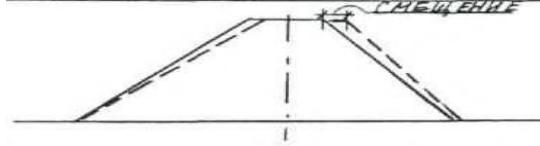
### **3.1. Повреждения гребня земляных плотин и дамб**

Осмотр гребня при поиске трещин лучше производить в сухую солнечную погоду при боковом (к оси плотины) освещении. В подавляющем большинстве случаев на гребне плотины/дамбы или бермах формируются первичные очаги оползней и обрушения откосов плотины с образованием на поверхности гребня характерных первичных трещин криволинейного очертания.

Основными дефектами на гребне земляных плотин и дамб, на которые надо обратить особое внимание при эксплуатационном обследовании (см. табл. 3.1), являются наличие и развитие: просадочных воронок (рис. 3.1), площадных глубоких ям, промоин (начинающихся с гребня), колеи, поперечных и продольных трещин (рис. 3.2), переработки откоса ветровой волной с захватом гребня. При визуальных обследованиях следует обратить внимание на деформации и дефекты ливнесбросной сети на гребне, бермах, а так же и на откосах плотины: засорение, заливание, зарастание, разрушение, деформация лотков, кюветов, водосбросных канав.

Таблица 3.1.

**Схемы дефектов и возможных повреждений гребня земляных  
плотин/дамб**

<b>№</b>	<b>Наименование дефекта</b>	<b>Схема повреждения</b>
1	продольные трещины	
2.	очаги формирования оползней	
3	просадочные воронки	
	морозное пучение грунта	
5	осадка гребня	
6	смещение и перемещение продольные деформации) гребня	

**Просадки** гребня в виде воронок или видимых на глаз значительных его понижений могут быть вызваны: протайкой оставленного в теле плотины льда, снега или промороженного грунта; недостаточным уплотнением локальных объемов или прослоек грунта в теле плотины; суффозионным выносом мелкого грунта из тела плотины или основания; выпором слабого грунта из основания и др. Обнаруженные наблюдениями просадочные воронки или локальные понижения гребня следует оконтурить и оснастить колышками-марками, по которым затем

выполнить их съемку геодезическим способом. Плановые очертания и глубины воронок (понижений) заносятся в полевой журнал и в карту-развертку (рис. 3.1).

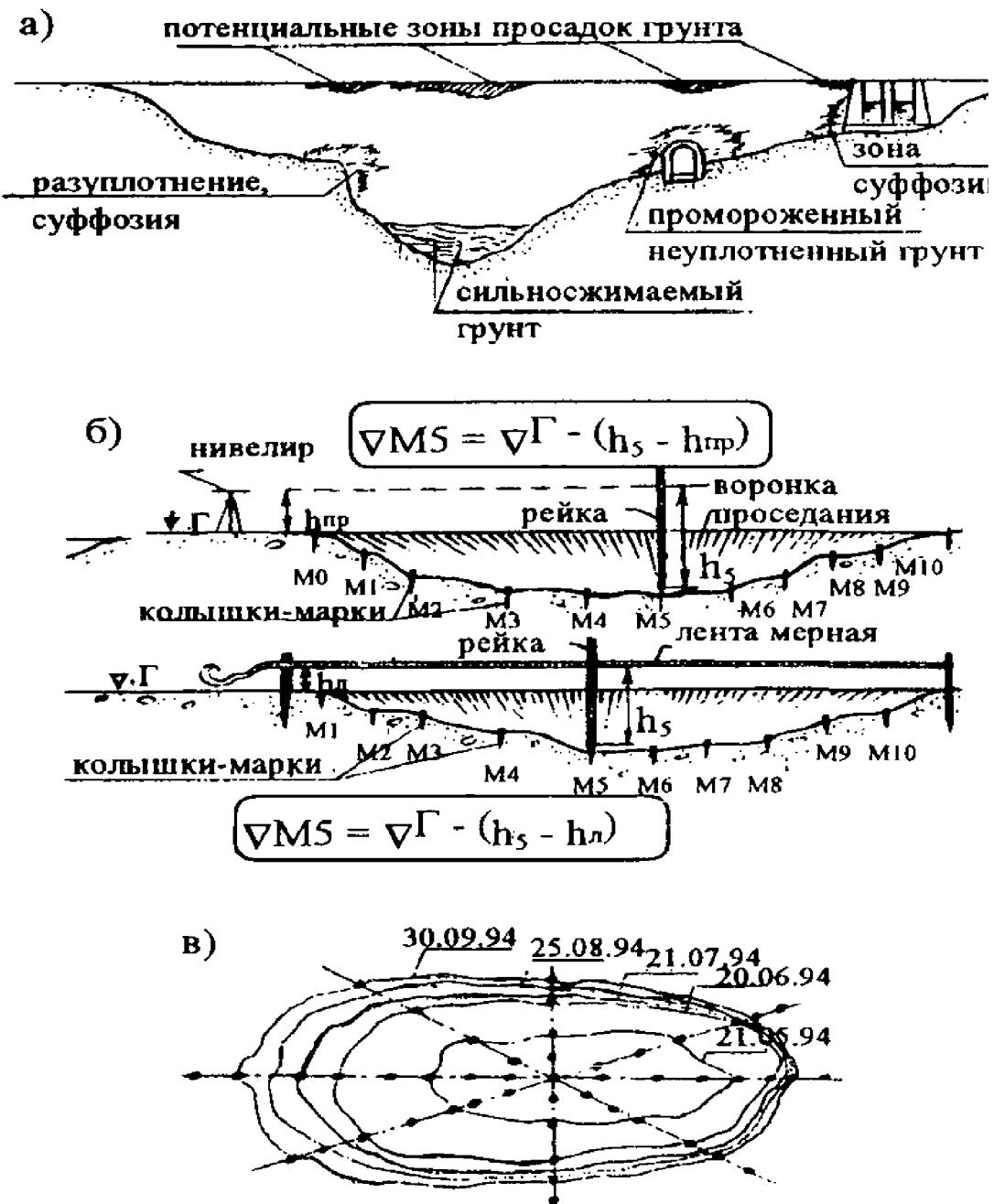


Рис. 3.1. Просадки гребня плотины [54]: а – потенциальные зоны просадок; б – съемка профиля просадочной воронки нивелиром и лентой; в – план просадочной воронки

На гребне водоподпорного грунтового ГТС *продольные* (вдоль оси плотины) и *поперечные трещины* появляются в результате возникновения в грунте растягивающих или касательных напряжений, превышающих предел растяжимости или сопротивление сдвигу грунта как материала (рис. 3.2).

Продольные трещины, возникают обычно в процессе первичного наполнения водохранилища, когда плотина подвергается замочке водой, способствующей интенсивности ее осадки.

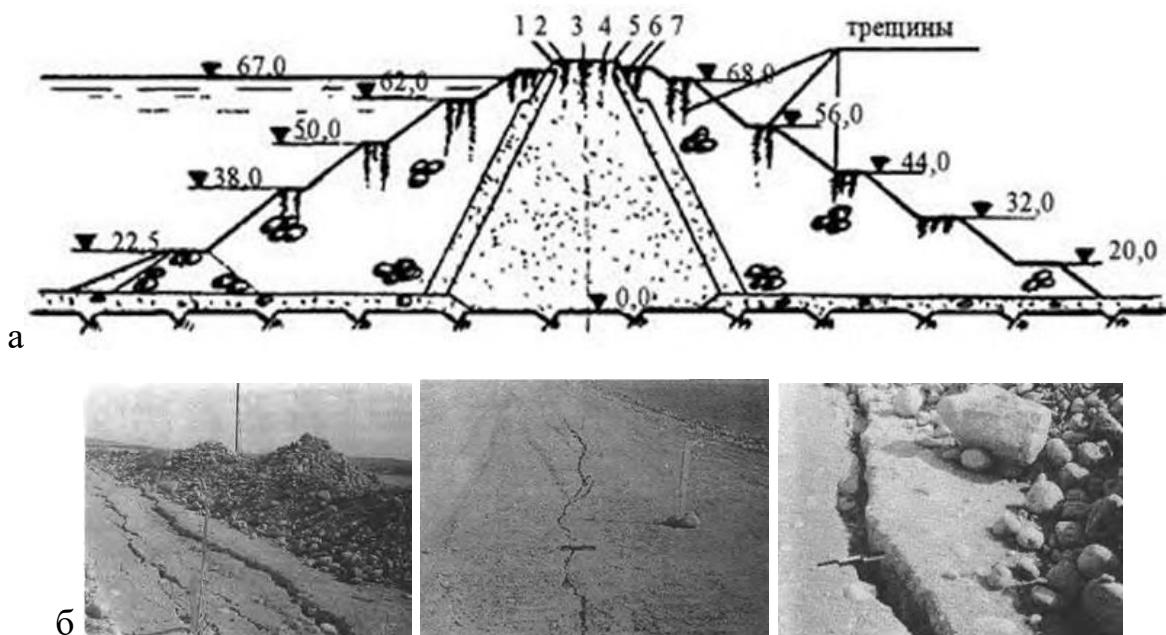


Рис. 3.2. Характерное расположение (а) и вид (б) продольных трещин на гребне и бермах плотины [54]

Поперечные трещины (перпендикулярные осям сооружения или проходящие под углом к ней) чаще возникают на береговых наклонных участках плотины и в местах, где она резко меняет свою высоту (например, над бортами руслового каньона, над уступами поверхности основания и т.п.). При наличии фильтрации воды трещины должны не только контролироваться, но и “лечиться” путем заделки их водоупорным материалом или перекрытия непроницаемой стенкой.

При обследовании через определенные интервалы по длине тщательно измеряется ширина раскрытия трещины, результаты измерений записываются в журнал (заранее следует присвоить трещине какой-либо порядковый номер - Тр.№1, Тр.№2 и т.д.). Трещина тщательно наносится на масштабную карту-развертку плотины; в местах измерений раскрытия трещины и уступов на карте обозначить цифрами полученные величины (рис. 3.3). Начало и конец трещины на плотине следует зафиксировать прочно вбитыми в грунт колышками, на которых также пишут дату обнаружения трещины и организовывают систематические

наблюдения за поведением трещины (изменениями ее раскрытия и протяженности). Результаты наблюдений за раскрытием трещин представляются в виде графиков (рис. 3.3д).

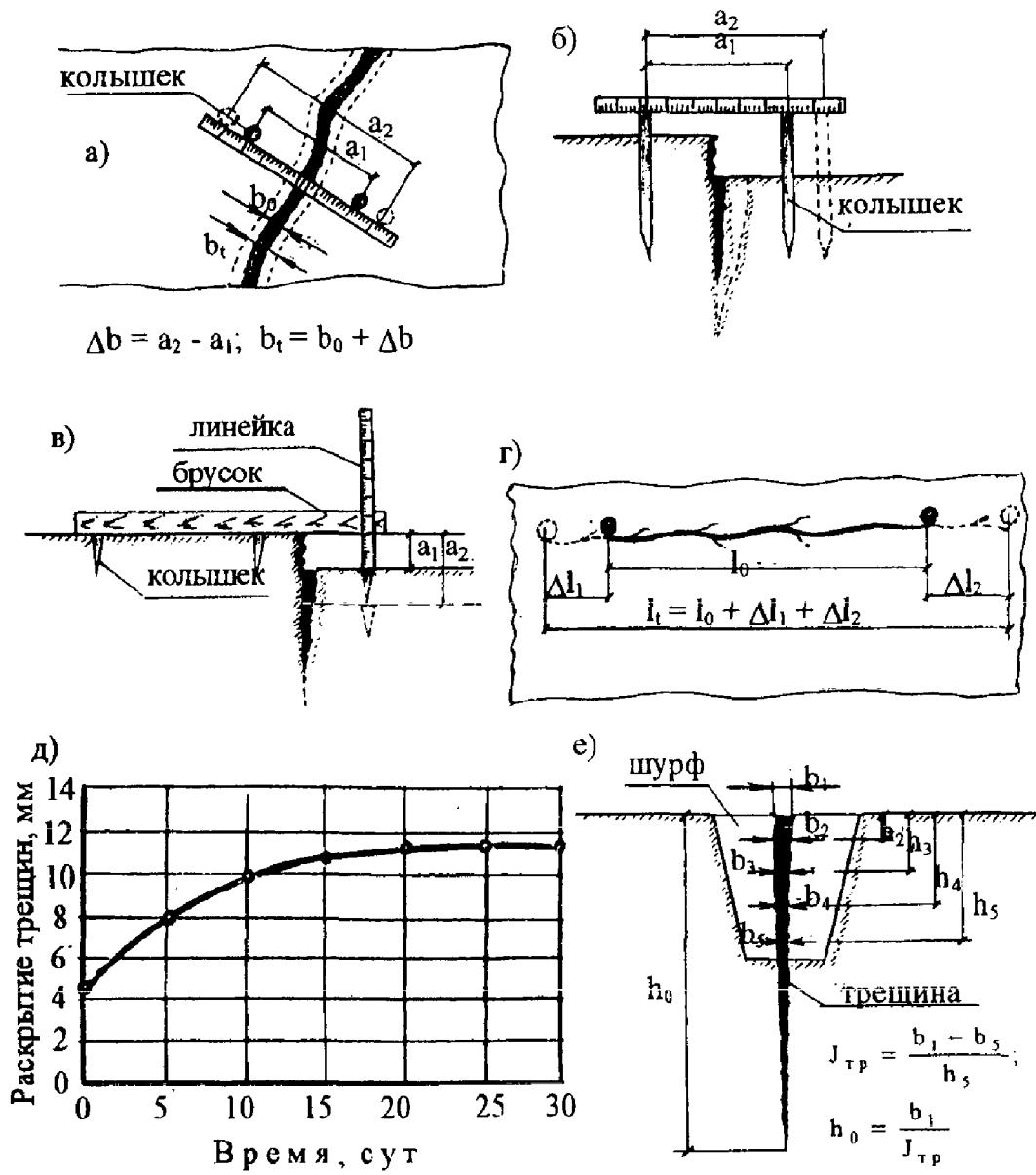


Рис. 3.3. Контроль развития трещин [54]: а и б – измерения раскрытия; в – измерения высоты уступа; г – определение удлинения трещины; д – график раскрытия трещины; е – определение глубины выклинивания трещины

Просадочные воронки и понижения с момента их обнаружения должны быть поставлены под наблюдения, с регистрацией изменения во времени их плановых размеров и глубин. Результаты таких наблюдений представляются в виде продольных и поперечных профилей, плановых очертаний воронок и понижений,

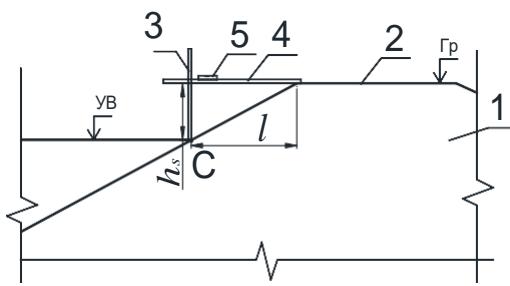
графиков осадки во времени колышков-марок (рис. 3.3в, г). Признаком пучения связных грунтов (глины, суглинки) гребневой части плотины является образование в зимние периоды на его поверхности характерных бугров или локальных подъемов поверхности, деформаций покрытий откосов.

Периодически **геодезическими способами** осуществляется съемка профиля откосов, включая и подводные части, и сравнение их фактических очертаний с проектными. Крутизна верховых откосов может существенно меняться вследствие интенсивной замочки верховой призмы при наполнении водохранилища, переработки материала волнами, неравномерности осадки, динамических воздействий и др. Съемки надводных частей откосов выполняются геодезическими способами по заранее закрепленным поперечникам через каждые 20...30 м по фронту.

При проведении натурных обследований запас гребня плотины/дамбы в месте максимального понижения гребня насыпного ГТС устанавливается аprobированным путём - определения превышения над относительным уровнем НПУ с помощью нивелира или тахеометра. Допускается использование глазомерной съёмки с использованием лазерных и длиннобазовых стандартных уровней, лазерных рулеток с угломером и пр. современных устройств. Естественно, при отсутствии проектной документации, инструментальных данных и сведений об отметках ФПУ и НПУ, такая оценка носит довольно приближённый характер. Превышение гребня ( $h_s$ ) над уровнем воды в момент обследования, а затем и высоты земляной плотины/дамбы может быть определено путем прямого измерения длины надводного откоса ( $l$ ) в направлении, перпендикулярном урезу воды, рулеткой (механической или лазерной) с измерением угла наклона (желательно не менее чем в 3-х местах вдоль линии измерения) с дальнейшим вычислением по формулам, приведённым в учебном пособии [12] или при горизонтальном положении уровня с помощью двух нивелирных реек (рис. 3.4):

$$h_s = l \tan(\alpha), \quad (3.3)$$

где  $\alpha$  – угол наклона откоса к горизонту, град.



**Рис. 3.4. Измерение превышения гребня плотины/дамбы над уровнем воды в момент обследования:** 1 – плотина; 2 – гребень; 3 – нивелирная рейка (рулетка); 4 – горизонтально установленная нивелирная рейка (рулетка); 5 – уровень

Обе рулетки (или одна из них) могут быть заменены рейками. В качестве горизонтального элемента может быть использован любой ровный предмет. Приведенная схема измерения может быть использована при достаточно большом расстоянии от бровки плотины до уреза воды (телескопические нивелирные рейки изготавливаются достаточно большой длины – 3, 5 и 7 м). При пологих откосах с большим расстоянием от бровки плотины до уреза воды может потребоваться осуществление промежуточного определения. Аналогично требуется выполнение промежуточного определения при значении превышения больше роста оператора. Одновременно с превышением по зависимости  $m = l/h$  определяется, при необходимости, заложение надводного откоса. Это позволит в первом приближении оценить критерий и уровень безопасности плотины по этому показателю [16] и прогнозировать необходимость досыпки гребня плотины/дамбы, особенно в тех случаях, когда понижение отметки гребня сопровождается значительными механическими повреждениями его элементов.

### 3.2. Повреждения, деформации и дефекты верхового откоса

Верховой откос земляной плотины/дамбы наиболее уязвим так как испытывает силовое воздействие. Несмотря на крепление, встречаются случаи появления трещин и разрушения одежды откоса. На верховом откосе имеются зоны сопряжения различных по материалу элементов плотины (например, сопряжение бетонного крепления и обратного фильтра). Анализ проектных материалов по

креплению верхового откоса земляной плотины железобетонными плитами показывает, что одной из главных причин разрушения - укладка плит непосредственно на глинистые грунты плотины без устройства фильтровой подготовки [55]. Многие сооружения в мировой гидротехнической практике оказываются в ситуациях, не предусмотренных проектом, которые требуют особого изучения. К числу таких ситуаций можно отнести вынужденную эксплуатацию водохранилища на уровне мертвого объема (УМО) из-за опасения разрушения (рис. 3.5). Это привело к появлению не только участков разрушения крепления и вымыва грунта из тела плотины на значительную глубину, но и к разрывам в швах между сборными плитами, просадке нижних рядов железобетонных плит на многих участках и пр.



**Рис. 3.5. Разрушения и дефекты бетонного крепления верхового откоса плотины:** а - Октябрьского водохранилища [55]; б – руслового пруда №1 на р. Любосеевка в п. Юность Щёлковского р-на Московской области (фото Черных О.Н.)

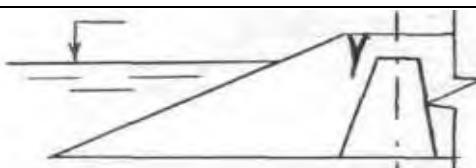
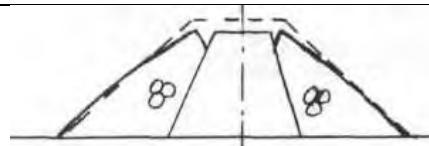
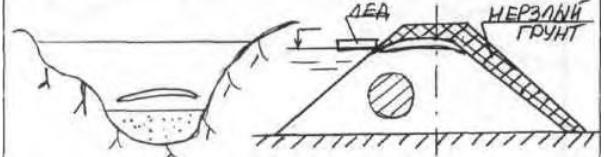
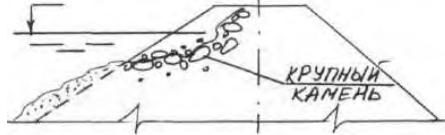
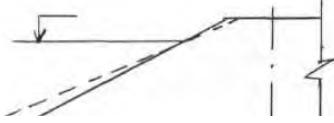
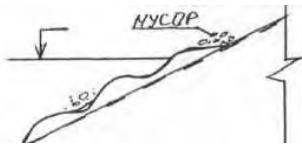
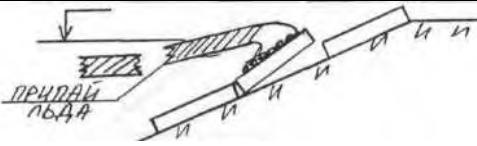
Верховой откос находится под воздействием переменного уровня воды, атмосферных осадков, солнечной радиации, ветра и др. Причиной разрушения обежды откоса является волновое и ледовое воздействие, резкое снижение горизонтов воды и, как следствие этого, появление при быстром понижении уровня воды фильтрационных сил, разрушающие действующих на укрепленный откос. Места переменного увлажнения элементов грунтовой плотины быстрее изменяют свои эксплуатационные показатели. Несмотря на то, что размеры покрытия

верховых откосов определяют расчетом, исходя из воздействия указанных факторов, тем не менее, случаи локального расстройства покрытия в практике наблюдаются нередко. Это является следствием, как некачественных строительных работ, так и местных превышений сил по сравнению с расчетными в проекте, а также отступлений от инструктивных указаний по режиму работы водохранилища. Повреждения откосов, как правило, сопровождаются серьезными осложнениями в работе плотины, а в ряде случаев приводят к ее аварии с тяжелыми последствиями.

При визуальных осмотрах креплений и облицовок откосов грунтовых сооружений должны быть выявлены их деформации, смещения и просадки отдельных элементов, сохранность уплотнений швов железобетонных элементов и связей между элементами, появление трещин в элементах и прогиб покрытий, размыв и другие нарушения в подготовках под проникаемыми покрытиями. На земляных плотинах и дамбах надо обязательно обследовать корневые участки напорных откосов, так как в этих местах при недостаточной врезке крепления в коренной берег возможен волновой размыв тела, берега и подмыв крепления откоса. Результаты обследований в виде описаний, фотоснимков, эскизов, зарисовок, линейных измерений и прочего систематизируются в специальном журнале. Фиксируют наличие на откосе мусора и древесины (табл. 3.2). При осмотрах **каменного крепления** верхового откоса осуществляется регистрация участков переработки откоса волнами и выветриванием, наличия промоин-пазух в верхней части откоса, смещенных в сторону гребня. У подножия пазух по линии уреза воды обычно наблюдается скопление относительно крупного камня. Данный дефект был обнаружен на креплении верхового откоса плотины Пироговского гидроузла. Такой откос может долгое время подвергаться дальнейшему размыву и его следует закрепить, чтобы избежать опасных для плотины повреждений в верхней его части. Крупность камня, подлежащего укладке в зоны размывов, должна назначаться исходя из крутизны верхового откоса плотины и максимальной расчетной высоты волн.

Таблица 3.2.

**Схемы дефектов и возможных повреждений верхового откоса земляных плотин/дамб и его крепления**

№	Наименование дефекта	Схема повреждения
1	трещины растяжения	
2.	трещины сдвига	
3.	трещины откола	
4.	внутренние, продольные, горизонтальные трещины	
5.	переработка откоса волнами	
6.	изменение очертания крутизны откоса	
7.	полосы прибоя, навалы мусора, льда	
8.	поворот плит от примерзшего льда	

9.	деформации откоса	
10.	осадка ж/б плит	
11.	локальная осадка плит без арушения сплошности опищения	
12.	припай льда к откосу	

Состояние крепления верховых откосов с **каменным креплением** определяют по зазорам между камнями, смещению камней к урезу воды, просадкам крепления, подвижкам, деформациям, разрушениям, сползаниям или перемещениям плит, трещинам, расхождениям и деформациям швов, выпучиванию крепления при промерзании откоса и т.п. (рис.3.6б, в). Систематическими визуальными наблюдениями и обследованиями **железобетонного крепления** верхового откоса должны оцениваться качество бетона, наличие процессов его коррозии, обнажение на поверхности плит камней заполнителя и арматуры, сколы кромок плит, появление глубоких каверн. Помимо этого, контролируется: состояние и герметичность швов; геометрия плит и откоса в целом; состояние грунтовой постели под плитами (рис. 3.6г). Признаками повреждения бетонного и железобетонного крепления откоса может быть – увеличение шероховатости поверхности, обнажение камней, заполнителя и арматуры, раскрытие швов, взаимное смещение и просадка плит (Октябрьское, Поляковское водохранилища [55]).

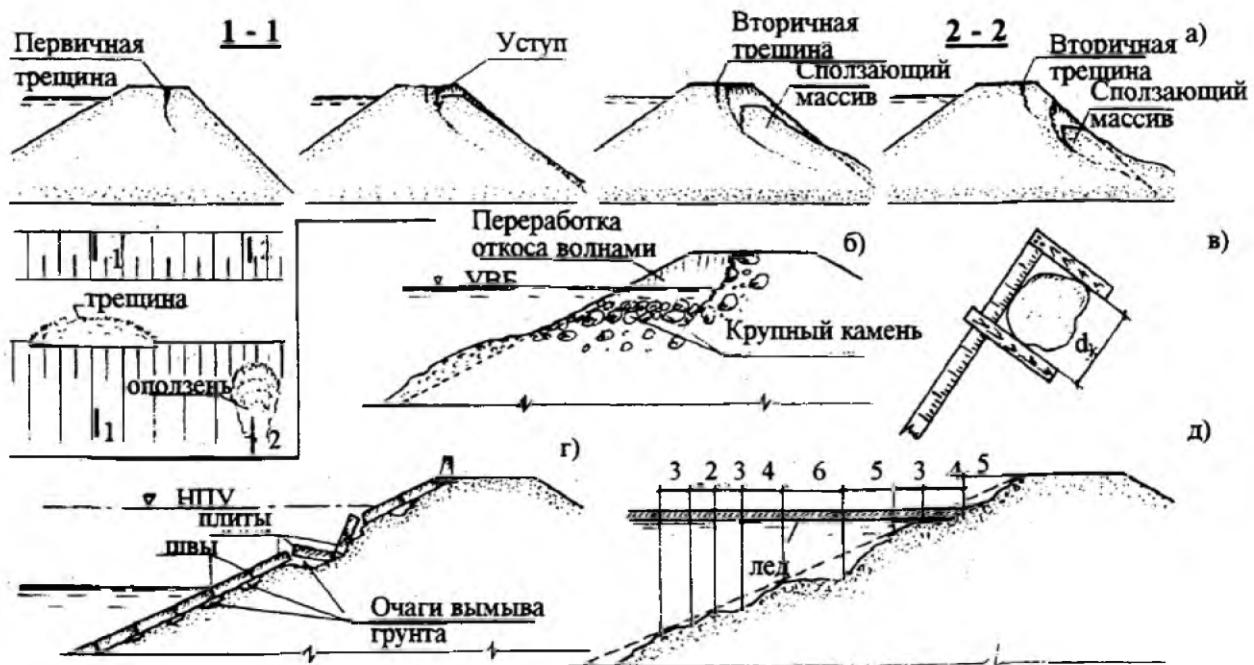


Рис. 3.6. Схемы признаков, стадий оползания откоса и повреждения

**крепления [54]:** а – признаки и стадии формирования оползня; б – переработка волнами каменного крепления; в – измерения крупности камня; г – повреждения плитного крепления; д – съемка откоса со льда

В покрытиях верховых откосов железобетонными плитами нередко появляются трещины (сквозные и поверхностные). Хотя эти трещины не представляют прямой угрозы устойчивости покрытия, тем не менее потенциально в них заложены причины дальнейшей деформации откоса. Причиной образования трещин являются температурно-осадочные явления, неравномерная осадка грунта откоса и внешние силовые воздействия. Появление трещины в железобетонных покрытиях легко обнаружить визуально. Каждую трещину берут под контроль, местоположение ее, геометрические размеры и зону распространения фиксируют в полевом журнале. Рост трещины устанавливают при помощи маяков или щелемеров, простейший из них выполняют непосредственно на месте появления трещины из двух металлических цилиндрических стержней, заделанных в бетон плиты, по обеим сторонам трещины. Рост трещины при пользовании щелемером определяется систематическими измерениями расстояния между центрами закрепленных стержней. Для измерения расстояния пользуются штангенциркулем или другими приборами, дающими возможность вести отсчеты с точностью долей

миллиметра. Глубина трещины определяется щупом или при помощи краски. В последнем случае в трещину вводят красящее вещество, которое окрашивает ее на всю глубину. После окраски в бетоне с одной стороны трещины пробивают лунку, в которой измеряют глубину распространения краски и, следовательно, глубину самой трещины [8, 17, 24, 46]. При прекращении роста трещины её заливают, например, асфальтовой мастикой, устраивая дополнительный деформационный шов.

У откосов с **асфальтовым креплением** можно обнаружить вынос грунта из-под покрытия, просадки. Появление растительности, полосы прибоя, навалы мусора, изменение очертания откосов характерны для всех типов крепления.

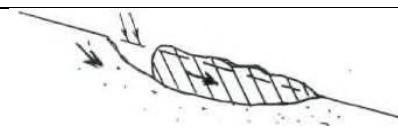
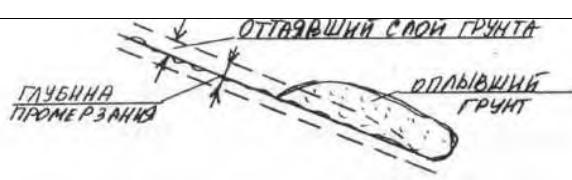
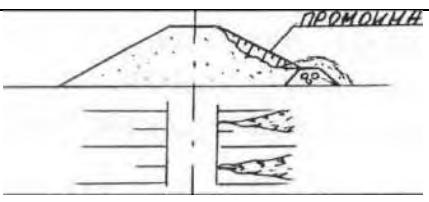
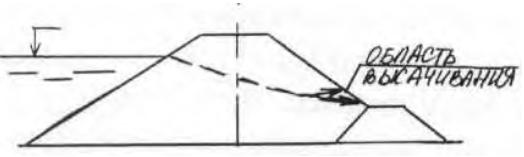
На устойчивость и прочность покрытия верхового откоса влияет **ледовый режим** водохранилища. Воздействие льда на земляную плотину или дамбу проявляется в следующем виде: динамическом, статистическом и вырывающем в результате припая льда к покрытию. Динамическое воздействие льда на откосы водохранилищных плотин незначительно, так как лед движется только в результате ветрового нагона. Статическое давление льда за счет изменения температуры хотя и большое, но в силу того, что прочность льда гораздо меньше прочности материала покрытия, разрушение за счет этой силы не происходит. Устойчивость самой плотины против сдвига обеспечивается, так как суммарные реактивные силы значительно превосходят силы статического давления льда. Наиболее опасным воздействием льда является его вырывающее действие вследствие припая кромки льда к поверхности покрытия. Во время повышения уровня воды в водохранилище ледовый покров всплывает, и покрытие с примерзшим к нему льдом может быть вырвано. При понижении уровня воды в водохранилище также появляется сила, стремящаяся вырвать покрытие. Предельное значение вырывающей силы льда при припое может быть определено из уравнения моментов как для случая понижения уровня воды в водохранилище, так и его повышения.

### 3.3. Повреждения, деформации и дефекты низового откоса

Визуальными наблюдениями за низовыми откосами плотины следует выявлять (рис. 3.7): признаки потери устойчивости (оползания) откосов; повреждения специальных креплений; наличие промоин и просадочных воронок на поверхности низового откоса; повреждения водосборных и водоотводящих лотков; изменения геометрии (очертания) откосов; участки зарастания откосов растительностью; наличие и деятельность землеройных животных; признаки выветривания камня; образование наледей на откосе и порового льда в грунте (табл.3.3).

*Таблица 3.3.*

#### Схемы дефектов и возможных повреждений низового откоса земляных плотин/дамб

№	Наименование дефекта	Схема повреждения
1.	оползни	
2.	осыпи	
3.	оплыв грунта	
4.	промоины	
5.	рассредоточенная фильтрация: высачивание профильтровавшейся воды	

6.	сосредоточенная фильтрация: грифоны, ключи, ручьи	
----	--	--



**Рис. 3.7. Дефекты в примыкании низового откоса земляной плотины к левому берегу створа гидроузла**

При обнаружении трещин явно наметившегося оползня необходимо произвести оперативную установку на потенциально неустойчивом массиве временных высотных марок в виде колышков или арматурных коротышей и организовать геодезические наблюдения за его смещениями более частыми циклами. Наблюдения за просадочными явлениями на откосах выполняются по аналогии с такими же наблюдениями на гребне плотины. Деформации подводных частей откосов фиксируются периодическими съемками их профилей с использованием плавсредств или с ледового покрова.

Обследованием крепления на низовом откосе также следует устанавливать соответствие уложенного в него материала и фактической толщины защитного слоя требованиям проекта. Толщина крепления определяется с помощью проходки на откосе сети шурфиков до обнажения защищаемой поверхности и замеров линейкой толщины слоя материала крепления (рис. 3.8б). Визуальные наблюдения за работой и состоянием водосборных и водоотводящих кюветов на низовом откосе предусматривают: контроль целостности бетонных лотков; проверку

наличия и работы на прием воды дренажных отверстий в стенках и днище лотков; оценку транспортирующей способности лотков при перехвате и отводе поверхностных вод (возможность переполнения лотков водой); контроль заиляемости лотков смываемым с поверхности грунтом (рис. 3.8в).

На повышение кривой депрессии в грунтовом сооружении указывают участки с ярко-зеленой сочной травой, которые резко выделяются на общем фоне откоса сооружения. В таких местах для уточнения положения уровня грунтовых вод целесообразно установить **забивные пьезометры** или вырыть **шурфы** или **шурфики** (рис. 3.9).

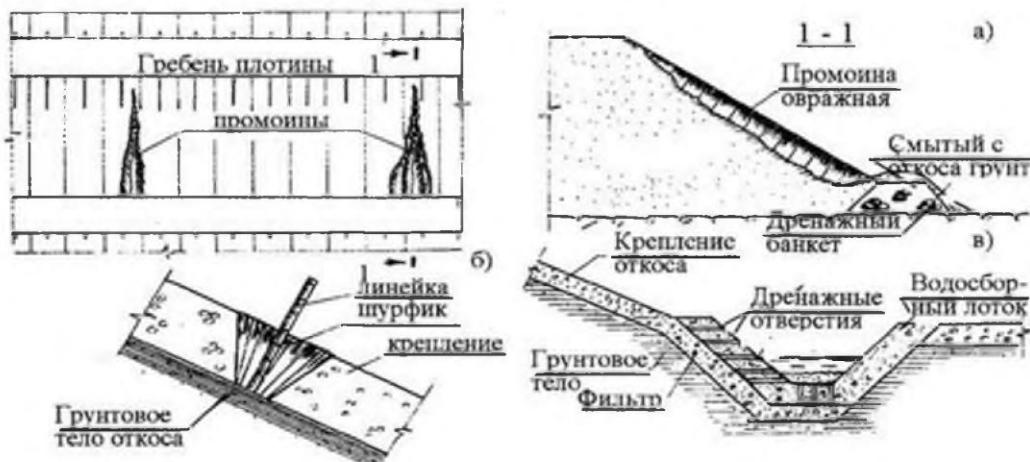


Рис. 3.8. Дефекты на низовом откосе земляной плотины [54]: а - вид

промоин; б - проверка толщины крепления; в - водосборный лоток

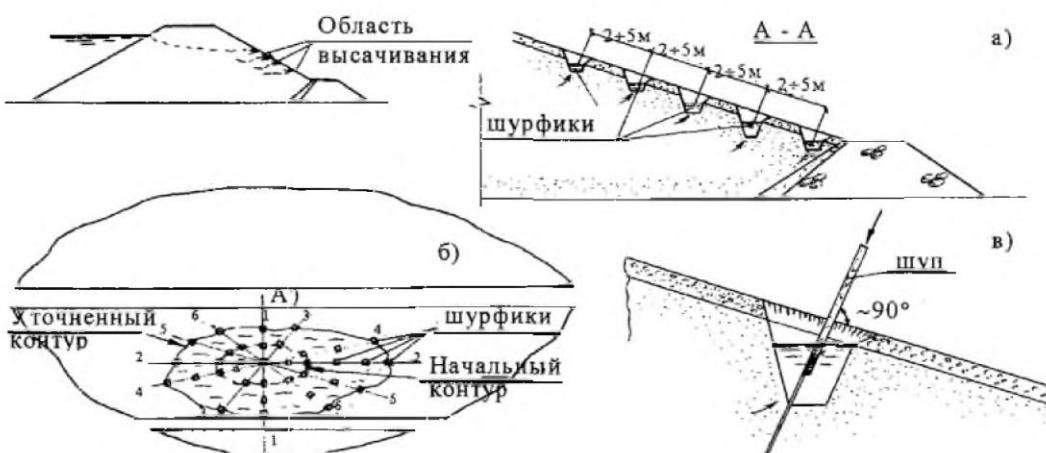


Рис. 3.9. Выявление области высачивания воды на откос [54]: а – устройство шурфиков; б – оконтуривание области шурфика; в – проверка щупом глубины водонасыщения грунта

По дренажным и водоотводящим устройствам отмечают места разрушений крепления откосов канав и кюветов, участки их заиления, наличие и характер сорной растительности, а также измеряют расход протекающей воды (мерными устройствами, поплавками или визуально) [27, 28, 44, 52].

При обнаружении на поверхности откоса признаков жизнедеятельности землеройных и норных животных следует с помощью соответствующих специалистов установить их вид и особенности устраиваемых ими подземных ходов. При создании животными глубоких ходов в теле плотины, особенно в областях фильтрации, противофильтрационных элементов и фильтров, должны быть приняты необходимые меры по защите сооружения или переселению животных в другие места.

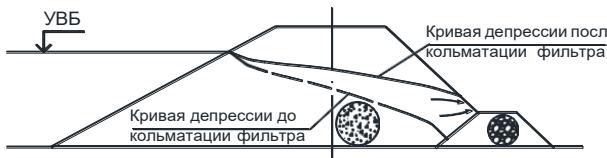
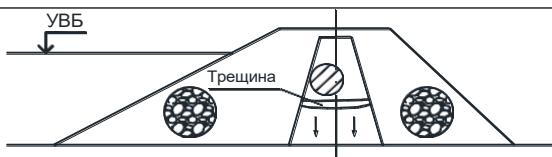
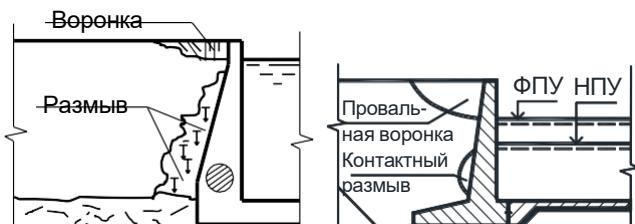
Травяное крепление поверхности низового откоса от размывов верховодкой во многих случаях является достаточно эффективным. Однако травяной покров затрудняет контроль за выходами профильтровавшихся через плотину вод на откос (если такие имеются). Развитие на откосе кустарниковой растительности, с этой точки зрения, также нежелательно. Предусмотренная проектом растительность на откосе должна своевременно скашиваться, а непредусмотренная – удаляться. При осмотрах низового откоса, покрытого травой, необходимо обращать внимание на густоту и цвет травы. Как отмечалось выше в местах повышенной влажности, которые могут быть выходами фильтрационных вод или скоплениями верховодки, трава обычно растет более густой и имеет более яркий зеленый цвет, чем на сухих участках. Наличие крупных деревьев с развитой вглубь корневой системой на откосе недопустимо. Корнями могут пронизываться и нарушаться водоупорные и грунтовые элементы, забиваться фильтровые слои и дренажные устройства. При отмирании крупных корней по ним могут формироваться сосредоточенные очаги фильтрации. Визуальными наблюдениями все эти обстоятельства должны контролироваться.

### 3.4. Дефекты тела грунтовых плотин и зон контакта грунта с железобетонными элементами

Необходимо обследовать полосу территории за дренажом (шириной 40...50 м) так как на этом участке также возможны сосредоточенные выходы фильтрационной воды, особенно при залегании в основании сооружения водопроницаемых грунтов (табл. 3.4).

*Таблица 3.4.*

#### Схемы дефектов и возможных повреждений дренажа и тела земляных плотин/дамб

№	Наименование дефекта	Схема повреждения
	<b>Дренаж</b>	
1		выход из работы: засорение, засорение, зарастание
	<b>ПФУ в теле плотины</b>	
2		поперечные горизонтальные трещины
3		трещины гидравлического разрыва
	<b>Сопряжение с бетонными сооружениями</b>	
4		сосредоточенная контактная фильтрация
	<b>Зона сопряжения с берегами</b>	

5		выходы профильтровавшейся воды
<b>Зона влияния плотины в НБ</b>		
6		деформации ложа и берегов

В период наполнения водохранилища или при нормальной эксплуатации ГТС иногда имеют место **выходы профильтровавшейся** через **плотину воды** на поверхность низового откоса. Такое выклинивание кривой депрессии на низовой откос может происходить в случае выхода из строя дренажа и угрожает потерей суффозионной устойчивости грунтов тела плотины. Такая ситуация не предусмотрена СП, так как считалось, что дренаж должен быть немедленно отремонтирован. Но если финансирование не выделяется на ремонт, и плотины с неработающими дренажами эксплуатируются несколько лет, то постепенное намокание тела плотины грозит потерей устойчивости ее откосов.

Выклинивание может быть или в виде малоинтенсивного **рассредоточенного высачивания** и **намокания грунта** (мокрые пятна), или в виде отдельных сосредоточенных ручейков, фонтанчиков (грифонов), ключей. Проявлениями рассредоточенного выхода являются: заметное увлажнение грунта на поверхности откоса в зоне высачивания воды; оплыивание водонасыщенного грунта; более густая и ярко зеленого цвета трава (если откос покрыт растительностью); характерные зеркальные блики при отражении солнечных лучей от увлажненной поверхности; образование проталин в снежном покрове или парение (в морозные дни) в пределах зоны водонасыщения грунта; образование наледей на откосе зимой. Надёжным способом поиска и оконтуривания зон выхода воды на откос является способ выполнения неглубоких шурfov с шагом примерно 2...5 м и с заглублением в

грунт тела плотины (ниже крепления) на 15...20 см. В местах выхода на откос профилtrированнойся воды шурфики через некоторое время заполняются водой.

Фильтрация в виде **сосредоточенных выходов** воды на дневную поверхность или под уровень воды в нижнем бьефе (грифоны, ключи, ручьи и т.п.) в ряде случаев может представлять реальную опасность для плотины, вызывая нарушения фильтрационной прочности грунта и сооружения в целом. При длительном действии очага сосредоточенной фильтрации в плотине/дамбе или в их основании, сопровождающимся суффозионным выносом грунта, на поверхностях выше очагов могут проявляться просадочные воронки.

Обнаруженные очаги сосредоточенной фильтрации заносятся на масштабные карты-развёртки, выясняется их происхождение, оценивается опасность действия очагов для плотины. Наиболее опасными являются очаги, через которые происходит явный суффозионный вынос грунта из тела плотины или основания. Вынос грунта вместе с фильтрующейся водой фиксируется зритально: по наличию или отсутствию мути в пробе воды, взятой из очага в чистую стеклянную посуду (просмотром на свет); по отложениям мелкого грунта вокруг очага или в местах рассредоточения вытекающей воды по площади; путем специального отбора проб воды и выпаривания из них твердого осадка. Осадок взвешивается на точных аналитических весах.

В грунтовых плотинах явление **неравномерной осадки** часто возникает в зонах между насыпным грунтом и устоями плотины, насыпным грунтом и бетонными конструкциями, такими как водопропускные трубы и водосбросы, непроницаемые ядра и их обочины, противофильтрационные траншеи и примыкающие фундаменты [8, 12, 19]. В таких зонах, поскольку материалы имеют разные модули упругости, эти материалы будут оседать по-разному, а напряжение в зонах может уменьшиться до нуля или даже возникнуть растяжения. Для трубопроводов всегда используются различные типы материалов: дерево; кладка из бутового камня или кирпича; армированный монолитный и сборный бетон; термопластичный и термореактивный пластик; литой и кованый чугун; сварная

сталь; гофрированный металл и алюминий. Независимо от используемого материала, трубопровод или любой транзитный участок водопропускного сооружения представляет собой разрывность в насыпной плотине и её основании. Снижение напряжения за счет неравномерной осадки в некоторых локальных зонах называется явлением *арочного эффекта*. Из-за уменьшения напряжения в эти зонах, за счет него, могут образовываться некоторые трещины (рис. 3.10).



**Рис. 3.10. Формирование зон низкого напряжения и трещин вблизи водовода и устоя в теле грунтовой плотины**

Можно сказать, что снижение напряжения наряду с образованием трещин создают условия, способствующие инициированию *гидравлического разрыва* при заполнении водохранилища плотины, даже при первом заполнении. Эта разрывность может привести к тому, что осадка рядом с трубой будет отличаться от осадки в остальной части насыпной плотины. Земляная насыпь также может быть уплотнена по-другому вокруг трубы, чем в остальной части плотины. Трещины, образующиеся вдоль водопропускной трубы, создают сосредоточенную фильтрацию, что приводит к разрушению плотины (рис. 3.11). Неравномерная осадка и арочный эффект характерны для земляной плотины с ядром (рис. 3.12). Считается, что этот механизм связан с авариями многих исторических земляных каменно-набросных плотин, спроектированных с очень узкими непроницаемыми ядрами и узкими отсечными траншеями, построенными для снижения порового давления воды вовремя строительства, например, плотины Dale Dyke (Англия), Hyttejuvet (Норвегия), Balder-head Dam (Англия). Эти две причины дополнительно описывают совершенно разные механизмы, с помощью которых фильтрация может

привести к разрушению грунтовых плотин. При этом когда гидравлические силы, создаваемые водой, просачивающейся через трещины материала в плотине или её основании, достаточны для отделения частиц и их переноса из плотины., возникает внутренняя эрозия.

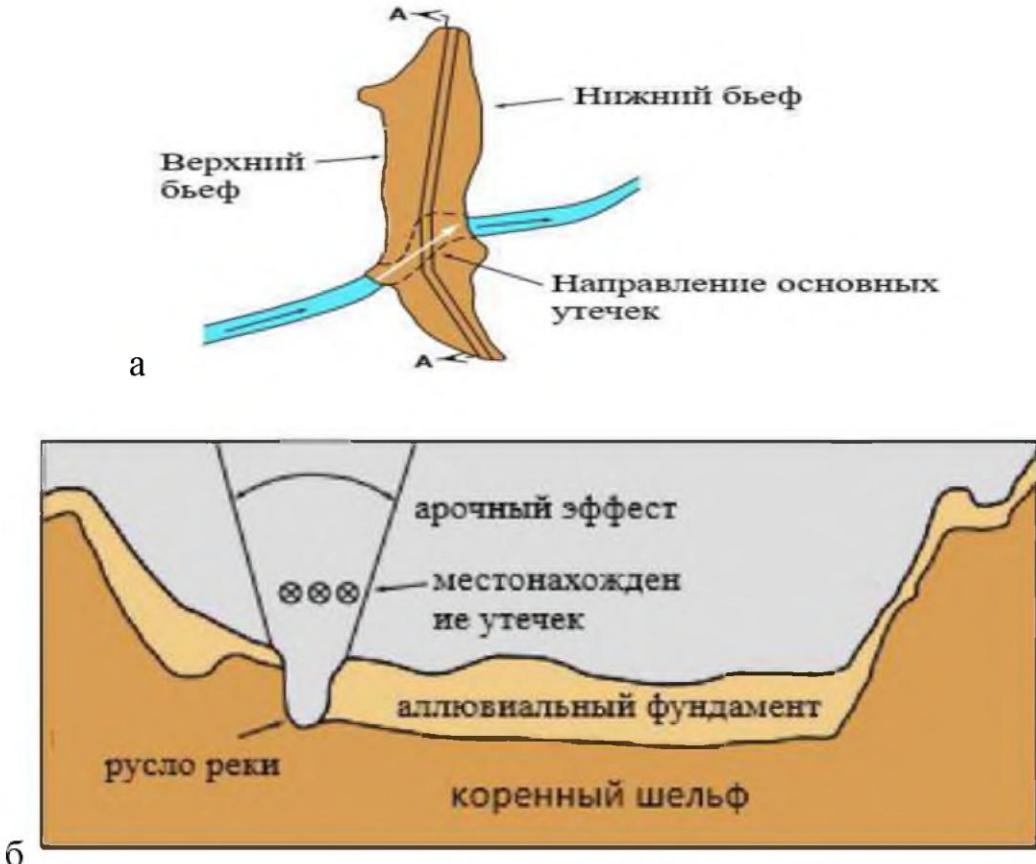


Рис. 3.11. Наиболее вероятные зоны утечек плотины Вистер, США, Нпл = 30 м [19]: а – вид сверху; б – продольный разрез по А-А



Рис. 3.12. Схема формирования зон низкого напряжения и трещин в плотине с ядром

## **4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ГИДРОТЕХНИКИ**

Для ГТС добывающих предприятий одним из приоритетных требований является обеспечение экологической безопасности сооружений (рис. 4.1).



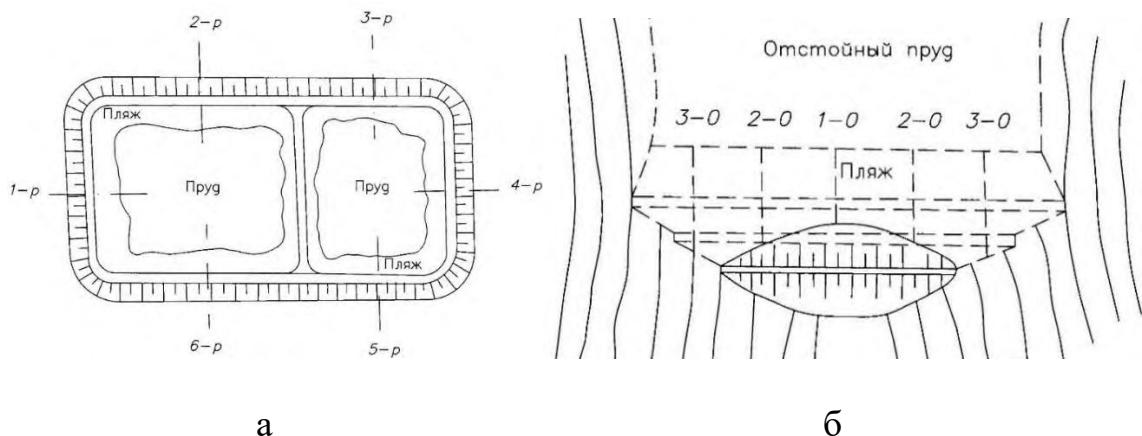
**Рис. 4.1. Хвостохранилище кимберлитовых руд обогатительной фабрики № 3 в Якутии**

Ключевыми сооружениями накопителей жидких отходов и других гидрокомплексов промышленных предприятий помимо систем гидротранспорта пульпы (пульнонасосные станции, пульповоды, аварийные и буферные емкости), систем водоотведения и оборотного водоснабжения (дренажные сооружения, водозaborные и водосбросные сооружения, водовыпуски, водоотводные каналы, насосные станции осветленной воды) являются ограждающие и разделительные дамбы накопителей. В целях обеспечения длительного срока службы и предотвращения загрязнения почвы полигоны оснащаются необходимыми материалами. В промышленных бассейнах, сформированных в выемке или ограждённых дамбами, можно использовать геотекстильную защиту TENCATE (рис. 4.2), которая гарантирует защиту геомембранны от всех рисков механических повреждений. Это экономически эффективное и экологичное решение для сортировки, обработки и утилизации отходов [22, 31, 47].



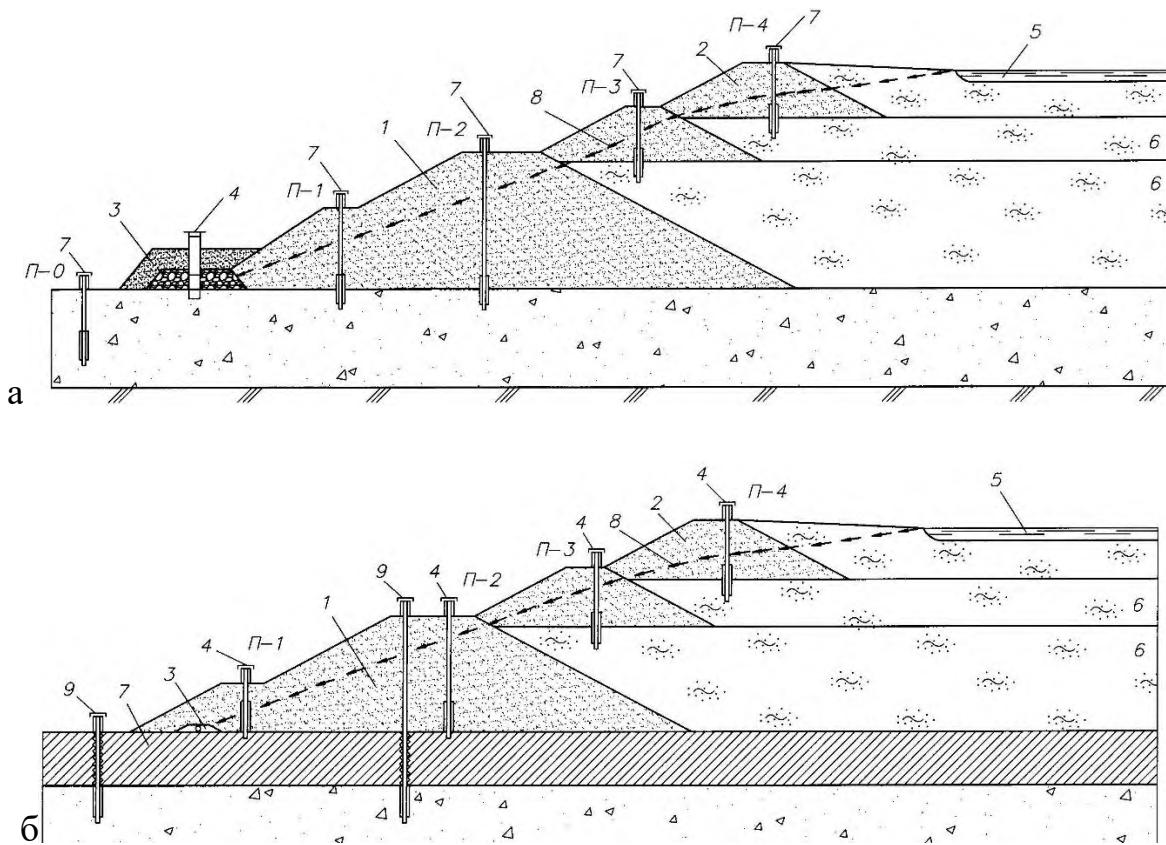
**Рис. 4.2. Использование геотекстильной защиты TENCATE при восстановлении ПФУ накопителя промотходов**

Для наблюдений за положением депрессионной поверхности и другими параметрами фильтрационного потока в плотинах и дамбах промышленного назначения применяются **пьезометры**, устанавливаемые в контрольных пьезометрических створах, расположенных перпендикулярно к продольной оси дамбы (см. главу 5 и [44]). При этом в зависимости от инженерно-геологических условий основания можно выделить две принципиальные схемы оборудования створов пьезометрирования, соответственно равнинного и овражного типов (рис. 4.3).



**Рис. 4.3. Рекомендуемые схемы размещения наблюдательных створов накопителей:** а – равнинного типа (створы 1-6-р); б – овражного типа (створы 1,2,3-0)

При этом первый пьезометр в створе располагается у внешней бровки гребня первичной дамбы, а по мере заполнения накопителя и отсыпки следующего яруса дамб устанавливаются всё более глубокие пьезометры. Нижний пьезометр, контролирующий в основном фильтрационный поток в зоне высачивания, располагается со стороны нижнего бьефа у подошвы низового откоса (рис. 4.4).

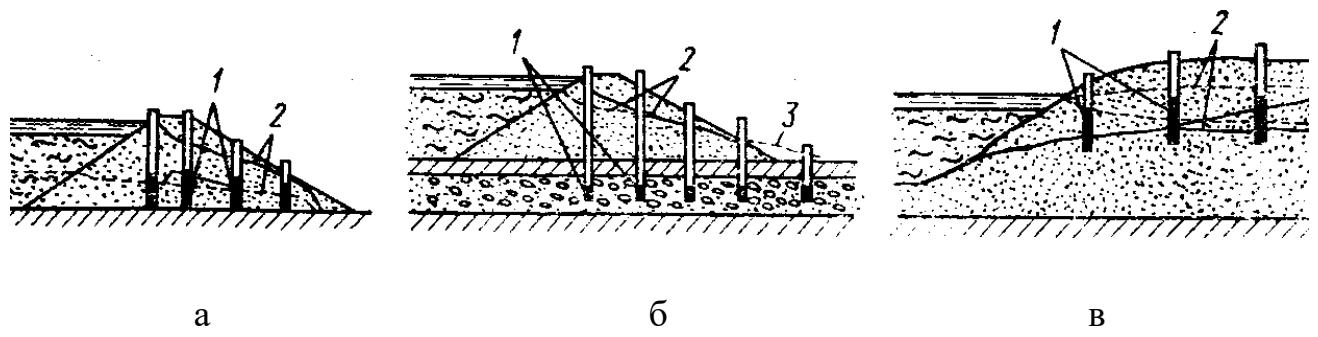


**Рис. 4.4. Продольный разрез по пьезометрическому створу при устройстве накопителя:** а - на проницаемом основании; 1 – первичная дамба; 2 – дамбы наращивания; 3 – незамерзающий дренаж; 4 – смотровой колодец; 5 – отстойный пруд; 6 – массив отходов; 7 – пьезометры; 8 – измеряемые уровни воды; 6 – наличие в ложе накопителя поверхностного слоя из слабопроницаемого грунта; 1 – первичная дамба; 2 – дамбы наращивания; 3 – дренаж; 4 – пьезометры, контролирующие положение кривой депрессии; 5 – отстойный пруд; 6 – массив отходов; 7 – поверхностный слабопроницаемый слой; 8 – кривая депрессии; 9 – напорные (глубинные) пьезометры, контролирующие напорную фильтрацию; 1,2-0 – первичные створы (центральный и боковые) и их поэтапное развитие в сторону пруда в процессе наращивания овражного накопителя; 3-0 – дополнительные боковые створы, оборудуемые на дамбах наращивания новых ярусов

Таким образом, развитие каждого створа продолжается в течение всего периода эксплуатации накопителя. Помимо этого, при многоярусном накопителе необходимо установить пьезометры на бермах низового откоса первичной дамбы.

При расположении дренажа под низовым откосом или внутри него, а также при устройстве внешнего дренажа, защищенного от промерзания теплозащитным слоем (призмой), нижний пьезометр устанавливается после устройства локальных планировок и подсыпок на поверхности основания в нижнем бьефе. Для контроля напорной фильтрации в водопроницаемом слое основания, перекрытом поверхностным слабопроницаемым слоем глинистого грунта или противофiltрационным экраном, устанавливаются глубинные (точечные) пьезометры, водоприемники которых отделены при помощи пробок (глина, инъекции и пр.) от расположенного выше массива дамбы. Для установки в ограждающих дамбах, плотинах и гидроотвале накопителей могут быть рекомендованы как обычные **опускные** (открытые однотрубные точечные, глубинные и шахтные) пьезометры, так и специальные **незамерзающие жидкостные** пьезометры, разработанные для суровых климатических условий. Пьезометры в наблюдательных створах надо стараться размещать таким образом и в таком количестве, чтобы можно было с достаточной полнотой осветить всю картину фильтрации из накопителя, т. е. оценить: состояние ГТС и бортов чаши; работу дренажных, противофильтрационных устройств и территории нижнего бьефа в отношении ее подтопления и заболоченности фильтрационными водами [44].

Расстояние между основными пьезометрическими створами назначают в пределах 100...500 м в зависимости от класса сооружения, высоты дамбы, сложности и неоднородности инженерно-геологического строения ее основания. На накопителях овражного типа при наличии водопроницаемых пород в бортовых примыканиях дамбы обходную фильтрацию в них контролируют установкой дополнительных пьезометрических створов. В плотине и берегах накопителя пьезометры размещаются обычно по ряду створов, совпадающих с направлением фильтрационного потока (рис. 4.5) Причём в берегах желательно устанавливать их в местах, где могут быть утечки промышленных стоков в соседние балки.

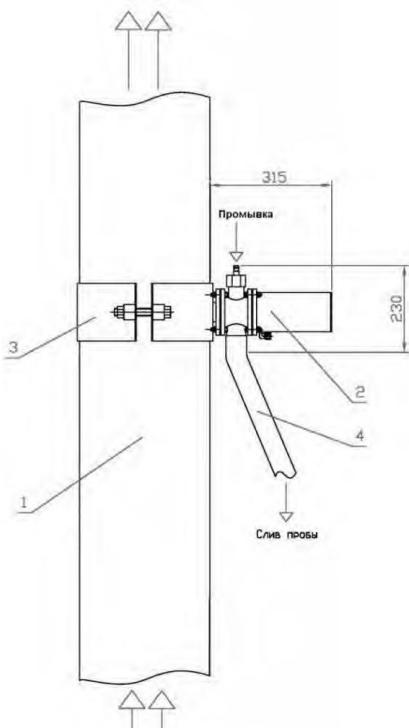


**Рис. 4.5. Схемы размещения пьезометров в теле плотины (а), оснований (б) и береговом склоне (в) шламохранилищ [52]: 1 – фильтры; 2 – кривые депрессии; 3 – линии пьезометрических напоров**

На все пьезометры и осадочные марки, которые располагают здесь, должна быть составлена исполнительная документация, содержащая сведения: о начальных координатах; отметках низа и верха труб, поверхности грунта; литологические колонки, построенные при бурении скважин; материалы исходной топографической съемки с построением полных поперечных профилей, исчерпывающим образом характеризующих фактическое исходное состояние накопителя в момент начала регулярных наблюдений. На этих профилях должны быть нанесены их проектные контуры, в том числе (пунктиром) контуры последующих ярусов наращивания ограждающей дамбы, включая обозначения дренажных и противофильтрационных элементов. Профили являются исходной документацией для последующей фиксации на них результатов наблюдений [44].

Особое внимание при эксплуатации накопителей уделяют контролю работы гидротранспортной системы и параметров потока пульпы, поступающей на намыв. При этом производят: записи показаний расходомера и консистомера; наблюдения за показаниями манометра и вакууметра; контроль и отбор проб для определения гранулометрического состава хвостов и консолидации пульпы; наблюдения за параметрами слоёв отложения хвостов в пульповоде; оценку и замеры износа труб и арматуры [24]. В результате оценивается эффективность использования землесоса и обеспечения требуемого качества материала, подаваемого на намыв ограждающего ГТС.

**Схемы отбора проб пульпы из напорного трубопровода** могут включать как *ручные*, так и *автоматизированные устройства*. Выбор схемы зависит от параметров опробуемого потока и задач отбора проб. Для ручного отбора проб пульпы из потока используют **совок**, **щуп** и **пробоотсекающую раму**. Ручной метод подходит для небольших потоков или в случаях, когда механизированный отбор невозможен. Для отбора точечных проб из потока пульпы используют **автоматические пробоотборники** разной модификации. В смену в соответствии со схемой установки, представленной на рисунке 4.9, необходимо отбирать не менее 3...5 проб. Автоматические пробоотборники должны обеспечивать равномерный отбор проб в течение всего времени работы.



**Рис. 4.9. Схема напорного пробоотборника ПН-2П для отбора пульпы из напорного пульповода [24]:** 1 – технологический трубопровод; 2 – пробоотборник; 3 – крепёжный хомут; 4 – полиуретановый рукав

Затем надо определить расход пульпы на пляж намыва через выпуск, определяя его путём измерения траектории струи по формуле (4.1) в предположении работы водовыпуска полным сечением или по предварительно построенному графику:

$$Q = W \cdot V, \quad (4.1)$$

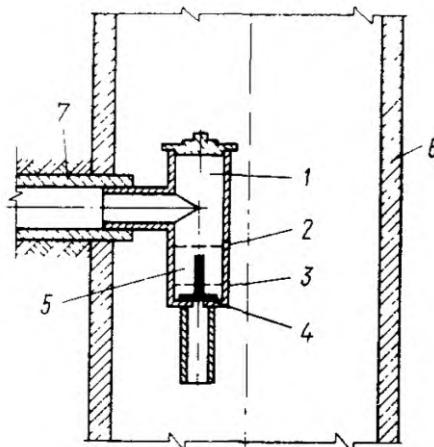
где  $W$  – площадь поперечного сечения водовыпуска при работе полным сечением или площадь живого сечения  $Q$ , занятая потоком,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – скорость потока пульпы при её выходе из выпуска,  $\text{м}/\text{с}$ , определяемая по зависимости

$$V = 2,22L / (H)^{1/2}, \quad (4.2)$$

где  $L$  – расстояние от торца выпуска до середины струи в месте её падения на пляж намыва, м;  $H$  – высота от центра выпуска до поверхности пляжа, м;

$$V = 2,22L / (H-a)^{1/2}, \quad (4.3)$$

где  $a$  – понижение центра сечения струи относительно центра сечения выпуска, м. Данные об измерениях параметров потока пульпы (рис. 4.10) систематически заносятся в эксплуатационные журналы.



**Рис. 4.10. Мерный бачок для измерения расхода в перепадных дренажных колодцах:** 1 – металлический бачок; 2 – отверстие, фиксирующее конец замера; 3 – отверстие начала замера; 4 – клапан закрытия отводящей трубы; 5 – мерный объём; 6 – дренажный колодец; 7 – водоотводящий коллектор

Особенностей эксплуатации ГТС систем гидрозолоудаления и шлакоотвалов ТЭС является борьба с токсичными веществами, которые образуются в процессе гниения на полигонах твёрдых бытовых отходов и представляют сегодня большую опасность для окружающей среды. Гидроизоляция этих ГТС

противофильтрационными экранами является основным требованием при их обустройстве. Водонепроницаемость таких ГТС промышленной гидротехники может обеспечить, например, использование в качестве экрана **геомембран марки «Славрос»** (рис. 4.11). При необходимости отвода влаги по основанию полигона устраивают дренажный слой из геокомпозита «Славрос-Дренаж». В теле земляных плотин и дамб или непосредственно в грунте основания в виде завесы выполняются геокомпозитные диафрагмы. Использование полимерных листов можно рекомендовать и при одновременно наращивании гребня плотины и ремонте откоса дамбы (рис. 4.12).



Рис. 4.11. Использование геоматериала марки «Славрос» в качестве экрана

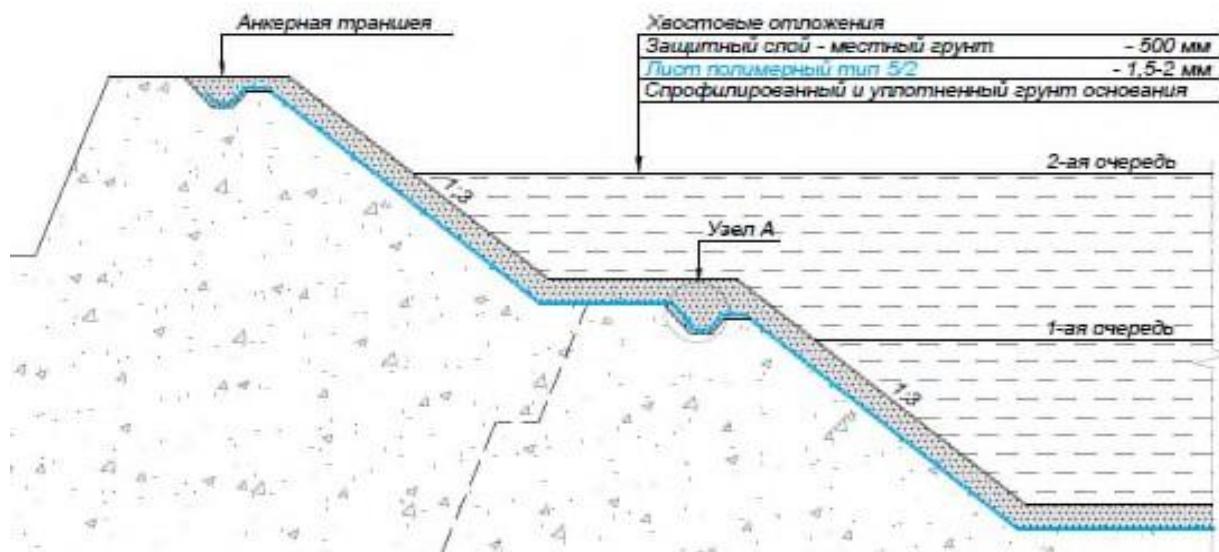


Рис. 4.12. Схема наращивания дамбы хвостохранилища и шламохранилища с замком

**ООО "ТехноПластИнжиниринг" Россия** рекомендует для широкого применения для изоляции и ремонта покрытий ТехноПласт – рулон на ГТС,

предприятиях топливно-энергетического комплекса и химической промышленности (рис. 4.13). Он основан на специфицированных смолах (паста), армированных матрицей из стекла Е-типа, защищён стеклом С-типа или полиэстеровой прокладкой и антиултрафиолетовой пленкой. Его использование обеспечивает: высокий уровень надежности и безопасности; удобство и простоту монтажа; отсутствие эксплуатационных затрат; возможность технического диагностирования приборным методом.



**Рис. 4.13. Использование Технопласт-рулона при ремонте ГТС:** а – схема; 1 – блокировочная ультрафиолетовая пленка; 2 – паста; 3 – прокладка; 4 – стеклянная армированная матрица; б, в – соответственно до и после ремонтных работ

## **5. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

В последние годы на гидроузлах корпорации РУСГидро введена автоматизированная система диагностического контроля (АСДК). Она включает в себя автоматизированную систему опроса датчиков (АСОКИА) и информационно-диагностическую систему (ИДС), например, БИНГ-3, работающих в общей компьютерной сети (локальной или корпоративной) и интегрированные на программном уровне. АСОКИА осуществляет сквозную передачу данных от первичных датчиков до центрального сервера сбора данных. На выходе из сервера сбора данных АСОКИА интегрируется с ИДС БИНГ-3. АСДК ГТС структурно включает в себя следующие элементы:

- нижний уровень –контрольно-измерительная аппаратура (КИА): датчики, измерительные устройства;
- средний уровень – система телекоммуникаций, преобразования и передачи информации в цифровом коде на центральный блок сбора данных АСОКИА;
- верхний уровень – программно-технический комплекс, содержащий центральный блок автоматизированного опроса АСОКИА и информационно-диагностическую систему контроля безопасности сооружений (ИДС) с соответствующим компьютерным и программным обеспечением.

В соответствии с Правилами технической эксплуатации ГЭС с целью оперативной оценки состояния ответственных напорных ГТС I и II классов должны быть оснащены АСДК.

### **5.1. Наблюдения за перемещениями элементов конструкций грунтовых ГТС**

Инструментальные наблюдения за горизонтальными перемещениями грунтовых конструкций проводятся с помощью геодезических приборов и следующих приспособлений: **реперов; подвижных и опорных визирных марок; створных знаков и указателей; прямых и обратных отвесов; инклинометров; оптических, магнитных или струнных датчиков перемещения** [61]. Контроль

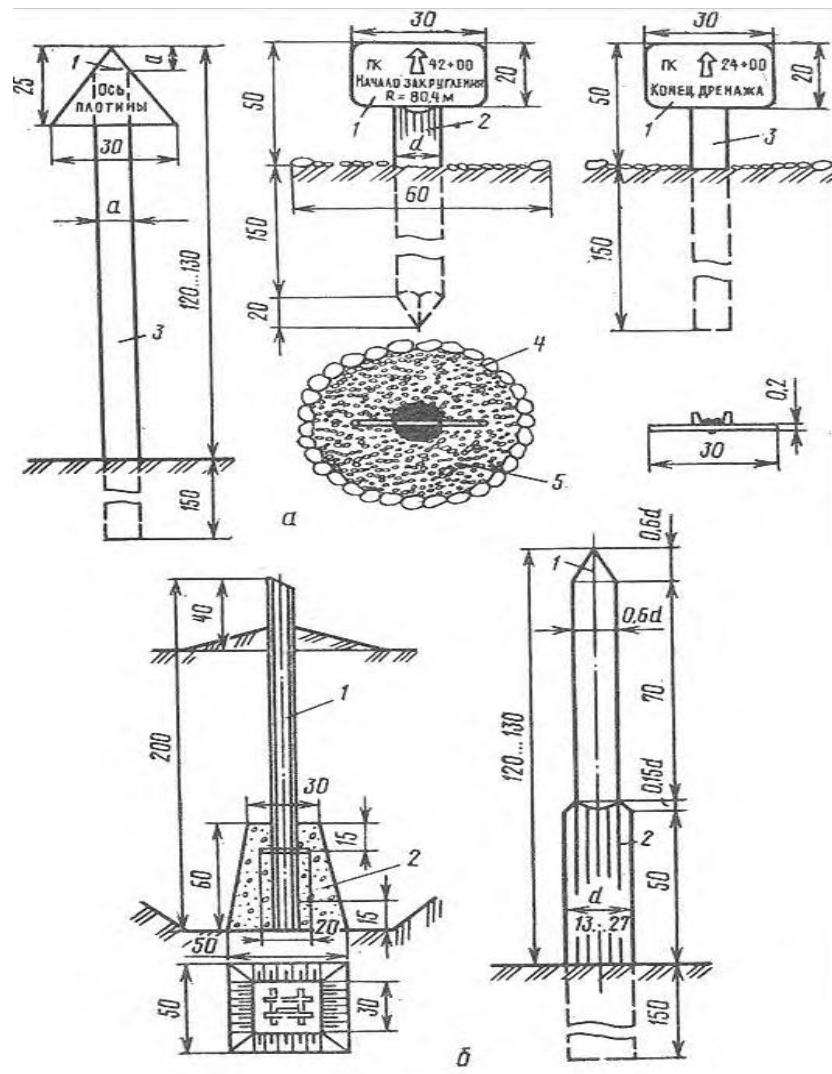
**осадок ГТС выполняется с использованием следующих приборов и устройств: поверхностных, боковых, глубинных марок; рабочих и фундаментальных реперов; гидростатических нивелиров; инклинометрических труб; элеваторов высот.**

Состав работ по автоматизированному мониторингу деформаций ГТС в процессе измерений деформаций включает определение: величины вертикальных смещений (осадок, просадок, подъёмов); горизонтальных смещений (сдвигов); кренов. Чтобы организовать геодезические наблюдения за вертикальными смещениями, в основание ГТС по его периметру закладываются деформационные (осадочные) марки, по которым проводится высокоточное геометрическое нивелирование с использованием прецизионных цифровых нивелиров. Разностные значения высотных отметок осадочных марок, получаемые при каждом последующем цикле измерений, дают возможность анализировать абсолютные величины деформаций и скорости их изменений. Геодезические измерения горизонтальных смещений проводятся преимущественно для объектов, расположенных в местах естественных уклонов (оползневые участки, склоны оврагов, берега рек и пр.). При этом применяются геодезические высокоточные роботизированные станции.

### **5.1.1. Наружные устройства**

Для выполнения инструментальных измерений, в том числе и горизонтальных деформаций ГТС должно быть оснащено **плановыми знаками**, составляющими сеть: *опорные знаки*, закладываемые вблизи объекта, относительно которых определяют смещения сооружений или его частей; *контрольные знаки*, которые закладываются в ГТС и, перемещаясь вместе с ним, характеризуют горизонтальные смещения; *исходные знаки*, закладываемые за пределами возможных деформаций пород, относительно которых определяют смещения опорных и контрольных пунктов. За **перемещениями плотин**, имеющих прямолинейные оси, обычно наблюдают методом створов. Если створ плотины состоит из нескольких прямолинейных участков, то применяют комбинированный метод – на прямолинейных участках используют метод створов, а точки излома оси

фиксируют методом триангуляции. Для фиксирования положения осей различных коммуникаций, проложенных в теле плотины (дренажей, экранов, крепления, диафрагм и др.), применяют **знаки-указатели и створные знаки**, выполненные из различных материалов (дерева, металла, железобетона, пласти массы) и обозначенные соответствующими надписями (рис. 5.1 и п. 2.3.1).



**Рис. 5.1. Знаки-указатели (а) и створные знаки (б) [17]:** 1 – указатель оси створа; 2 – деревянная или бетонная опора; 3 – металлическая опора; 4 – бордюрный камень; 5 – щебень или галька. Размеры в см

**Указатели** – наземные знаки, указывающие оси сооружений, места их поворота, начало и конец скрытых конструкций (дренажей, экранов, креплений осей промеров, мерных знаков и т.п.), можно встретить практически на всех плотинах, эксплуатируемых последние 50 лет [8, 12, 17, 54], как и **створные знаки** – указатели, устанавливаемые раньше для фиксирования расстояний по длине

сооружения. Число высотных марок и их размещение зависит от размеров и конструктивных особенностей ГТС, а также от геологического строения его тела и основания.

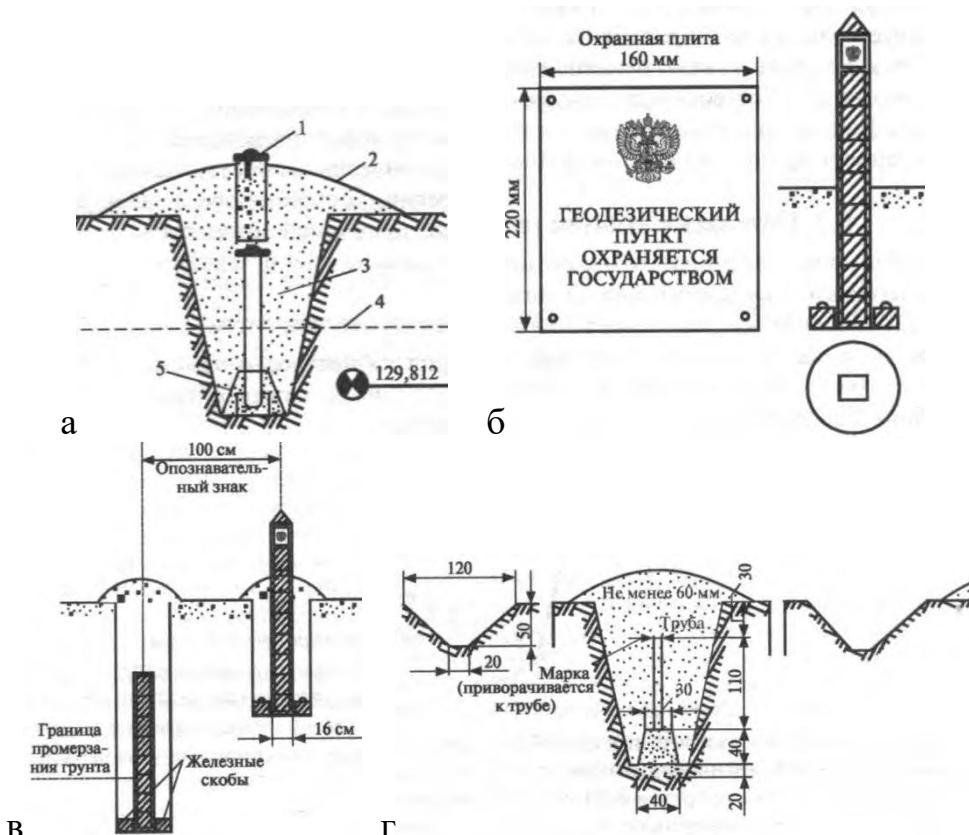
**Точность определения горизонтальных смещений** составляет обычно не менее 3...5 мм, а цикличность соответствует нормативной документации или определяется декларацией безопасности [2, 31, 45]. Для нормальных условий эксплуатации измерения горизонтальных смещений земляных плотин должны выполняться каждый квартал в первые 2...3 года после наполнения водохранилища и 1...2 раза в период его постоянной эксплуатации. Результаты измерений фиксируются в журналах наблюдений за горизонтальными смещениями контрольных пунктов, составляется сводная ведомость и графики как всего земляного сооружения, так и его отдельных секций.

Оформление результатов **за осадками** удобно проводить в виде графиков: по оси ординат – осадки, а по оси абсцисс – время (декады, месяцы). С графиком осадок приводят график изменения температуры или уровня воды в водохранилище во времени. Графически представляют также осадки по различным створам, по длине плотины. Наблюдения за осадками заключаются в периодических нивелировках марок, определении осадок и анализе результатов. Периодичность нивелирования зависит от ряда факторов: от геологического строения тела плотины и основания, от продолжительности срока эксплуатации грунтовых сооружений, условий работы и т.д. На основе опыта эксплуатации грунтовых ГТС рекомендуется следующая ориентировочная периодичность замеров осадок: в первый год эксплуатации – 2 раза в месяц, а в дальнейшем – 1 раз в квартал. По истечении двух лет эксплуатации осадки измеряются весной и осенью, а при стабилизации осадок – 1 раз в год.

Осадки оснований достигают различных величин. Например, на плотине Кременчугской ГЭС осадки составили 200...610 мм и находились в проектных пределах. Каменно-набросная плотина в Гваделупе (Мексика) 2,1 м при высоте 30 м; грунтовой плотины Табка (Сирия) из доломита с ядром 80 мм при высоте 58 м.

Полученные результаты наблюдений за перемещениями грунтовых ГТС обрабатывают учитывая, что в строительный период перемещения трудно поддаются четким закономерностям. Однако при постоянной эксплуатации и нормальной работе сооружения перемещения носят закономерный характер. Отклонения от закономерностей изменения состояния сооружения обычно указывают на то, что надо тщательно разобраться и при необходимости принимать экстренные меры. Нарушение идентичности осадок в однотипных сечениях свидетельствует о плохом качестве выполнения работ, повышенной фильтрации, об укладке мерзлого грунта, появления оползней и т. д. Незатухающий характер осадок возникает при появлении повышенной механической или химической суффозии.

**Реперы** – исходные знаки высотной основы, практически неподвижные в течение всего периода эксплуатации. Они служат для определения высотного положения отдельных точек сооружения с помощью нивелирования (рис. 5.2).



**Рис. 5.2. Встречающиеся типы нивелирных реперов:** а – капитальный грунтовый репер государственной нивелирной сети; б – железобетонный опознавательный столб; в – репер пylonного типа; г – трубчатый репер

Реперы, используемые при строительстве и эксплуатации ГТС, можно разделить следующим образом:

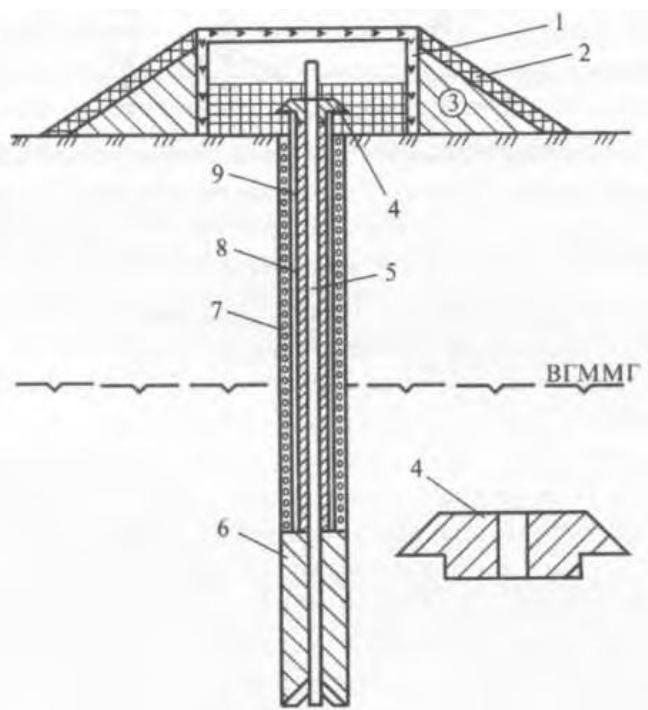
по капитальности - фундаментальные реперы Управления геодезии и картографии, исходные и рабочие (рис. 5.2, 5.4);

по местоположению - поверхностные (рис. 5.2, 5.5), глубинные и стенные;

по возведению – устроенные путем рытья котлована и бурения скважин, заделанные в стены и другие конструкции;

по климатическим условиям – работающие в обычном климате и в условиях многолетней мерзлоты (рис. 5.3).

Реперы могут быть бетонными, железными (обычно из обрезков стальных труб) и деревянными (рис. 5.2 и 5.6). Во всех случаях репер должен иметь строго фиксированную площадку для установки на ней рейки. Железные и деревянные реперы снабжаются у нижнего конца горизонтальным крестом соответственно из железных стержней и деревянных планок. Глубина заложения реперов должна быть не менее 1 м.



**Рис. 5.3. Постоянный мерзлотный репер:** 1 – деревянный короб; 2 – торф или мох; 3 – грунт; 4 – заглушка; 5 – стержень репера, заанкеренный в вечномерзлый грунт; 6 – глинистый или бетонный раствор; 7 – засыпка песком; 8 – заполнение солидолом; 9 – труба

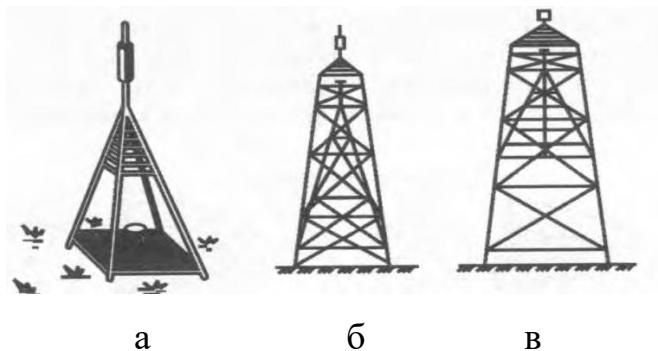


Рис. 5.4. Встречаемые конструкции наружных геодезических знаков [17]:

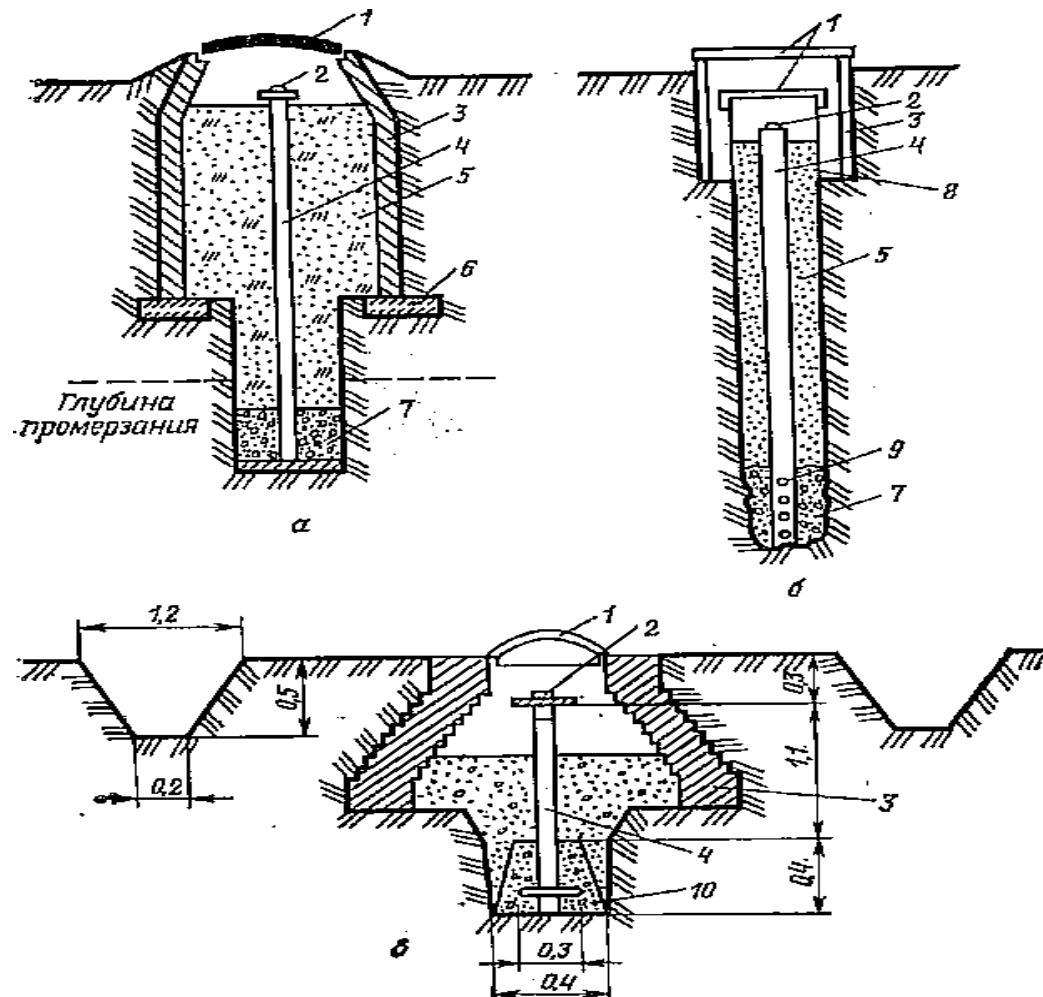
а – пирамида; б – простой сигнал; в – сложный сигнал

**Исходные реперы** называют также *опорными*. Для сооружений I и II класса располагают обычно в нижнем бьефе в удалении от створа на 1,5...3,0 км на разных берегах кустами по 3 репера. В плане реперы размещают по прямой или треугольником с расстоянием между реперами в кустах 20...30 м. Для сооружений III класса при незначительном их удалении от репера Управления геодезии и картографии разрешается вместо куста устраивать один репер. Расстояние от куста исходных реперов до марок, расположенных на сооружениях, принимают обычно не более 1 км, при этом важно, чтобы деформации на сооружениях не вызывали перемещения реперов.

На глубину закладки исходных реперов влияют колебания температуры грунтов, уровни грунтовых вод, а также глубина залегания коренных пород.

**Исходный репер на нескальных** (в глинистых и песчаных) грунтах состоит из стальной трубы диаметром не менее 80 мм, забетонировано в усеченную четырехугольную пирамиду (рис. 5.5 и 5.6). На трубе приваривают три марки: на верхнем срезе, на ее боковой поверхности и третья замоноличивается в верхнюю грань пирамиды. Эти марки изготавливают из нержавеющего и не окисляемого металла и окрашивают в красный цвет. Трубу внутри заполняют бетоном или битумом, а снаружи защищают от коррозии асфальтовым лаком, кузбасс-лаком или другими анткоррозийными покрытиями и обертывают мешковиной или стеклотканью (2...3 слоя), пропитанной битумом. **Рабочие реперы**, иногда называемые грунтовыми, устанавливают произвольно, ближе к сооружениям. В мягких грунтах их подошву располагают на 0,5...0,7 м ниже максимальной глубины

промерзания. Как и исходные, рабочие реперы устраивают путем рытья котлована (рис. 5.5а) или бурения скважины (рис. 5.5б). Существуют и другие конструкции рабочих реперов: например, в нижней части их может быть установлен бетонный массив (тумба).



**Рис. 5.5. Рабочие реперы [17]:** а – в котловане; б – в пробуренной скважине; в – с бетонным массивом в основании; 1 – защитная крышка; 2 – нивелировочная марка; 3 – колодец; 4 – стальная труба диаметром 40...50 мм; 5 – теплоизоляционный материал; 6 – бетонная плита; 7 – якорь, состоящий из слоя бетона и анкерной плиты размером 40x40x5 см; 8 – защитная труба; 9 – перфорация; 10 – бетонный массив. Размеры в м

**На скальных грунтах** репер – скважина диаметром 120...160 мм; якорь на прочной скале; низ скважины залит бетоном, в который заделана труба из нержавеющей стали; сверху скважина закрыта колодцем. На ответственных гидроузлах глубина скважины до 25 м. Недостаток – температурное изменение

длины трубы. Иногда реперы устанавливают в штольнях в берегах на глубине 10...15 м.

В вечной мерзлоте устанавливают глубинные *реперы струнного типа*: проволока 1,5...1,7 мм, натянутая в скважине между бетонным якорным устройством с грузом, перемещающимся по шкале на поверхности в защитной трубе с окошком (рис. 5.6).

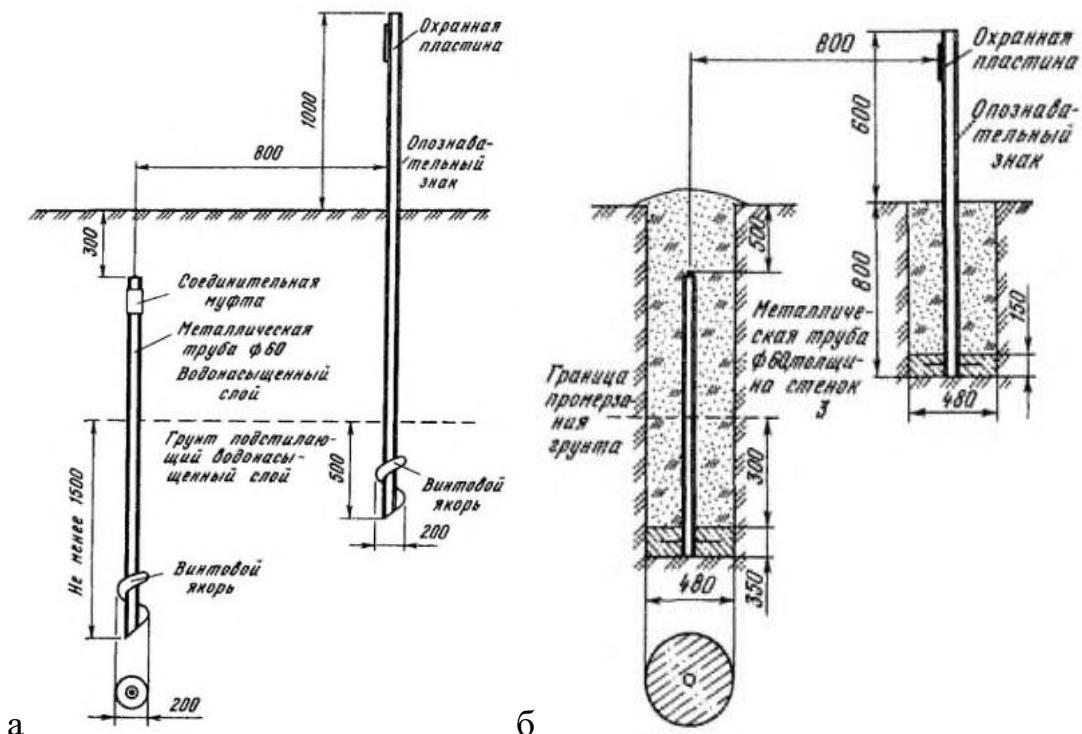


Рис. 5.6. Реперы для области сезонного промерзания менее (а) и более 2 м (б)

**Стенные реперы (марки)** устанавливаются на массивных стенах сооружений, осадки которых стабилизировались (не всегда) (рис. 5.7).

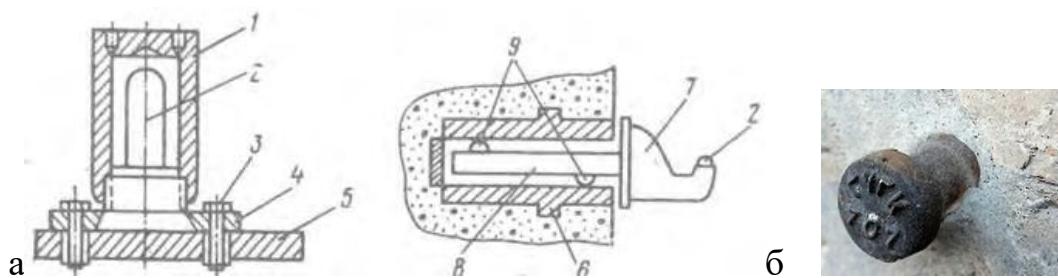
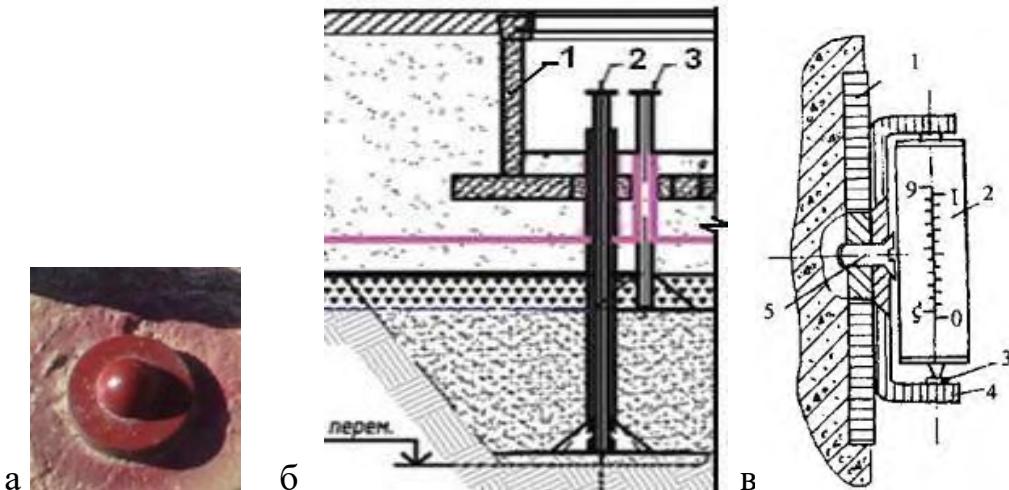


Рис. 5.7. Стенные рабочие реперы-марки [17]: а – боковой постоянный; б – временный на вертикальной стене; 1 – крышка; 2 – марка; 3 – крепёжные винты; 4 – основание марки; 5 – швеллер, заделанный в стену; 6 – полый цилиндр в стене; 7 – кронштейн; 8 – хвостовик; 9 – полусферические выступы

Марки в наблюдательной сети могут представлять собой металлический дюбель либо анкерный болт, длиной не менее 150 мм, диаметром стержня 8...10 мм с круглой или шестиугранной головкой; уголковый кронштейн с размерами, обычно не превышающими 150 мм на 250 мм; рефлекторную марку (пленочный отражатель), наклеиваемую на исследуемый объект. Первые два типа марки позволяют установить нивелирную рейку или призменный отражатель.

### 5.1.2. КИА для контроля за перемещением плотин и дамб из грунтовых материалов

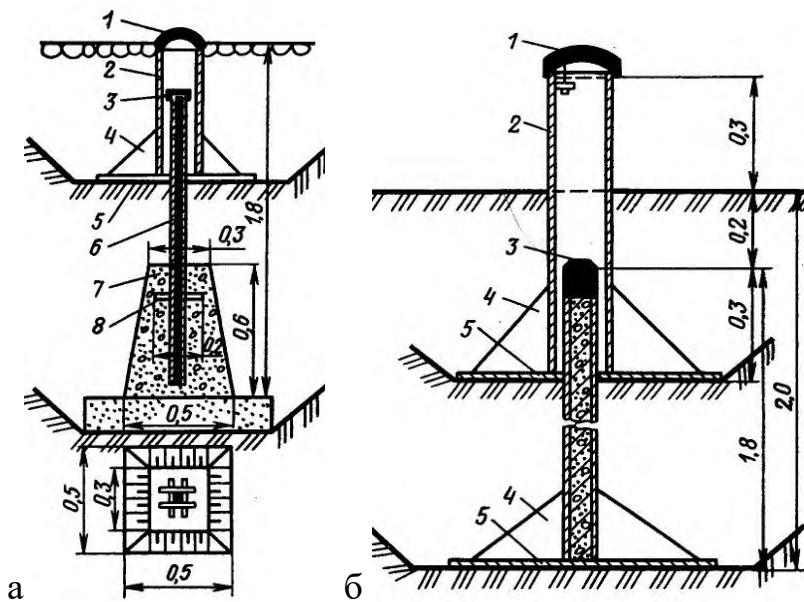
Чаще всего сейчас и ранее о деформации (осадках и перемещениях) сооружения судят по перемещениям марок (рис. 5.8) относительно реперов. **Марки** – устройства с фиксированной в плане точкой, закладываемые в исследуемое сооружение или основание и перемещающееся совместно с ним. Марки подразделяются: *по размещению* – на поверхностные и глубинные; *по местоположению* – на грунтовые, стенные; *по назначению* – на постоянные и временные.



**Рис. 5.8. Конструкция марок:** а – общий вид поверхностной осадочной марки МПБ на бетонном элементе; б - в колодце; 1 – наблюдательный колодец; 2 – глубинная марка; 3 – поверхностная марка; в – боковая стенная марка конструкции Пискунов; 1 - закладная деталь; 2 - инварная полоса; 3 - опорная пятка; 4 - держатель марки; 5 - крепежный винт

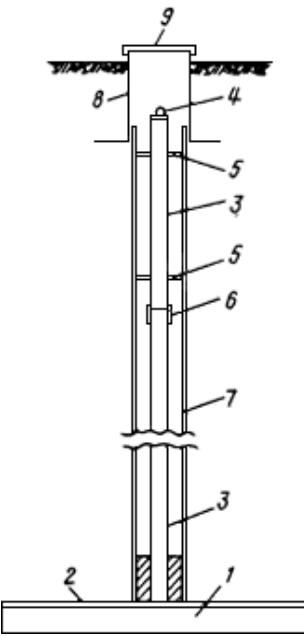
**Поверхностные марки** служат для измерения суммарных осадок тела плотины и основания. Их располагают на гребне, откосах или бермах грунтовых сооружений. Основанием поверхностных марок могут служить бетонные тумбы в

виде усеченных четырехугольных пирамид (рис.5.9) или металлические опорные фланцы, приваренные косынками. Подошву марки (основание) закладывают на 0,5 м ниже глубины большего сезонного промерзания. Для защиты марки от повреждения в верхней части ее устраивают колодец, оборудованный крышкой. Верх колодца, выполненного из трубы диаметром 200...250 мм, выступает над поверхностью земли на 0,3 м.



**Рис. 5.9. Поверхностные марки грунтовых сооружений [17]: а – с бетонной тумбой; б – с металлическим опорным фланцем; 1 – крышка; 2 – труба; 3 – нивелировочная марка; 4 – косынка; 5 – фланец; 6 – труба, заполненная бетоном или битумной мастикой; 7 – бетонная тумба; 8 – анкеры. Размеры в м**

**Вертикальные перемещения внутренних точек** плотин и оснований и послойные осадки измеряют с помощью **глубинных** (одиночных или многоярусных) и **гидростатических марок**, закладываемых в сооружение в процессе его строительства. С помощью **глубинных марок** измеряют **осадки оснований**. Конструкции их различаются в зависимости от условий их возведения. При наблюдениях за деформациями плотин из грунтовых материалов применяют наряду с общепринятыми и специальное оборудование, знаки с учетом специфики плотин и задач наблюдений. Например, **плита-марка конструкции Гидропроекта** предназначена для определения осадки основания или послойной осадки плотины высотой до 30...40 м (рис. 5.10).

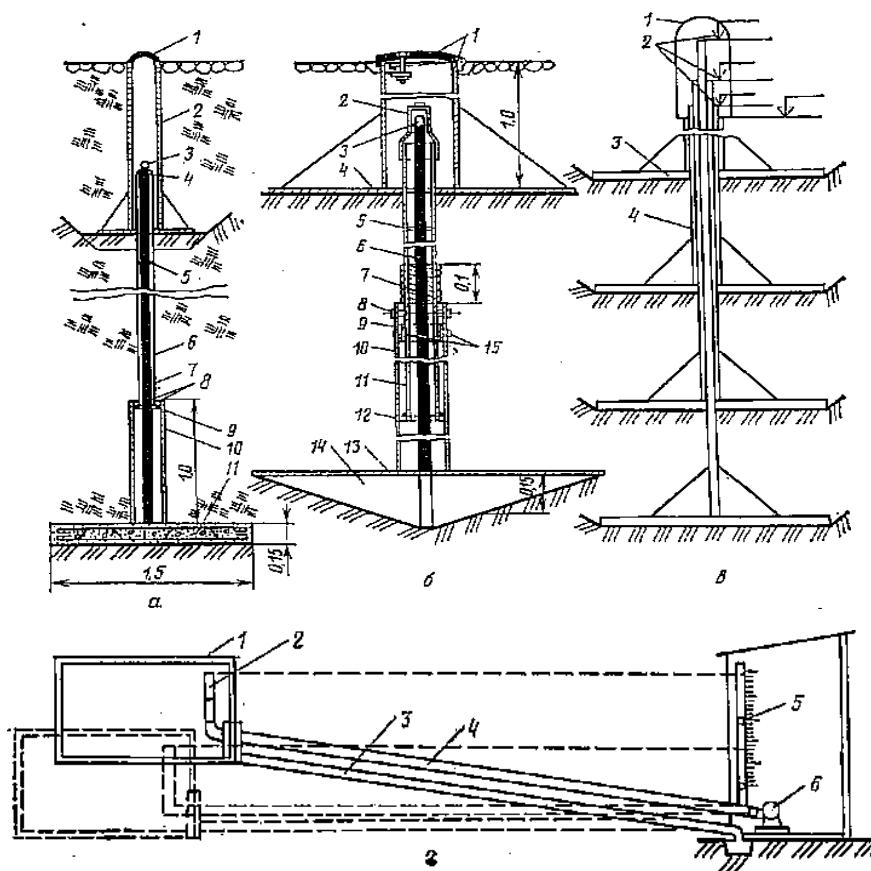


**Рис. 5.10. Плита-марка конструкции Гидропроекта:** 1 – армированная плита; 2 – стальной лист; 3 – трубчатая штанга; 4 – марка с полусферической головкой; 5 – пружинящие скобы или диски; 6 – муфты соединений; 7 – труба; 8 – защитный колодец с крышкой 9

Для измерений **осадок отдельных слоёв многослойного основания** сейчас чаще используют **многоярусные телескопические марки**, а относительные деформации **тела плотины** в различных точках и любых направлениях определяют с помощью глубинных марок, состоящих из неэлектропроводных труб, расположенных в заданном направлении, вокруг которых в определенных местах вмонтированы металлические пластины (рис. 5.11).

На рисунке 5.11а показана глубинная многоярусная марка, которую можно монтировать на сухих участках. Она имеет железобетонную плиту размером  $1,5 \times 1,5 \times 0,5$  м, к которой прикрепляется металлическая штанга диаметром 40...50 мм с приваренной наверху маркой в виде полусферической головки из неокисляющегося металла. Такая штанга защищена телескопическим звеном из двух труб, снабженных направляющими дисками (шайбами) из материала, не подверженного коррозии. Марка (рис. 5.11а) состоит из телескопической системы труб, свободно перемещающихся относительно друг друга, каждая из которых приварена к горизонтальной плите. Верхние концы труб выводят на поверхность и оборудуют марками. Плиты и жестко соединенные с ними трубы следуют за

перемещениями грунта на уровне их закладки. Эти перемещения измеряют путем геометрического нивелирования верхних концов труб.



**Рис. 5.11. Глубинные марки для измерения осадок в теле грунтовой плотины [17]: а – с железобетонной плитой; б – с металлической плитой; в – многоярусные телескопические**

**плотины [17]: а – с железобетонной плитой; 1 – крышка; 2 – труба диаметром 150 мм; 3 – марка; 4 – центрирующая крышка; 5 – свинцовая заклёпка; 6 – защитная труба; 7 – штанга; 8 – кольцевая прокладка; 9 – направляющий диск штанги; 10 – телескопическое звено защитной трубы; 11 – железобетонная плита; б – с металлической плитой; 1 – труба диаметром 200 мм с люком; 2 – защитная крышка; 3 – марка; 4 – плита; 5 – направляющий диск; 6 – труба марки; 7 – сальник из просмолённой верёвки; 8 – винт-шпонка; 9 – вкладное кольцо; 10 – защитная труба; 11 – внутренняя труба; 12 – направляющее кольцо; 13 – плита основания; 14 – ребра жёсткости; 15 – алюминиевые заклёпки; в – многоярусные телескопические; 1 – защитная крышка; 2 – марки; 3 – плита; 4 – труба; г – гидравлические; 1 – защитный кожух (металлический ящик); 2 – внутренний сосуд; 3 – сливная труба; 4 – соединительная труба; 5 – пьезометр; 6 – насос.**

Размеры в м

При изменении положения этих пластин на 3...4 мм зонд, проходящий внутри этих труб, подает электрический сигнал, замыкая их. Таким образом, фиксируются горизонтальные подвижки грунта. И можно определить на какой глубине произошло смещение. Конструкции зондов могут быть различными, в том числе

электромагнитными (рис. 5.11б), фиксирующими положение изотопов и т. д. Действие **гидравлической марки** (рис. 5.11г) основано на принципе сообщающихся сосудов. Один из них, помещенный в защитном кожухе внутри плотины, следует за деформациями последней, другой, в виде пьезометра, располагают на внешнем откосе плотины. Сосуды соединяют трубкой. При заполнении системы жидкостью, которое производят насосом, отметка верхнего обреза внутреннего сосуда в защитный кожух отводится наружу по сливной трубке.

В зависимости от условий строительства трубчатые марки закладывают в буровые скважины или в шурфы (рис. 5.12).

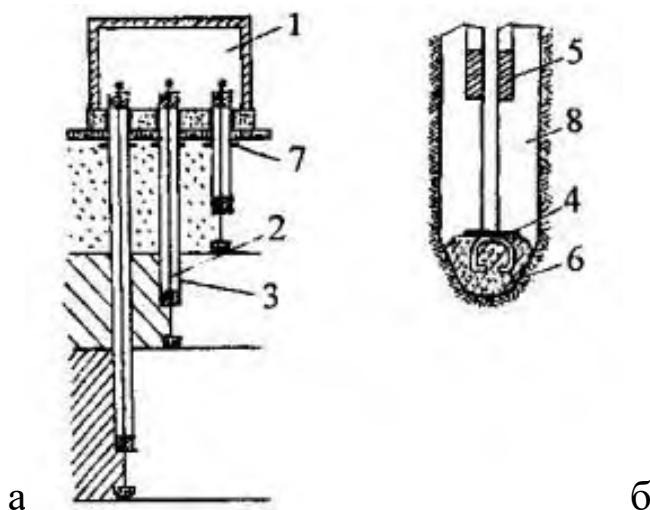


Рис. 5.12. Глубинные трубчатые марки: а - схема расположения марок; б - заделка основания марки; 1 - защитный колодец; 2 - рабочая труба; 3 - защитная труба; 4 - опорный диск с арматурой; 5 - сальник; 6 - бетон; 7 - хомут; 8 – зазор

Для измерения **перемещений в любом направлении** применяют **глубинные электромагнитные марки** (5.13). Прибор состоит из гибкой неэлектропроводной трубы, устанавливаемой в грунт сооружения в период строительства в вертикальном, горизонтальном или наклонном положении. Трубу собирают из отдельных звеньев, соединяемых короткими патрубками, около которых в грунт закладывают металлические пластины. Положение этих пластин с точностью 3...4 мм фиксируют электромагнитным зондом, проходящим внутри трубы. Перемещения грунта вдоль оси трубы в точках, где заложены пластины, определяют сопоставлением положения пластин в различные моменты времени.

**Местные перемещения** в любом направлении могут быть замерены с помощью деформометров. Прибор состоит из заанкеренной в грунт пластины, связанной со штангой в защитной телескопической трубе. Свободный конец штанги через уплотнение выводят в галерею или наблюдательный колодец. Перемещения пластин замеряют по перемещениям свободного конца штанги. Такие приборы имеют измерительную базу в пределах 10 м.

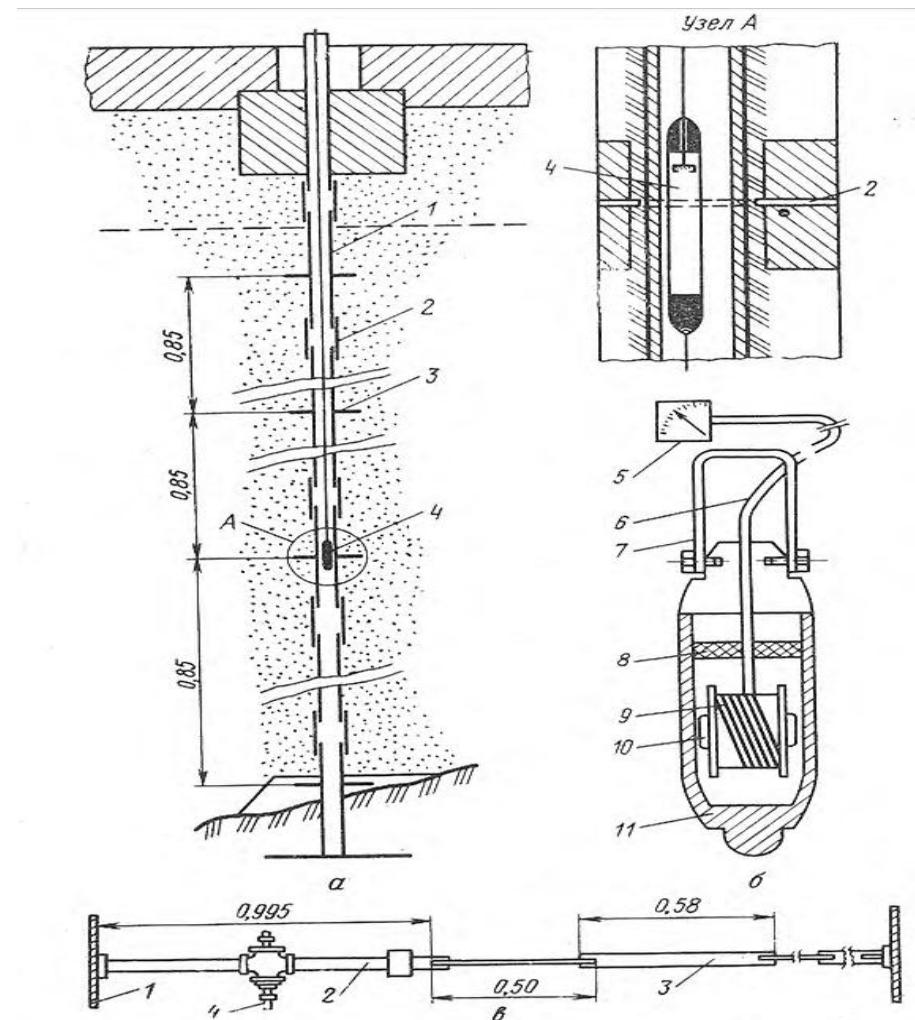


Рис. 5.13. Приборы для определения горизонтальных и других перемещений тела плотины [17]: а – общий вид глубинной марки; б –

электромагнитный зонд; 1 – секция неэлектропроводной трубы; 2 – соединительная муфта; 3 – стальной диск (пластина); 4 – измерительный зонд; 5 – гальванометр; 6 – кабель; 7 – скобка для крепления троса; 8 – пластмассовая крышка; 9 – катушка с обмоткой; 10 – магнит; 11 – корпус зонда; в – экстензометр; 1 – пластины; 2 – линейный потенциометр; 3 – подвижная система труб; 4 – кабель. Размеры, м

Для измерения **относительных деформаций грунта** в любом направлении служат **экстензометры** (рис. 5.13в). Прибор состоит из двух пластин, соединенных системой подвижных труб общей длиной 4...5 м. Взаимные смещения пластин передаются трубам и могут быть замерены линейным потенциометром. Грунтовый экстензометр с фланцами на обоих концах позволяет соединять ряд экстензометров болтами, образуя длинные цепочки струнных датчиков перемещения, что позволяет отслеживать полный профиль деформации.

Контроль **послойных перемещений** (осадок) грунтового массива выполняется скважинными стационарными (стержневые, струнные, звеньевые, оптоволоконные) и портативными (одноточечные и двухточечные) **экстензометрами**.

**Современные экстензометры** (рис. 5.14) с анкерами на разных уровнях монтируют в скважинах с заполнением строительным раствором (до 8 анкеров на различных глубинах с диаметром скважины 76 мм), что особенно актуально для идущих вверх отверстий.

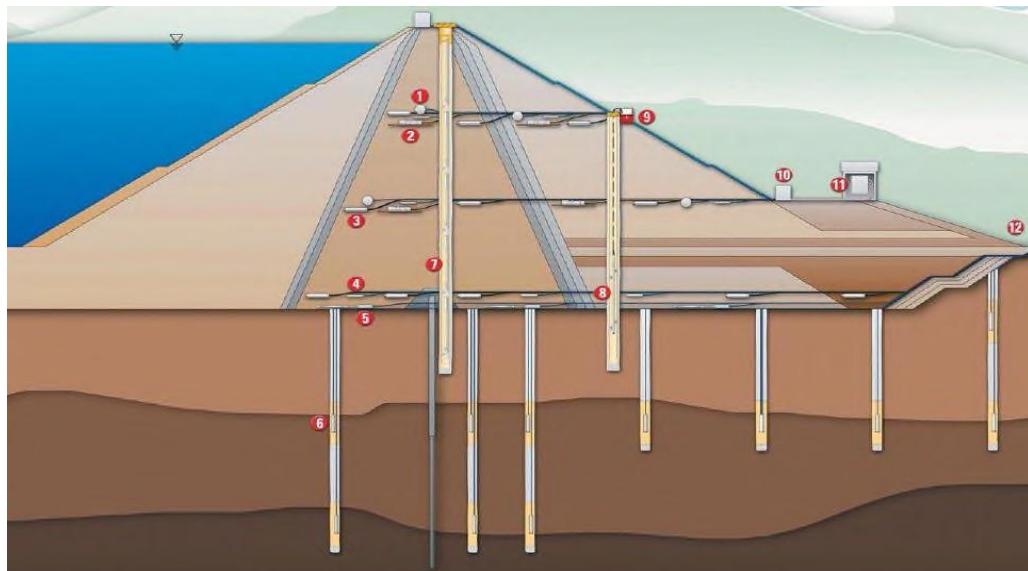


Рис. 5.14. Схема установки экстензометров, инклинометров и пьезометров в теле неоднородной грунтовой плотины

Наиболее полные данные о пространственных перемещениях точек внутри тела плотины можно получить с помощью **наблюдательных колодцев, галерей и инклинометров**.

**Инклинометр** для измерения горизонтальных деформаций в скважине включает цифровой зонд, катушку с кабелем и портативный ПК.

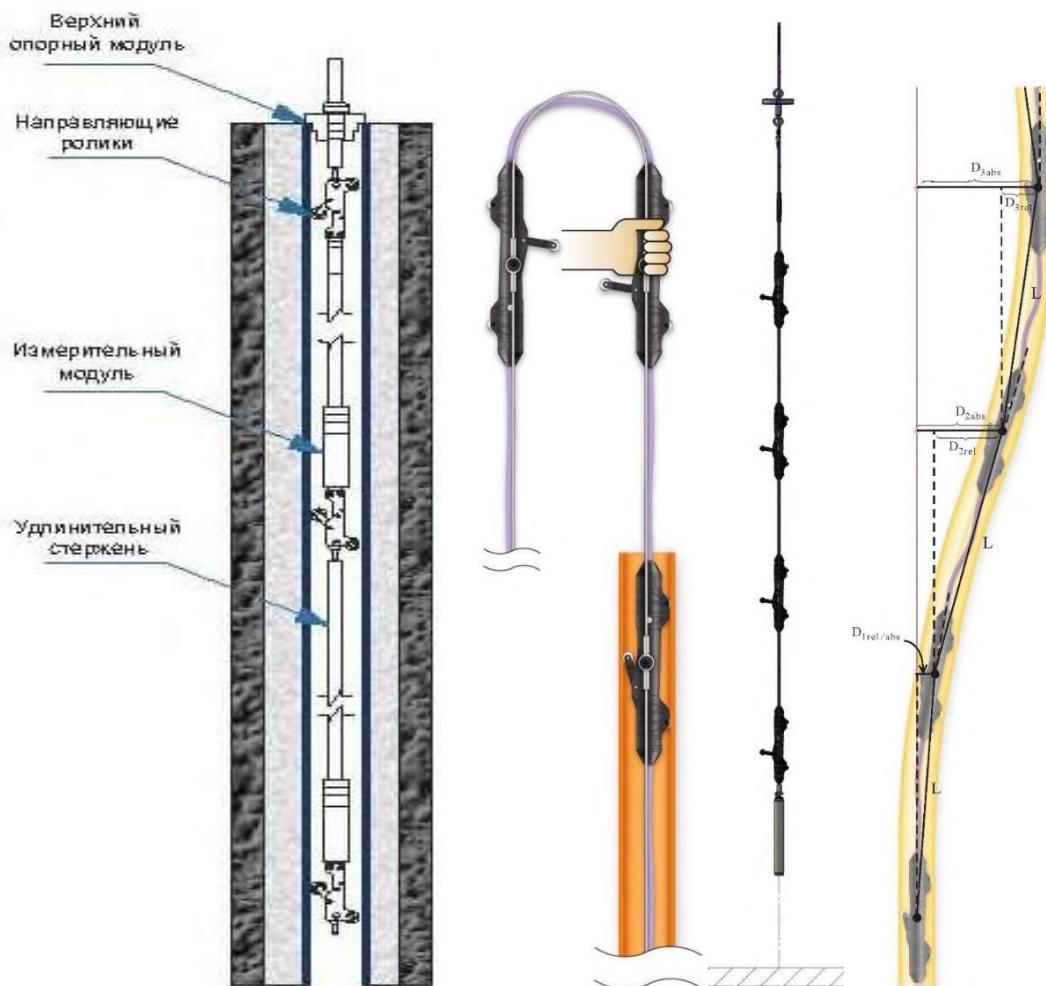


Рис. 5.15. Элементы размещения цепи инклинометрической установки в скважине

Инклинометрические установки служат для измерения перемещений в высоких и сверхвысоких плотинах. В тело сооружения в процессе строительства закладывают гибкую вертикальную, наклонную или горизонтальную трубу, состоящую из отдельных звеньев, соединенных муфтами большего диаметра, не препятствующими взаимным перемещениям звеньев. Перемещения измеряют специальными зондами-инклинометрами, фиксируя вертикальные и горизонтальные перемещения в различных точках по высоте трубы. В вертикальных и наклонных инклинометрических установках горизонтальные перемещения определяют по углам наклона звеньев относительно вертикали в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

**Наблюдательные колодцы** собирают из отдельных колец одновременно с возведением плотины. Между кольцами оставляют промежутки, что позволяет им свободно перемещаться, следя за пространственными деформациями сооружения. На внутренней поверхности колец устанавливают марки. Изменение их положения в пространстве измеряют координатомерами относительно струны отвеса. Перемещения точки закрепления отвеса определяют геодезическими методами. Данные, полученные при таких наблюдениях, позволяют построить эпюры вертикальных и горизонтальных перемещений по высоте плотины, подсчитать послойные осадки грунта. Наблюдательные колодцы из железобетонных колец устраивают главным образом в низовых упорных призмах каменно-набросных плотин сравнительно небольшой высоты (Широковская плотина и др.); очень удобны они для проведения наблюдений за поведением диафрагм из негрунтовых материалов.

В водонасыщенных грунтовых противофильтрационных элементах каменно-земляных плотин наблюдательные колодцы монтируют из металлических звеньев, соединенных компенсаторами с уплотнениями. В некоторых случаях в стенках колодца предусматривают специальные окна, через которые в период эксплуатации сооружения можно отбирать образцы грунта для лабораторных испытаний.

В противофильтрационных элементах или вблизи от них в низовых упорных призмах каменно-земляных плотин, расположенных в узких створах, могут быть устроены на нескольких уровнях горизонтальные или наклонные наблюдательные галереи из металлических или железобетонных звеньев, соединенных компенсаторами с уплотнениями. Наблюдения за плановыми и высотными перемещениями галерей ведут с помощью геодезических методов. Колодцы и галереи обычно служат также для выводов коммуникаций от дистанционной КИА и размещения пультов управления.

При измерении **горизонтальных перемещений**, передвигая инклинометр по трубе, фиксируют изменение электрического сигнала, подаваемого с тензометра в зависимости от смещения трубы относительно вертикали. Показания датчиков в

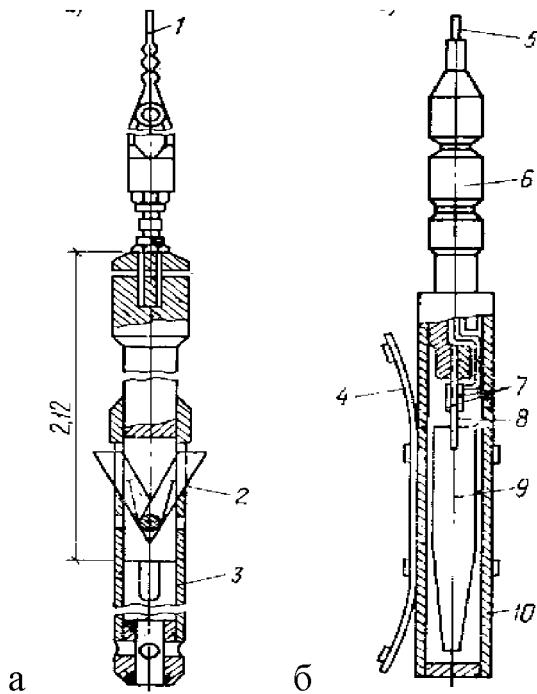
виде частотных сигналов регистрируют частотомером, установленным на измерительном пульте. По результатам этих измерений определяют координаты каждой марки относительно предыдущей по ходу инклинометра.

**Вертикальные перемещения** определяют путем замера расстояний от нижних торцов звеньев до верхнего торца звена, выходящего на гребень плотины, или последовательно замеряя расстояние между марками на двух соседних звеньях инклинометрической трубы, начиная от нижнего звена.

В горизонтальных инклинометрических установках вертикальные перемещения определяют по углам наклона звеньев по отношению к горизонтали только в одной вертикальной плоскости или с помощью гидростатических марок, установленных в зонде. Вертикальные и наклонные инклинометры могут быть установлены как в противофильтрационных элементах, так и в упорных призмах плотин, горизонтальные – только в низовых упорных призмах (во избежание фильтрации по инклинометрическим трубам).

Применяют **зонды-инклинометры** различных конструкций: инклинометр с тензодатчиком, приkleенным к гибкой пластине, на которой подведен груз, по принципу маятника или по принципу натяжения струны (Чарвакская, Нурукская ГЭС и др.). Зонд для измерения вертикальных перемещений (рис. 5.18а) опускают с поверхности на мерном тросе и с помощью защелок поочередно фиксируют на нижних торцах звеньев инклинометрической трубы, служащих марками. Для определения горизонтальных перемещений по углам наклона звеньев применяют инклинометры маятникового типа, с фотографическими устройствами, с измерителем наклонов с помощью системы струнных датчиков. Корпус инклинометра с тензодатчиками (рис. 5.18б) имеет отжимную пружину, обеспечивающую его соосность со звеном трубы, наклон которого измеряется. Внутри корпуса на пружине подведен отвес. Изгиб пружины, возникающий при отклонении отвеса от вертикального положения, измеряется тензодатчиками. Деформация изгиба пересчитывается на угол наклона, по которому определяют горизонтальные перемещения. Направление плоскостей, в которых происходят

горизонтальные перемещения отдельных звеньев, определяют угломером, устанавливаемым на верхнем торце гибкой трубы.



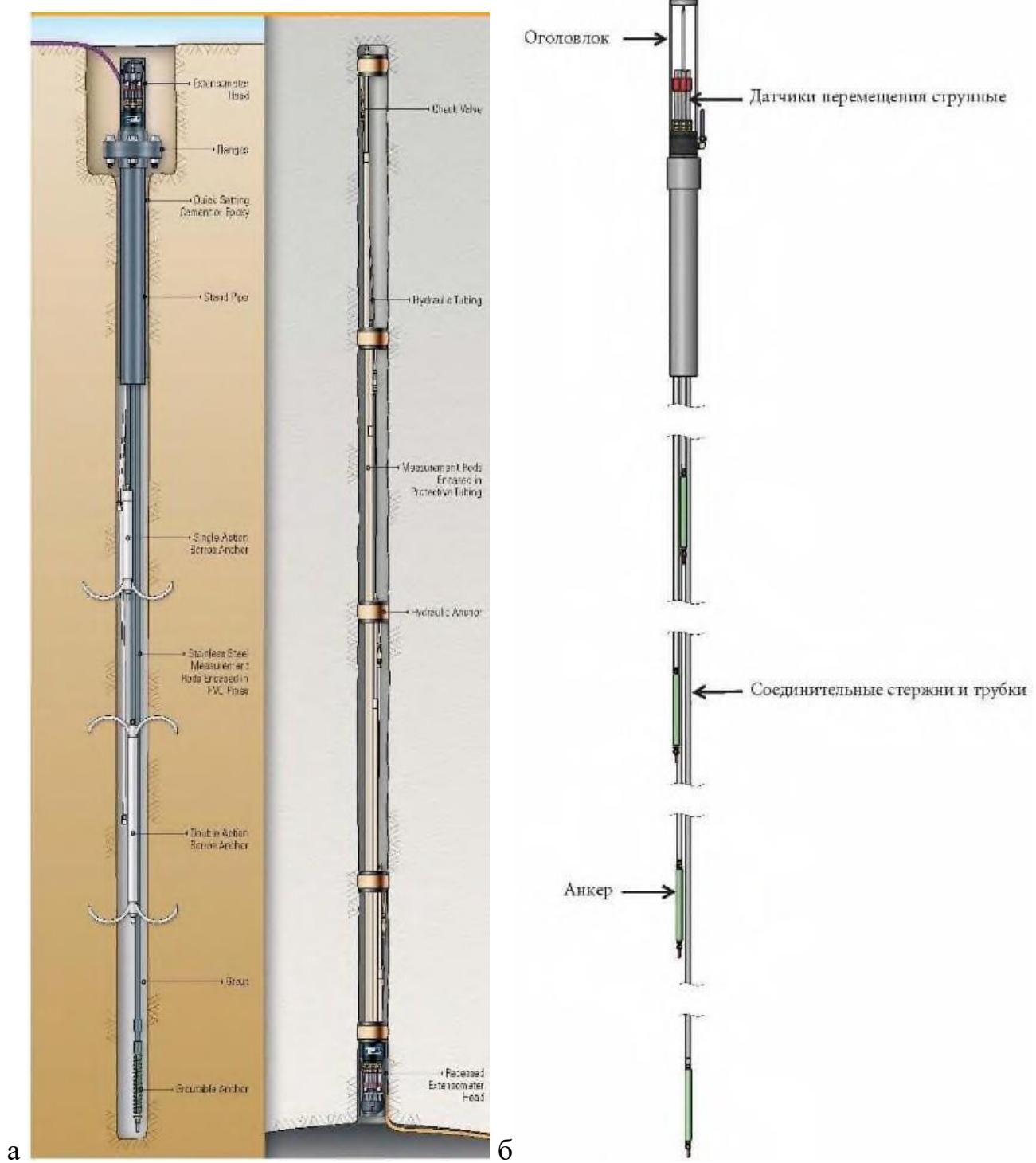
**Рис. 5.18. Конструкция зондов инклинометрических установок:** *а* – зонд для замера вертикальных перемещений; *б* – зонд для замера горизонтальных перемещений (инклинометр); 1 – мерный трос; 2 – защелка; 3 – корпус; 4 – отжимная пружина; 5 – кабель; 6 – гибкие сочленения; 7 – тензодатчики; 8 – полосовая пружина; 9 – отвес; 10 – корпус

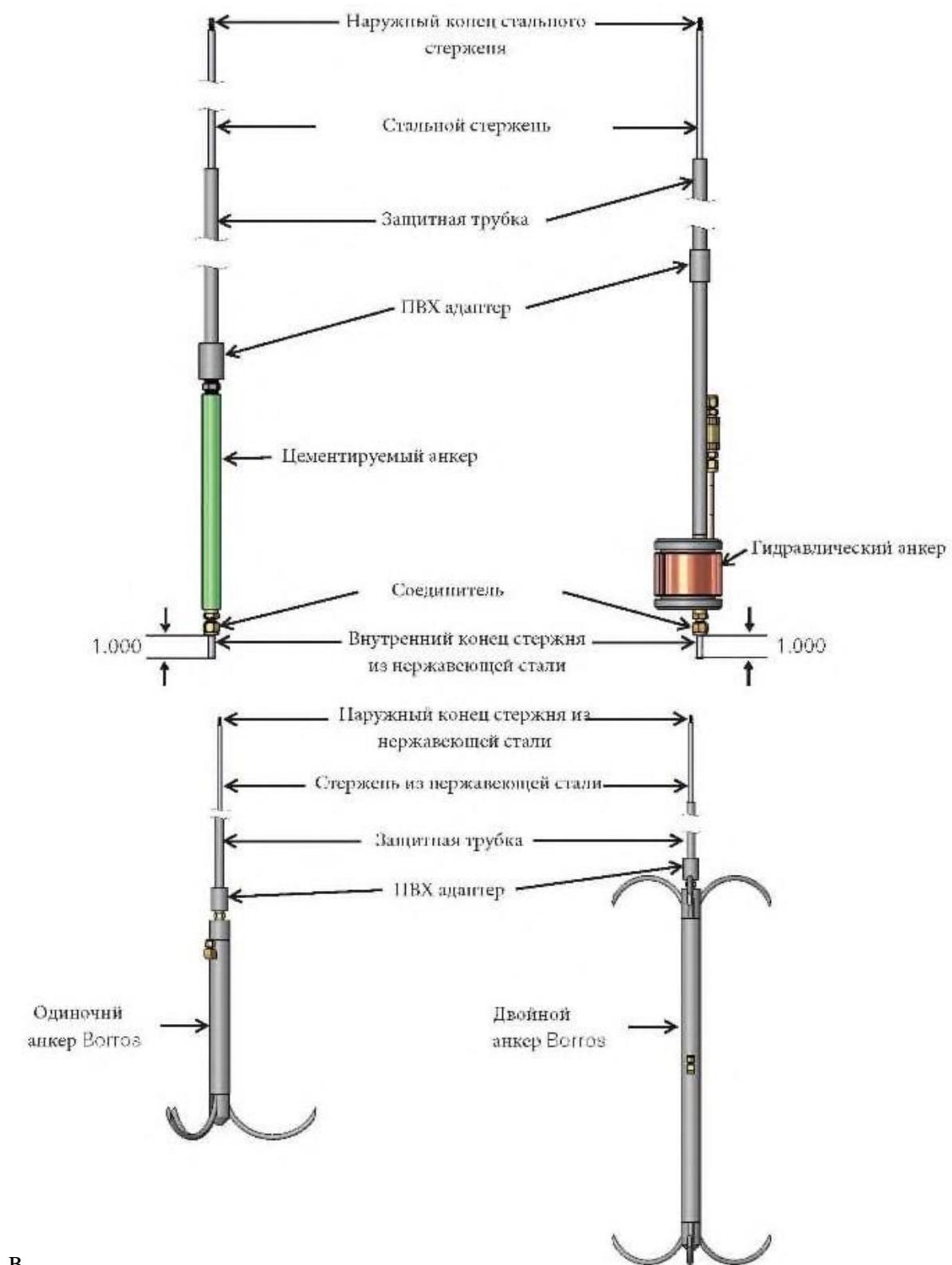
Для наблюдений за перемещениями во внутренних зонах и сегодня ещё довольно широко используют **инклинометры конструкции Гидропроекта**, представляющий собой полый цилиндрический корпус с пазом вдоль образующей, который позволяет автоматически ориентировать прибор на марках звеньев. При перемещении инклинометра снизу вверх его последовательно фиксируют с помощью специальных щупов на марках двух соседних звеньев. Во время остановки приборы с помощью специальных датчиков одновременно измеряют расстояние между марками и углы между вертикалью и проекциями на две взаимно перпендикулярные плоскости линии, соединяющей эти марки. В крупнообломочных грунтах звенья устанавливают до отсыпки тела плотины на данном уровне и защищают от повреждений при производстве работ обсыпкой в виде конуса, в глинистых грунтах звенья устанавливают в приямки, отрываемые в

уже отсыпанном грунте. Устанавливаемые звенья ориентируют таким образом, чтобы все марки располагались на одной линии в плоскости поперечного сечения плотины, проходящей через ось инклинометрической трубы.

Установка скважинных экстензометров выполняется санкерами цементируемыми арматурными, анкерами гидравлическими и анкерами Боросса (рис. 5.19). Гидравлические анкеры Боросса (рис. 5.19в) рекомендуются для мягких грунтов. Они оснащены набором изогнутых зубцов, расположенных на расстоянии  $120^\circ$  друг от друга, которые утоплены в корпус анкера до его активации. Под действием гидравлического давления зубцы (3 для анкеров одинарного действия и 6 для анкеров двойного действия) выдвигаются на 150 мм из корпуса анкера и погружаются в стенку скважины.

В экстензометрах в качестве измерительной точки принимают: середину анкера; центр магнитного кольца или центр резьбового соединения или проушины анкеров (ленточные экстензометры). Измерения проводятся относительно "реперной точки", которая считается условно неподвижной. Осевая жесткость измерительной экстензометрической системы не должна превышать жесткость окружающей среды. Для определения **горизонтальных или вертикальных смещений грунта** используется **современные скважинные инклинометры**. Хорошо показали себя для контроля над возникновением оползневых процессов, при проведении мониторинга горизонтальных деформаций бортов котлованов и вертикальных осадок грунта под любыми строительными конструкциями составные скважинные инклинометрические модули BIN D3 XX 00WW V разных типов (рис. 5.20).





**Рис. 5.19. Установка скважинных экстензометров:** а, б – варианты схем установки; в - анкер цементируемый арматурный и анкер гидравлический; в - анкер Боросса с выдвижными под давлением зубцами



**Рис. 5.20. Состав двухосевых инклинометров разных модификаций, стационарного и портативного применения, устанавливаемых в обсадные трубы или непосредственно в грунт (ООО «НПП Горизонт»): а – катушка; б – внешний вид портативного регистратора; в – инклинометр BIN-D3-XX-10-WW-V, BIN-D3-XX-10-WW-H; г – BIN-D3-XX-00-WW-V; д – направление измерительных осей инклинометра BIN-D3-50-20-WW-H**

Эти инклинометры поддерживают протокол обмена данными АН-ДЗ (проприетарный протокол, разработанный «НПП Горизонт») и ModBUS RTU.

Для измерения послойных осадок, наклона и устойчивости склонов разработаны специальные устройства (рис. 5.21 и 5.22). Датчик наклона разработан специально для измерения наклона в конструкциях типа зданий, дамб и для измерений, связанных с устойчивостью склонов, карьеров. Датчик уклона постоянно подсоединен к контролируемой конструкции и может проводить измерения на горизонтальных или вертикальных поверхностях. При измерении **горизонтальных перемещений**, передвигая инклинометр по трубе, фиксируют изменение электрического сигнала, подаваемого с тензометра в зависимости от смещения трубы относительно вертикали. Показания датчиков в виде частотных сигналов регистрируют частотомером, установленным на измерительном пульте.

По результатам этих измерений определяют координаты каждой марки относительно предыдущей по ходу инклинометра.

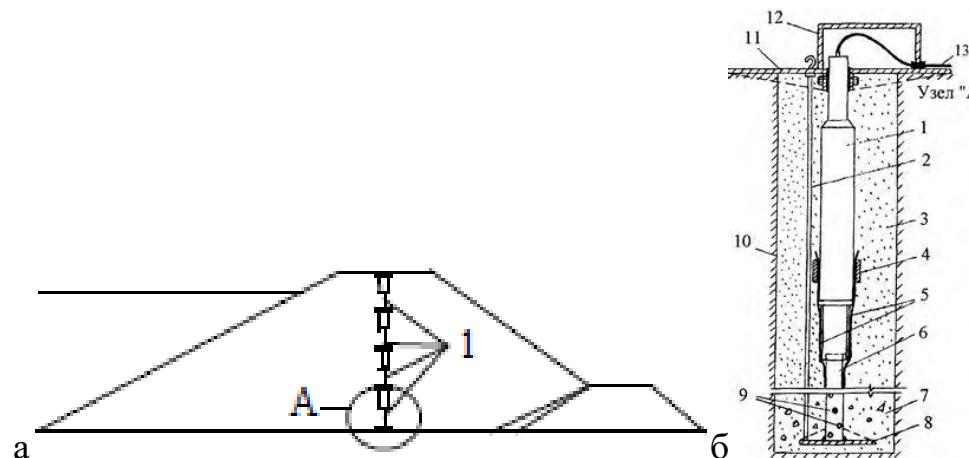


Рис. 5.21. Устройство для измерений послойных осадок грунтовой плотины: а – расположение в поперечном сечении плотины; б – узел А: 1 - преобразователь линейных перемещений типа ПЛПС-320 (160); 2 - шаблон установочный; 3 - мелкозернистый грунт; 4 - муфта; 5 – обертка из стеклоткани и полимерной пленки по смазке; 6 - удлинительная труба; 7 - якорь; 8 - пластина анкерная нижняя; 9 - перфорация; 10 - скважина Ø не менее 200 мм; 11 – пластина

**плотины:** а – расположение в поперечном сечении плотины; б – узел А: 1 - преобразователь линейных перемещений типа ПЛПС-320 (160); 2 - шаблон установочный; 3 - мелкозернистый грунт; 4 - муфта; 5 – обертка из стеклоткани и полимерной пленки по смазке; 6 - удлинительная труба; 7 - якорь; 8 - пластина анкерная нижняя; 9 - перфорация; 10 - скважина Ø не менее 200 мм; 11 – пластина

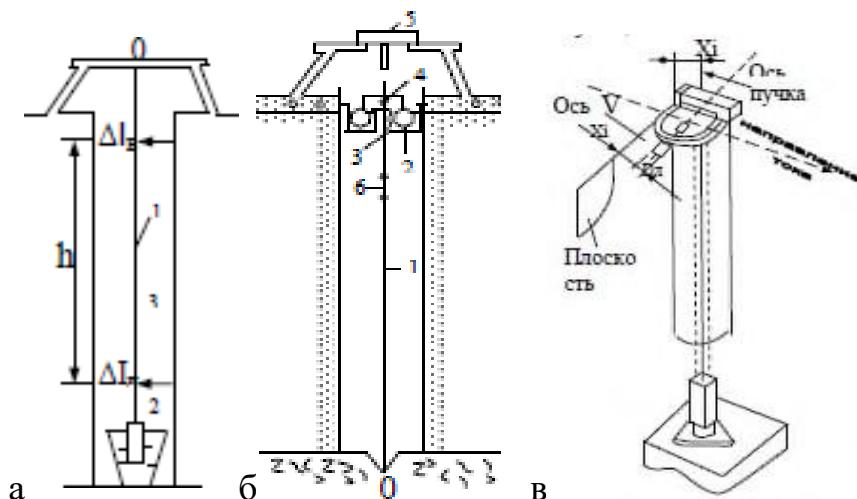
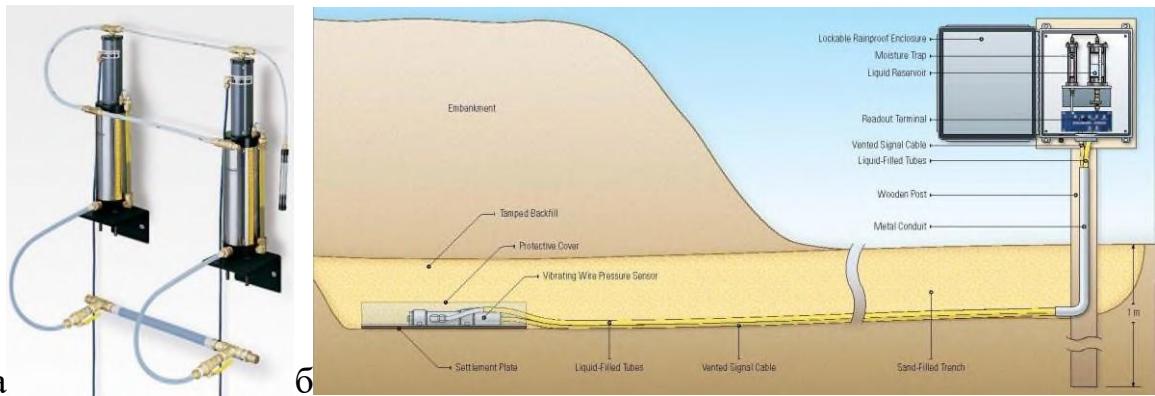


Рис. 5.22. Датчики для измерения наклона и оценки устойчивости склонов: а – прямой отвес; проволока; 2 – груз; 3 – шахта; 4 – основание; б – обратный отвес; 0 – якорь отвеса; 1 – поплавок; 2,3 – ванная; 4 – штифт; 5 – устройство для натяжения отвеса; 6 – мягкая вставка; в – определение координат центра

Система измерения осадок элементов сооружений (рис. 5.23) состоит из нескольких баков, содержащих датчики уровня жидкости, соединенные заполненной жидкостью трубкой.



**Рис. 5.23. Система для дистанционного измерения поверхностной или глубокой осадки в насыпях, засыпках, дамбах, плотинах:** а – датчики уровня; б – размещение системы в основании ГТС

Эталонный бак помещается в место со стабильной отметкой уровня (реперной отметкой). Точность измерения  $\pm 0,02$  мм. Система дистанционного измерения осадок в засыпках, дамбах и плотинах имеет датчик давления, присоединенный к осадочной пластине, расположенной в осаждаемом грунте. Датчик подсоединяется через две заполненные жидкостью трубы к резервуару, расположенному на плотном грунте вдали от области ожидаемого смещения. Давление воды внутри труб считывается преобразователем, который дает критериальные разности высот между датчиком и резервуаром. Данные маятниковых систем для проведения точных измерений относительных перемещений нормальных и инвертированных маятников (типа применяемых в настоящее время в дамбах), могут сохраняться на месте или работать дистанционно с передачей информации на компьютер.

Разработана система измерения давления на грунт, позволяющая определить полное давление в земляных засыпках и насыпях (рис. 5.24). Все секции состоят из двух пластин из нержавеющей стали, сваренных по их периферии и разделенных узкой полостью, заполняемой деаэрированным маслом. Изменение давления на землю приводит к сжиманию двух пластин, что приводит к соответствующему увеличению давления жидкости в секции.

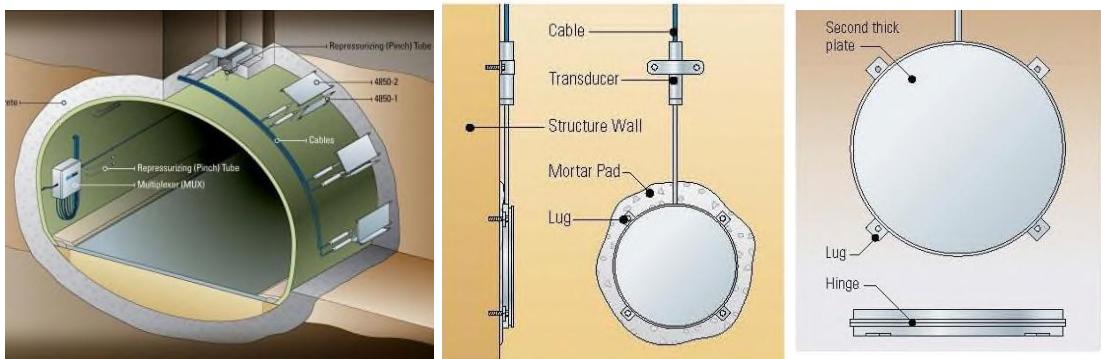


Рис. 5.24. Системы измерения давления в грунте и на контакте с бетонными сооружениями

## 5.2. Устройства для наблюдения за фильтрацией в грунтовых ГТС

Фильтрационные исследования позволяют осуществлять контроль за режимом фильтрации в теле земляной плотины, основании и береговых примыканиях, состоянием противофильтрационных устройств (ПФУ) и дренажных элементов. В некоторых случаях фильтрационные исследования проводят для уточнения фильтрационных характеристик грунтов, выявления путей сосредоточенной фильтрации по трещинам, по контакту с бетонными сооружениями и др.

При проведении фильтрационных исследований в плотинах из грунтовых материалов при помощи установки КИА определяют (рис. 5.25):

- положение депрессионной поверхности,
- распределение гидродинамического давления и скоростей фильтрации в теле сооружения и основании,
- расходы,
- мутность и химический состав фильтрующейся воды.

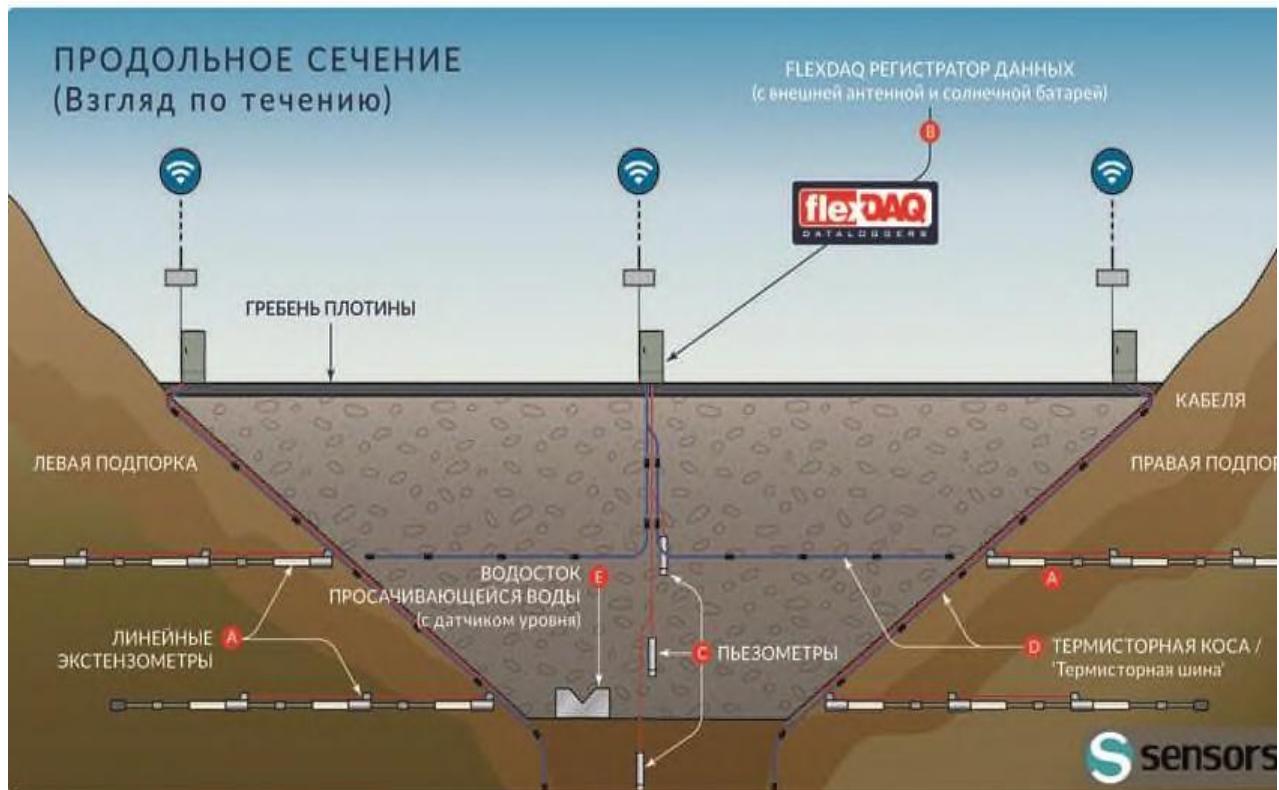


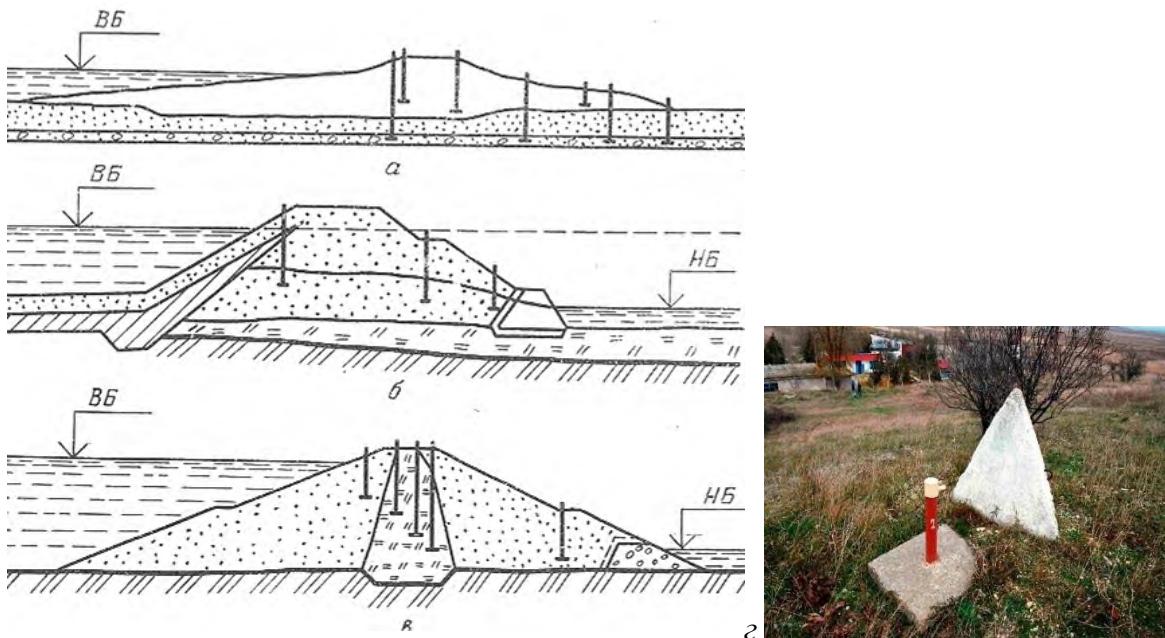
Рис. 5.25. Возможная схема установки КИА в продольном сечении грунтовой плотины/насыпной дамбы

**Положение депрессионной поверхности** в теле плотины является одним из важнейших показателей состояния любого ГТС. Повышение уровня депрессионной поверхности против расчетного или ее выход на низовой откос свидетельствуют о нарушении нормальной работы ГТС по тем или иным причинам (засыпание дренажа, образование сквозных ходов фильтрации и зон разуплотнения, фильтрационная анизотропия грунта и др.). Наблюдения за пьезометрическими напорами позволяют судить об эффективности работы ПФУ и о фильтрационной прочности грунтов. Значительное превышение расчетных значений остаточных пьезометрических напоров за ПФУ сигнализирует о неудовлетворительной работе последних и требует проведения тех или иных мероприятий для повышения их надежности.

Наблюдения за **поровым давлением** позволяют контролировать процесс консолидации грунта, оценивать устойчивость ГТС. Наблюдения за расходами, мутностью, а при наличии в грунтах растворимых включений – за химическим

составом фильтрующейся воды, дают возможность своевременно обнаружить механическую или химическую супфозию грунта.

Наблюдения за положением **кривой депрессии и фильтрационным давлением** в теле сооружения, его основании и берегах ведут с помощью **пьезометров**, которые устанавливают в характерных поперечных створах (рис. 5.26). На плотинах, расположенных в широких долинах, расстояние между пьезометрическими створами обычно 200...300 м. В узких долинах пьезометрические створы располагают чаще, при строительстве высоких и сверхвысоких плотин – через 50...100 м. По крайней мере, один створ обязательно должен проходить в русловой части плотины, где она имеет наибольшую высоту.



**Рис. 5.26. Схемы размещения пьезометров [17]: а – в однородной плотине; б – в плотинах с экраном и ядром; г - устье пьезометра на берме низового откоса грунтовой плотины Можайского гидроузла МО**

Размещение пьезометров в створах и их число зависят от конструктивных особенностей плотины и должны обеспечить получение полной картины пространственной фильтрации в сооружении, а при наличии ПФУ и дренажных устройств – информацию об их работе. В однородных плотинах пьезометры располагают равномерно от верховой бровки гребня до подошвы низового откоса. В неоднородных плотинах пьезометры устанавливают как в ПФУ, так и в низовых упорных призмах из сравнительно малопроницаемых грунтов. В упорных призмах

из сильноводопроницаемых грунтов, например, каменной наброски, пьезометры не устанавливают.

Для контроля за фильтрацией через ПФУ каменно-земляных плотин с низовой стороны на контакте обратных фильтров и с бортами устраивают специальные ловушки, из которых по скважинам профильтровавшуюся воду собирают в какие-либо строительные выработки (тоннели, галереи), где и замеряют фильтрационный расход. Суммарный фильтрационный расход может быть проконтролирован с помощью мерного водослива, установленного в нижнем бьефе за низовым клином плотины (рис. 5.27). При этом оценка фильтрационных расходов может производиться на мерных водосливах с дистанционным измерением уровня воды перед водосливом.



Рис. 5.27. Вариант оценки фильтрационных расходов мерным водосливом (а) в отводящем лотке (б)

При измерении фильтрационного расхода периодически берут пробы воды для химического анализа и определения мутности. Результаты химического анализа позволяют судить о концентрации солей, вымываемых из водорастворимых грунтов тела плотины или ее основания. Наблюдения за наличием в профильтровавшейся воде твердых частиц проводят для выяснения опасности суффозии.

Непосредственным визуальным индикатором, применяемым для определения уровня воды, является традиционная мерная рейка (рис. 5.28а). Они легко устанавливаются на стене, в колодце, на пирсе. Их обычно оснащают массивными

металлическими крепежными втулками и отверстиями диаметром 0,188 дюйма для винтов или гвоздей. Каждая рейка представляет собой металлический сердечник, покрытый фарфоровой эмалью и размеченный через определенные точно отмеренные промежутки. Для оценки состояния плотины/дамбы во время её насыпки и последующей эксплуатации можно использовать измеритель уровня воды (датчик) с V-образной прорезью - NIVOLIC WL (рис. 5.28б), изготавливающегося из нержавеющей стали. В устройстве NIVOLIC WL используется гидравлический датчик уровня струнного типа, который фиксирует изменения уровня воды, что позволяет непрерывно отслеживать расход воды. С обеих сторон от прорези выгравированы шкалы, которые показывают уровень воды и соответствующий расход.

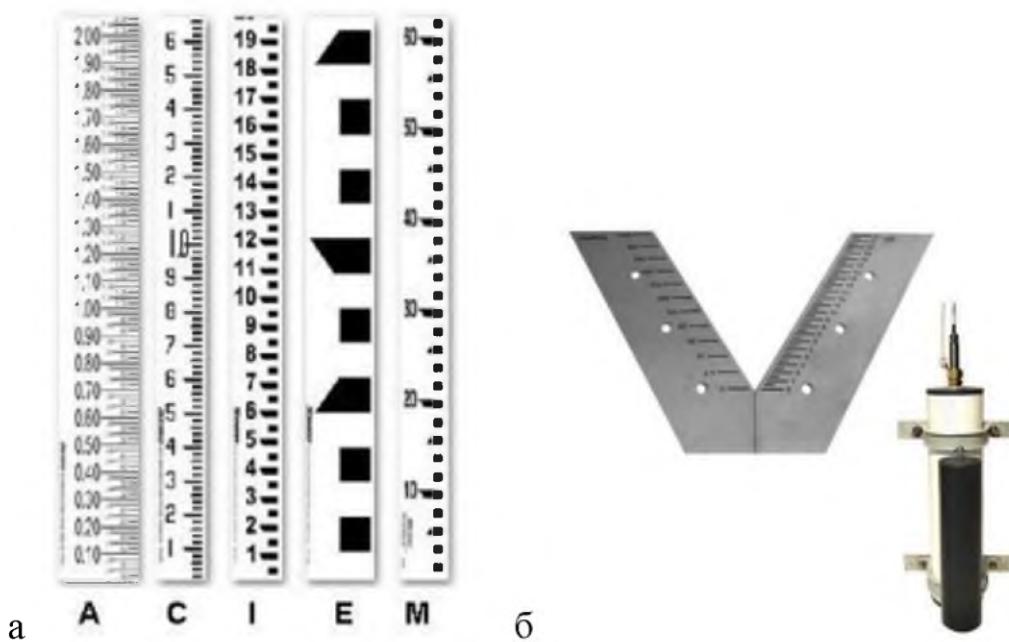
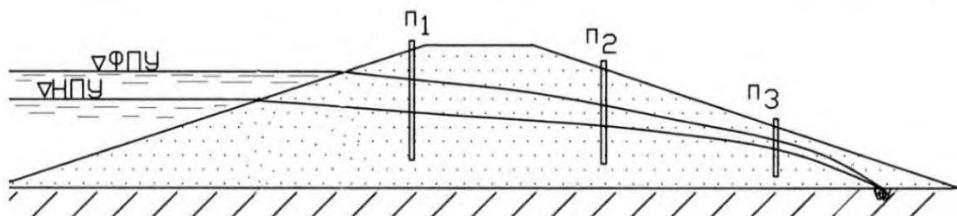


Рис. 5.28. Датчики для измерения уровня воды: а - с V-образной прорезью NIVOLIC WL; б - мерная рейка

**Фильтрационные расходы и напоры в основании грунтовых плотин/дамб** разного класса часто измеряют с помощью **пьезометров** различных типов и преобразователей давления (ПДС). **Пьезометры** в земляных ГТС обычно устанавливаются в скважины, в слабых грунтах пробуренные с применением обсадных труб (рис. 5.26). При этом изменение диаметра и толщины стенок трубы

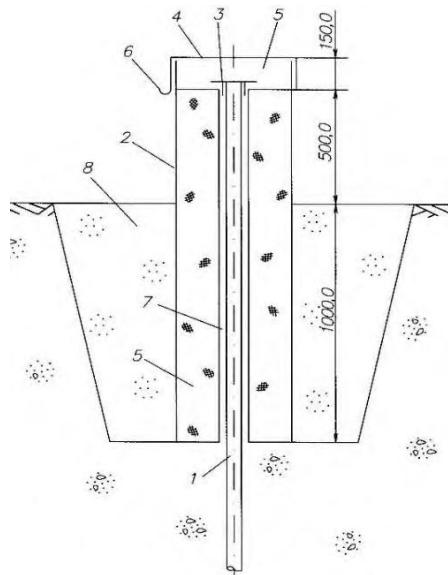
по глубине скважины не допускается. Трубы не должны иметь искривлений и вмятин, выступающих внутрь и препятствующих погружению в них измерительной аппаратуры. Соединение звеньев труб осуществляется муфтами по мере их опускания в скважину. Для предотвращения коррозии внешнюю и внутреннюю поверхность стальных труб покрывают водостойкой краской или используют пластмассовые трубы. Кольцевую полость, образующуюся по периметру трубы пьезометра после извлечения обсадной (временной) трубы, заполняют песком или грунтовым раствором.



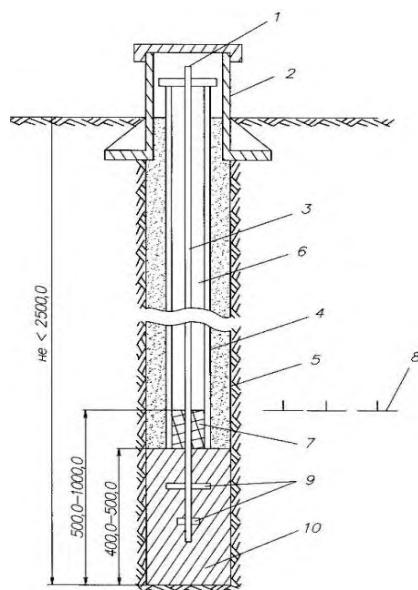
**Рис. 5.29. Вариант принципиальной установки в теле ограждающей дамбы водохранилища-охладителя ГРЭС с трубчатым дренажом минимального количества пьезометров [44]**

Для снижения опасности образования на оголовке пьезометра инея и льда при резких перепадах наружной и внутренней температур в холодное время года внешняя часть его оборудуется теплозащитными головками (рис. 5.30). Пьезометр в собранном виде устанавливают в скважину диаметром не менее 200 мм. Пространство между пьезометрической трубой и стенкой скважины засыпают на всю высоту водоприемника промытым крупнозернистым песком или гравием. Фильтровую засыпку делают в пределах возможного колебания депрессионной кривой, а выше и ниже обсыпки затрубное пространство заполняется пластичным глинопесчаным раствором [44]. Дополнительно в пьезометрических створах на дамбах накопителей для геотехнического контроля при намыве пляжа из отходов или при отсыпке очередного яруса устанавливаются поверхностные осадочные марки (рис. 5.30) и организуются соответствующие точки [44]. Число пьезометров

в каждом створе определяют в зависимости от местных условий, но их должно быть не менее 4-х.



**Рис. 5.30. Съемный защитный оголовок пьезометра для дамб накопителя [44]:** 1 – труба пьезометра; 2 – оголовок (наружный диаметр  $\geq 500$  мм); 3 – крышка пьезометра с приваренной к ней рукояткой (устанавливается на резьбе со смазкой); 4 – крышка оголовка; 5 – теплоизоляция (минвата, пенопласт); 6 – скобы для замка; 7 – густая смазка, заполняющая зазор между трубой пьезометра и внутренней трубой оголовка; 8 – обратная засыпка с уплотнением



**Рис. 5.28. Дополнительная поверхность марка для наблюдений за осадкой земляных плотин/дамб накопителей [44]:** 1 – оголовок марки; 2 – защитный

оголовок  $\varnothing$  200мм с крышкой; 3 – штанга марки из трубы  $\varnothing$  25…30 мм; 4 – защитная труба  $\varnothing$  50…70 мм; 5 – скважина  $\varnothing$  180…200 мм; 6 – смазочное масло или антифриз; 7 – пеньковый сальник; 8 – граница сезонного промерзания; 9 – поперечины; 10 – цементный раствор или бетон

Пьезометры, устанавливаемые раньше в теле «старых» земляных плотин, были двух типов: **«шахтные»** - для наблюдения за положением депрессионной поверхности и **«точечные»** - для измерения пьезометрических напоров в отдельных точках тела и основания плотины (рис. 5.29). Шахтные закладывались в 2...3 наиболее характерных поперечниках плотины. Их расположение по профилю зависело от конструкции плотины и выбиралось так, чтобы характер кривой депрессии в данном поперечнике вырисовывался на основании показаний этих пьезометров достаточно ясно. В плотинах, снабжённых противофильтрационными устройствами (ПФУ), пьезометры должны быть расположены таким образом, чтобы по их показания можно было оценить эффект данного ПФУ. **Шахтные** пьезометры представляли собой перфорированные снизу на длину около 1,5 м газовые трубы диаметром 5...8 см. Эти трубы устанавливали в скважинах с обсадными трубами диаметром 12...15 см. После установки пьезометра обсадная труба вытягивалась, причём промежуток между обсадной трубой и пьезометром до отметки, соответствующей наивысшему возможному положению кривой депрессии в этой точке, заполнялся мелким гравием диаметром частиц примерно 1 см. Такой же гравий слоем толщиной около 30 см насыпался на дно скважины.

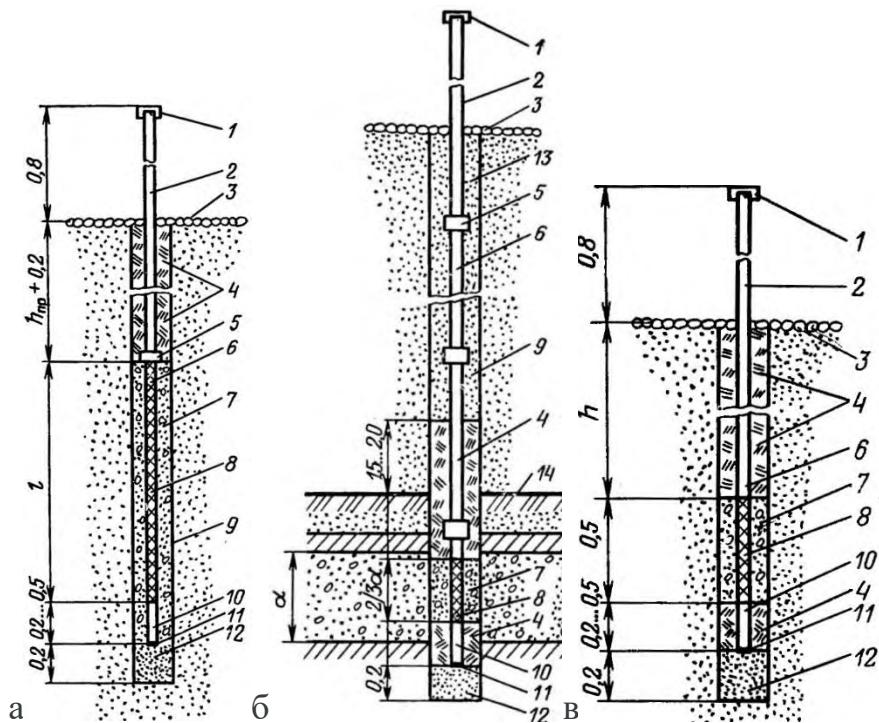
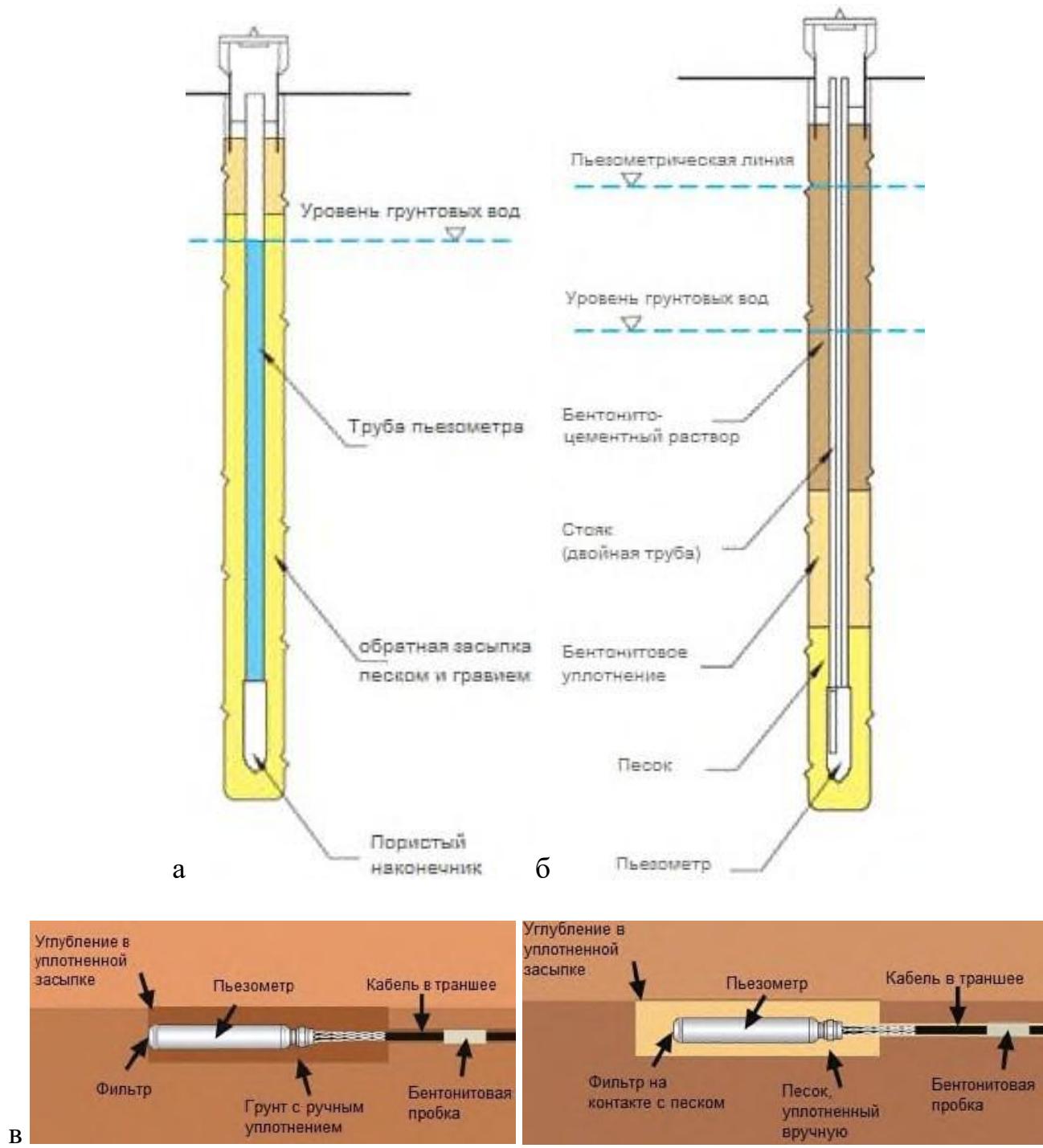


Рис. 5.29. Открытые пьезометры: а – поверхностный (шахтный); б – глубинный; в - точечный [17]: 1 - крышка; 2 - устье; 3 - гравийная отсыпка; 4 - тампон из суглинка; 5 - муфта; 6 - труба диаметром 60...75 мм; 7 -- обсыпка промытым крупнозернистым песком или мелким гравием; 8 -- водоприемник; 9 - место обсадной трубы; 10 - отстойник; 11 - пробка; 12 - граничная подушка; 13 - засыпка грунтом; 14 - подошва сооружения

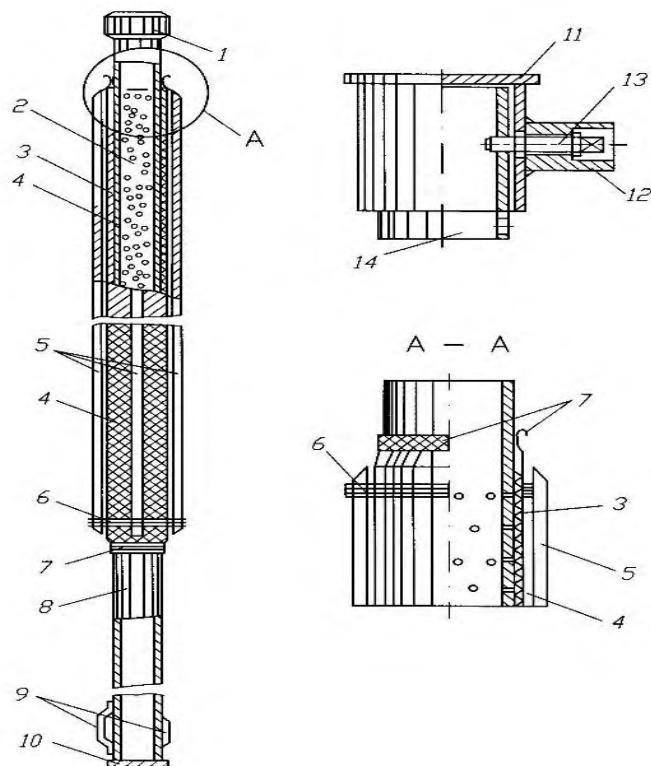
Места закладки **точечных пьезометров** обычно выбираются в зависимости от конструкции плотины, геологии основания и других обстоятельств. В качестве пьезометров точечного типа используются не редко обсадные трубы, доводимые при бурении до отметок, на которых предполагается получить значения пьезометрических напоров. На дно скважин насыпается слой мелкого гравия толщиной 30...50 см (рис. 5.30). Длина трубы выше поверхности земли определяется ожидаемой величиной пьезометрического напора в данной точке.



**Рис. 5.30. Наблюдения за уровнем подземных вод:** а – оценка УГВ в безнапорном пьезометре (поверхностный шахтный пьезометр); б – контроль напора в изолированном водоносном горизонте (глубинный пьезометр); в – точечная установка пьезометра

Наибольшее распространение получила довольно простая конструкция **опускного пьезометра** (рис. 5.31), состоящая из трёх основных частей: водоприёмника с отстойником, пьезометрической трубы и оголовка (устья).

Пьезометр выполняется из стальных оцинкованных труб диаметром не менее 50...75 мм.

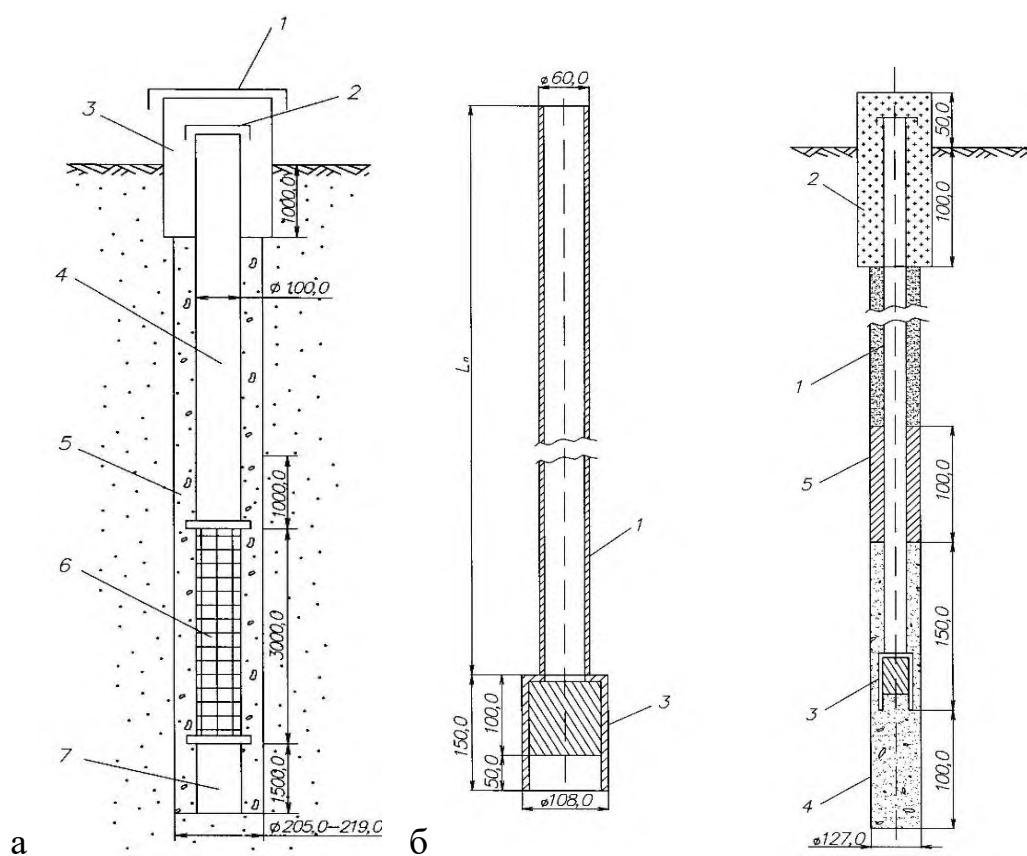


**Рис. 5.31. Детали пьезометра с фильтром из сетки и стеклоткани для дамб накопителей [17]: а – водоприемник; б – верхняя часть пьезометра; 1 – муфта; 2 – перфорированная труба; 3 – пластмассовая сетка; 4 – стеклоткань; 5 – деревянные рейки 15×15 мм (плотно прилегают к сетке 3); 6 – обвязка проволокой; 7 – изоляционная лента; 8 – отстойник; 9 – направляющие скобы; 10 – заглушка; 11 – крышка; 12 – замок; 13 – запирающий болт; 14 – пьезометрическая труба**

Водоприемник пьезометра представляет собой перфорированную трубу, обернутую пластмассовой гофрированной сеткой и стеклотканью с высокой стойкостью против воздействия содержащихся в стоках химических элементов. Для водоприемника применяются как металлические, так и пластмассовые трубы. Проходные отверстия диаметром 8...10 мм сверлятся в шахматном порядке рядами через 50...100 мм по длине трубы. Расстояние между отверстиями в ряду принимается 40...50 мм. Перфорация выполняется в виде круглых и щелевых отверстий размером 6...10 мм, общей площадью не менее 10...15%. Длина

водоприемной части пьезометра зависит от его назначения, прогнозируемого положения депрессионной кривой, строения основания, в частности, мощности водопроницаемого слоя, и обычно составляет 1...3 м [17].

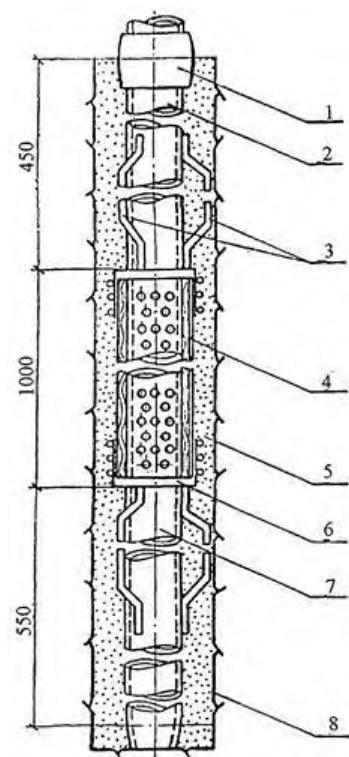
Упрощённые конструкции современных пьезометров, используемые в том числе и на накопителях с дамбами высотой до 15 м, могут быть со спиральной обмоткой водоприёмной части (рис. 5.32) или с фильтром из пористого бетона (рис. 5.32б), который размещён в водоприёмнике, выполненном в виде стального стакана – отрезка трубы.



**Рис. 5.32. Пьезометры в дамбах накопителя: а - с проволочной обмоткой фильтра; 1 – крышка оголовка; 2 – крышка пьезометра; 3 – теплозащитный оголовок; 4 – труба пьезометра; 5 – обсыпка фильтра; 6 – фильтр; 7 – отстойник; б - конструкция и схема установки пьезометра в дамбах накопителя с пористым фильтром; 1 – труба пьезометра; 2 – теплозащитный оголовок; 3 – фильтр из пористого бетона; 4 – водоприемная засыпка; 5 – глиняная пробка**

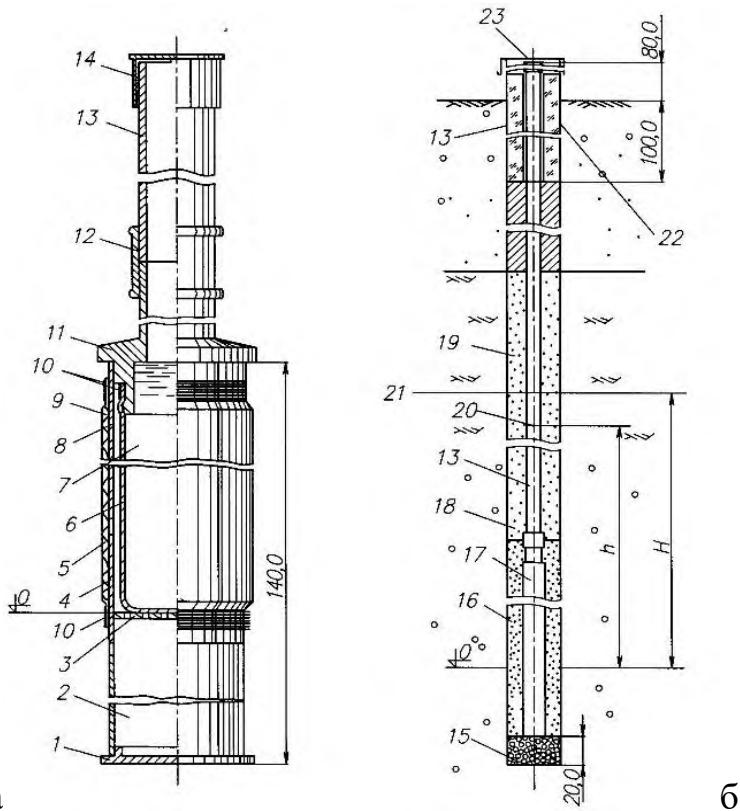
Водопроницаемая часть трубы Ø 100 мм с круглой перфорацией (Ø отв. 10...12 мм) с шагом 20 мм в шахматном порядке и со спиральной обмоткой из нержавеющей проволоки Ø 3 мм (расстояние между витками 1...2 мм) по вертикальным стержням толщ. 5...8 мм с шагом 30 мм. Обсыпка водоприемной части выполняется фракциями гравия или щебня 0,5...10 мм. Для изготовления пористого бетона используют цемент марки 400 (500) и заполнитель из гравия (щебня) фракции 2,5... 5 мм в соотношении 1:6, водоцементное отношение 0,45. Стакан заполняют бетонной смесью на глубину 10 см. Бетон в стакане до набора прочности твердеет в течение 7 суток под влажным укрытием.

С целью предотвращения возможного замерзания зимой воды внутри трубчатых пьезометров верхнюю их часть (насадку) выполняют на всю глубину промерзания из слабопроводящего тепломатериала (полиэтилена или поливинилхлорид) (рис. 5.33).



**Рис. 5.33. Типовая конструкция водоприемника опускного пьезометра:** 1 - соединительная муфта; 2 - винилпластовая труба; 3 - направляющие скобы; 4 - фильтр из гофрированной винилластовой сетки и стеклоткани; 5 - песчаная обсыпка; 6 - опорное кольцо; 7 - отстойник; 8 - стенки скважин

**Незамерзающий скважинный пьезометр** состоит из водоприемника с отстойником и открытой пьезометрической трубы, которая выводится на поверхность сооружения и служит для замеров положения депрессионной поверхности безнапорного фильтрационного потока (рис. 5.34а) или напора.



**Рис. 5.34. Незамерзающий скважинный пьезометр [44]: а – общий вид пьезометра; б – пьезометр после установки в скважину; 1 – днище отстойника; 2 – отстойник; 3 – внутреннее проницаемое днище, разделяющее водоприемник и отстойник; 4 – пластмассовая сетка; 5 – стеклоткань; 6 – резиновая оболочка; 7 – незамерзающая жидкость; 8 – отверстия в корпусе водоприемника; 9 – корпус водоприемника; 10 – проволока; 11 – крышка водоприемника; 12 – соединительная муфта (стык корпуса водоприемника с основной трубой пьезометра); 13 – пьезометрическая труба; 14 – крышка пьезометра; 15 – гравийная подушка; 16 – фильтровая обсыпка; 17 – водоприемник; 18 – песчаный грунт; 19 – скважина; 20 – измеряемый уровень незамерзающей жидкости в пьезометре; 21 – кривая депрессии; 22 – теплозащитный оголовок; 23 – крышка оголовка (размеры в см)**

Корпус водоприёмника, заполняемого незамерзающей жидкостью (антифризом), снабжён крышкой и оболочкой из морозостойкой резины

(внутренний диаметр 65 мм, толщина стенки 2 мм), служащей для передачи давления фильтрационной воды в теле сооружения на жидкость внутри пьезометра. Корпус водоприемника выполняется из металлической оцинкованной трубы диаметром 88,5 мм или пластмассовой трубы диаметром 83 мм и длиной 102 см. Труба перфорируется проходными отверстиями диаметром 10 мм, через 20...40 мм по высоте. С наружной стороны корпус покрыт гофрированной пластмассовой сеткой, стеклотканью или наматывается медная проволока диаметром 2...3 мм в один ряд с зазором 0,5...0,7 мм. В верхней части крышки имеется патрубок длиной 50 мм и диаметром 48 мм с резьбой для соединения с пьезометрической трубой.

В нижней части водоприемника находится отстойник, который служит для осаждения мелких частиц грунта, попавших в водоприемник. Отстойник выполняется из трубы того же диаметра, что и корпус водоприемника. Он соединяется с корпусом с помощью внутренней муфты с перфорированной диафрагмой, через отверстия которой происходит отстой мелких частиц грунта. В нижней части отстойник закрывается заглушкой, которая крепится к трубе на резьбе. Все металлические части водоприемника и неоцинкованные трубы перед сборкой обязательно дважды покрываются снаружи и внутри антакоррозийным составом. После изготовления пьезометра проверяется герметичность соединения резиновой оболочки с крышкой. Перед установкой водоприемник (его объем около 3,5 л) заполняется антифризом до крышки и соединяется с пьезометрической трубой. Соединение водоприемника с трубой, а также отдельных звеньев труб между собой производится на муфтах. На забой скважины диаметром примерно 150...200 мм отсыпается подушка из гравия толщиной 20 см с уплотнением. Вертикальность пьезометра обеспечивается направляющими скобами, прикрепляющимися через 3 м по высоте. После установки в скважину пространство вокруг водоприемника и пьезометрической трубы засыпается крупнозернистым сухим песком. В процессе эксплуатации пьезометра внутренняя часть пьезометрической трубы на глубину 2...2,5 м смазывается маслом, чтобы не образовывалась ледяная пробка в результате конденсации влаги.

Для земляных плотин и ограждающих дамб накопителей можно рекомендовать совсем простейшие глубинные пьезометры (рис. 5.35).

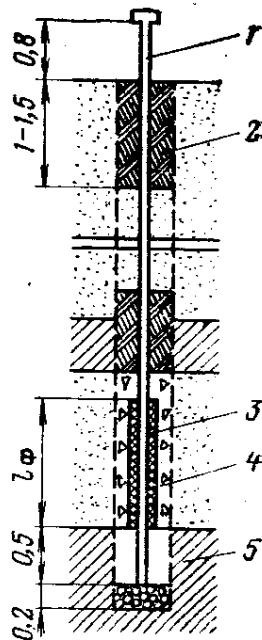
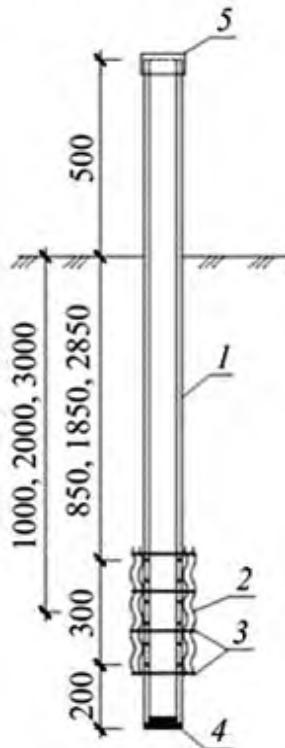


Рис. 5.35. Схема глубинного пьезометра: 1 – труба пьезометра; 2 – тампон из мятой глины; 3 – фильтр; 4 – засыпка песком; 5 - отстойник

После произведения тампонирования скважины цементно-бентонитовой смесью производится заполнение цементирующим составом на основе воды, цемента и бентонита оставшейся части скважины [56]. Для малых сооружений при необходимости одновременно оценить качество грунтовых вод с их отбором для дальнейшего исследования в лаборатории используют на мелиоративной сети пьезометры типизированной конструкции (рис. 5.36).



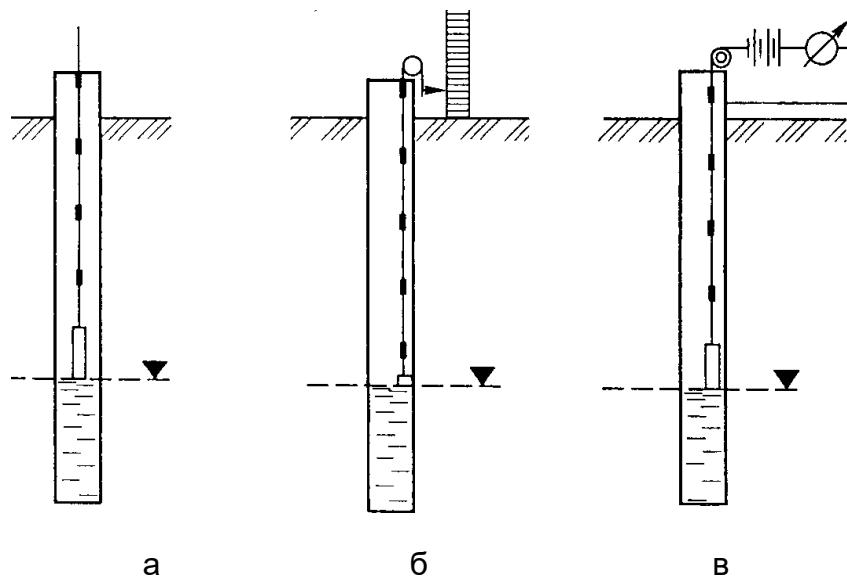
**Рис. 5.36. Типизированная конструкция пьезометра для проведения мониторинга гидрохимического режима и отбора грунтовых вод с глубины до 3 м:** 1 – пластмассовая труба диаметром 110 мм; 2 – фильтр из геотекстиля; 3 – перфорация; 4 – отстойник высотой 200 мм; 5 – колпак, закрывающий верхнюю часть

При пьезометрировании обычно замеряют или считают **уровень жидкости** (как расстояние от устья до поверхности жидкости в скважине). В последнее время для вычисления уровня воды в пьезометрах, по аналогии с определением уровня жидкости в нефтяных скважинах используют также метод **эхометрирования**: в скважину направляется звуковой сигнал, нейросеть автоматически фиксирует момент отражения акустического сигнала от поверхности жидкости, отражённый импульс записывается. На основе полученной эхограммы и скорости распространения звука в данной среде рассчитывается расстояние до поверхности жидкости.

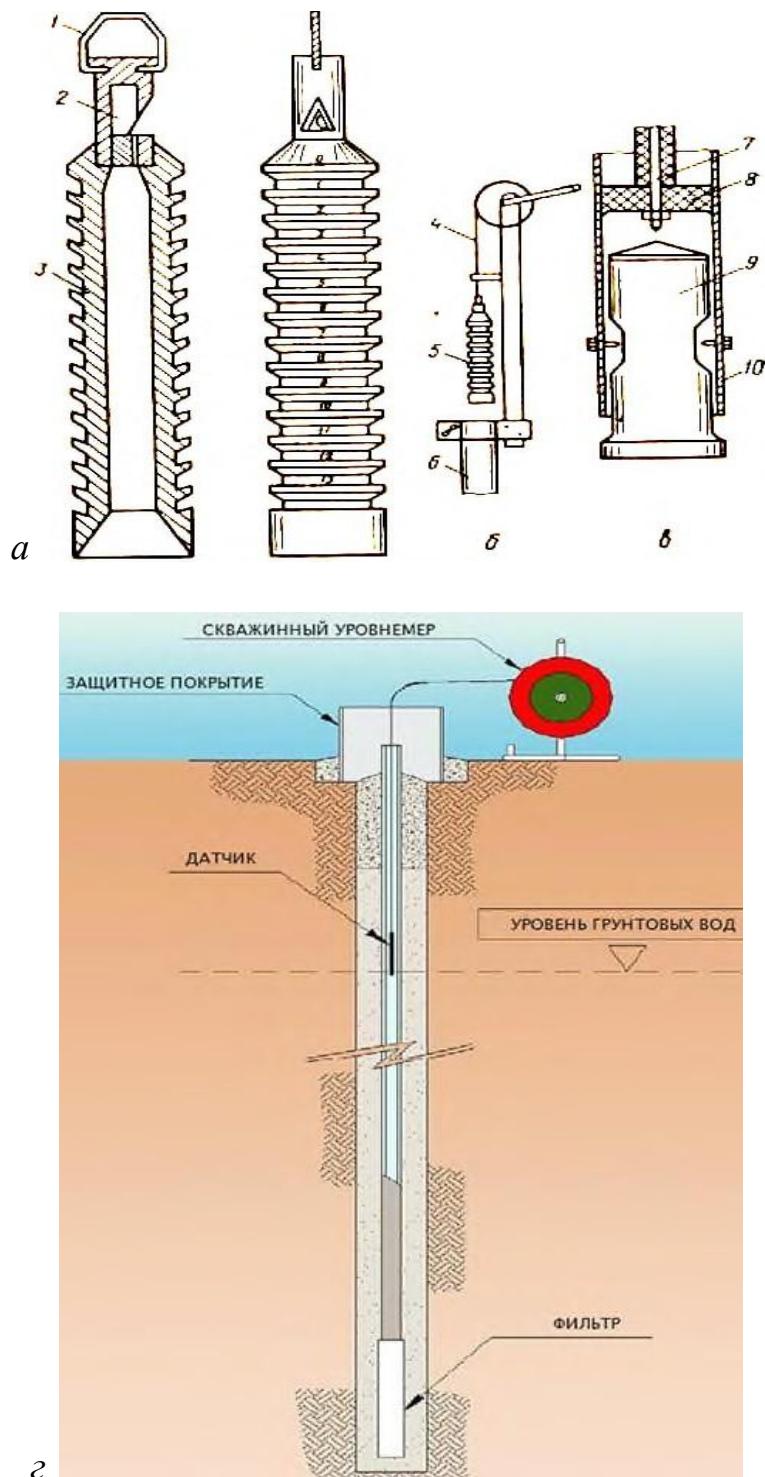
Частью масштабной цифровизации, проходящей в стране и в мировой гидротехнике, является внедрение нового программного обеспечения (ПО) производственных процессов, адаптированного для работы в российских операционных системах семейства Linux и включённого в Единый реестр

отечественного ПО. Современные программные комплексы на базе искусственного интеллекта позволяют автоматизировать контроль за уровнем воды в скважине пьезометров и сделать анализ обследований комплексным, ускоряют анализ данных в сотни раз. Алгоритм, заложенный в ПО, может не только выделять уровень жидкости, но и проводить контроль качества эхограмм по нескольким критериям, повысить точность обработки данных.

**Уровни воды или антифриза** в пьезометрах (рис. 5.37) давно измеряют с помощью рулеток с прикреплёнными к ним такими простыми приспособлениями как: хлопушка, лот-свисток, электроконтактный прибор разной модификации (рис. 5.37). В момент звукового или светового сигнала, обозначающего, что достигнут контакт с водой, берётся отсчёт по рулетке относительно занизированной отметки верха пьезометрической трубы.



**Рис. 5.37. Способы измерения уровня грунтовых вод в наблюдательных скважинах:** а – мерным тросом с хлопушкой; б – стационарным поплавком; в – электроуровнемером



**Рис. 5.38. Основные виды классических приборов для измерения уровней воды в пьезометрах [17]:** а – лот-свисток; б – приспособление для опускания прибора в пьезометр; в – электроконтактный прибор; 1 – скоба для прикрепления троса; 2 – свисток; 3 – полый цилиндр с тарелочными нарезками; 4 – трос; 5 – прибор; 6 – труба пьезометра; 7 – изолированный проводник; 8 – эbonитовая диафрагма; 9 – цилиндрический поплавок; 10 – цилиндрическая труба; г – датчик различной модификации

Величина измеряемого пьезометром напора воды зависит от объема водоприемника (количества незамерзающей жидкости в нем) и диаметра пьезометрической трубы. Поэтому необходимо предварительно установить возможную максимальную величину напора в месте расположения пьезометра с тем, чтобы можно было выбрать необходимый диаметр пьезометрической трубы.

Опыт эксплуатации природоохранных ГТС показывает [24], что увеличение объема жидкости на один литр повышает величину измеряемого напора соответственно на 2...3 м. Так, например, с помощью пьезометра, имеющего объем 3,5 л, можно измерять напор до 6 м при диаметре пьезометрической трубы равном 33,5 мм и до 10 м при диаметре 26,8 мм. За нулевую отметку обычно принимается отметка нижней части водоприёмника. Для наблюдения за уровнем воды в прудке и за толщиной льда в прибрежной зоне земляного ГТС устанавливают специальную рейку. Обычно фиксацию уровня в современных условиях осуществляют с использованием различных типов поплавковых приборов, а также: погружных датчиков давления, устройств для измерения расстояния до поверхности воды, например, лазерной рулетки; пневмогидравлической аппаратуры. Наиболее широкое распространение на российских мелиоративных системах получили акустические уровнемеры серии «ЭХО». Диапазон измерения уровня 0...30 м, погрешность измерения уровня – 1 %.

Существует целый ряд аналогичных приборов для измерения и регулирования уровня: уровнемеры емкостные, уровнемеры буйковые, акустические, ультразвуковые уровнемеры, сигнализаторы уровня [ ]. Например, забивные (заливные) пьезометры СР1 и СР15 диаметром 19...38 мм эффективно используются для определения давления воды в порах и уровня воды в проникаемых почвах при решении таких задач, как контроль устойчивости склонов, состояние плотин/дамб и насыпей (рис. 5.39а). Лёгкий и компактный индикатор уровня воды СР, используемый для определения глубины нахождения воды в скважинах, стояках и колодцах позволяет быстро и точно определять

глубину воды. Устройство CPR выпускается в большом диапазоне длины. В приборе предусмотрено регулирование чувствительности с контролем при помощи визуальной и звуковой сигнализации (рис. 5.39б).



Рис. 5.39. **Пьезометры:** а – забивные (заливные) СР1 и СР15; б - индикаторы уровня воды СРР-6

Ниже представлены наиболее часто используемые современные конструкции **традиционных датчиков** для пьезометров (рис. 5.40 – 5.42). Оптоволоконные датчики не чувствительны к электромагнитным полям и высокотемпературны (рис. 5.40д).

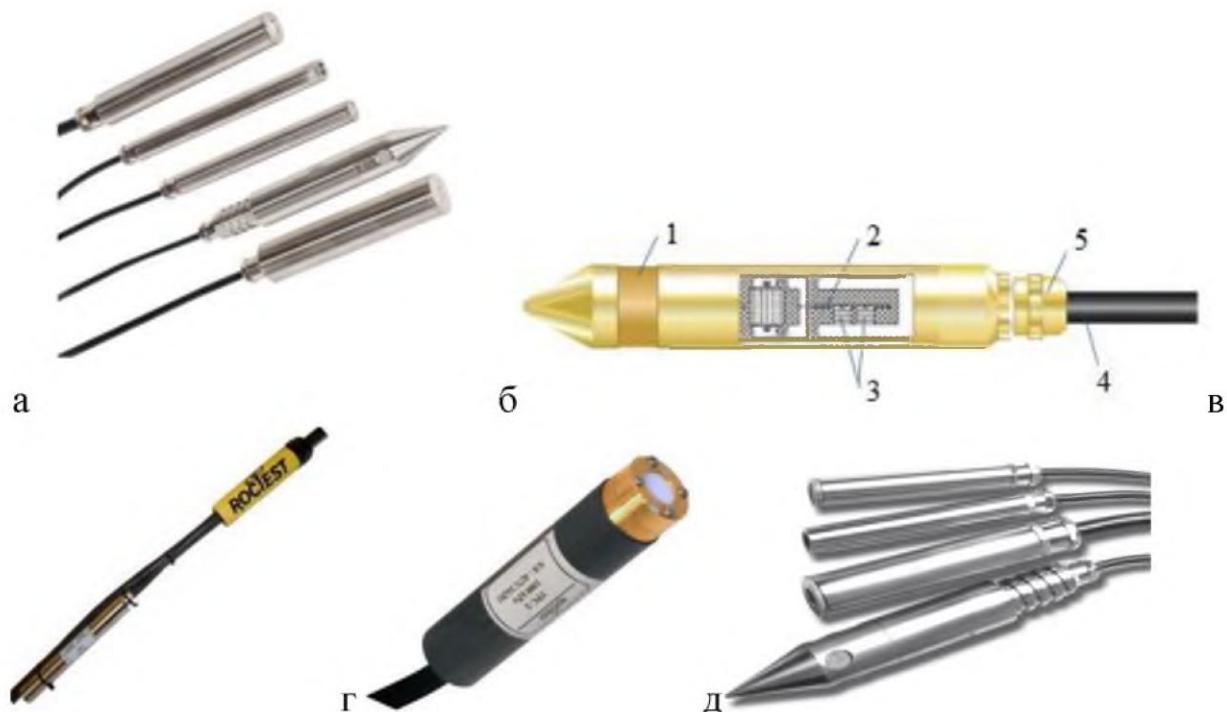


Рис. 5.40. **Традиционные датчики для пьезометров:** а – струнного типа PW; б – струнный типа CL1; 1- бронзовый или керамический фильтр; 2 - вибрирующая струна; 3 -

электромагнит; 4 - кабель; 5 – коннектор; в – Многоуровневый струнный пьезометр PWML; г - пневматический FPC-2; г – оптоволоконный, серия FOP

Для измерений давления жидкости, уровня жидкости в пьезометрических скважинах, порового давления грунта при проведении геотехнического мониторинга грунтового массива при строительстве и эксплуатации ГТС хвостохранилищ, дамб, природных объектов хорошо зарекомендовали себя датчики давления PLLG (рис. 5.41).



**Рис. 5.41. Внешний вид пьезометрического датчика PLLG-D01-A с фильтром большой пористости LAE**

К эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту датчика разной модификации (PLLG-D01, PLLG-D21, PLLG-D21 и др, отличающихся габаритными размерами, параметрами встроенного блока питания, встроенной памяти и радиоинтерфейса LoRaWAN) допускается персонал, прошедший инструктаж по технике безопасности, имеющий соответствующую квалификацию. Установка пьезометра производится скважины, выполненные в соответствии с требованиями, предъявляемыми ко всем пьезометрам. Скважина должна быть обсажена пластиковой или металлической обсадной трубой и оборудована фильтром и отстойником для предотвращения засорения скважины и фильтра пьезометра. Возможны три варианта устройства конструктивных схем (рис. 5.42): в открытую безнапорную пьезометрическую скважину; закрытую пьезометрическую скважину с песчаным карманом; в тампонируемую скважину без песчаного кармана. Установку пьезометра рекомендуется проводить на уровне на 50...100 см ниже расчетного нижнего уровня водного горизонта.

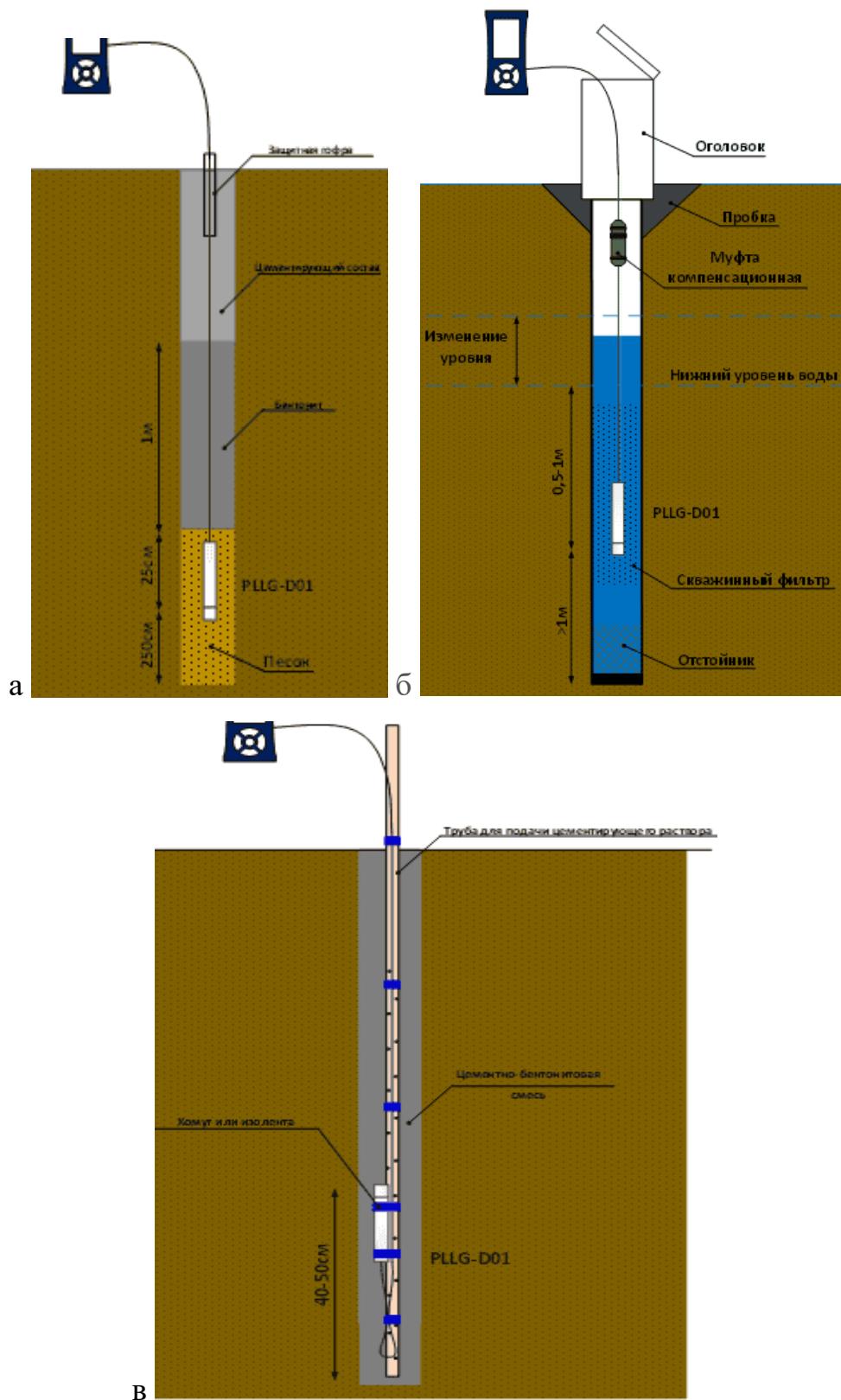


Рис. 5.42. Способы установки пьезометра PLLG-D01 [56]: а - в открытую наблюдательную скважину PLLG-D22; б - в тампонированную скважину на песчаную подушку; в - в тампонированную скважину без песчаной подушки

Контроль расхода фильтрационной воды в дренажных устройствах (скважинах, лотках) и в местах неорганизованного сосредоточенного выхода потока на поверхность грунтовых и бетонных ГТС производится с использованием: мерных водосливов, мерных сосудов (объёмным способом), гидрометрических вертушек, расходомеров, поплавков, по производительности насосов, откачивающих воду, объёмо-метрическими измерениями и прочими современными устройствами (рис. 5.43) [41, 45, 54, 55]. Для изучения фильтрации токсичных промышленных стоков из накопителей, степени её влияния на санитарное состояние подземных вод и для оценки качества воды в целом систематически отбираются пробы воды из скважин пьезометрической сети и изучается их химический состав. Это позволяет установить ореол загрязнения во всей области расположения накопителя и скорость распространения загрязнений в различных направлениях. Для определения скорости фильтрационного потока и его направления течения рекомендуется пользоваться методом индикаторов или радиоактивными изотопами с применением способа наблюдательных скважин, используя для этой цели существующую пьезометрическую сеть [24].

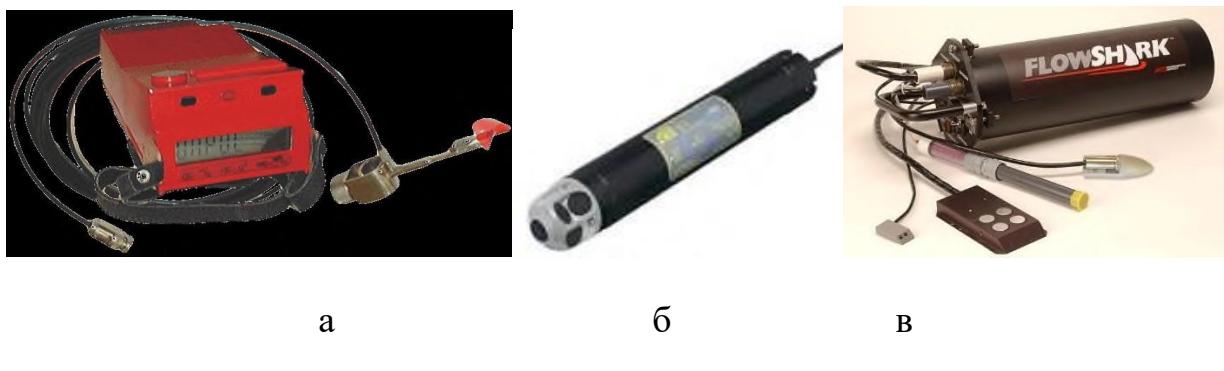


Рис. 5.43. КИА для оценки расходов [17]: а - переносное высокоточное средство измерения скорости движения и расхода воды (МКПС); б - акустический Доплеровский измеритель скорости; в - ультразвуковой расходомер ADS 3600/FlowShark

Для контроля протечек можно использовать распределённые оптические датчики температуры в виде проложенного в сооружении оптического кабеля с регистрацией с высокой точностью температуры в любой его точке (рис. 5.44). Автоматизированная система контроля фильтрационного состояния с использованием современных оптических кабелей представляет собой уложенный

определенным образом в тело или основание плотины распределённый датчик температуры. Такая система позволяет определить место протечки и зону намокания. На основе распределённых волоконно-оптических датчиков также производится термомониторинг скважин.

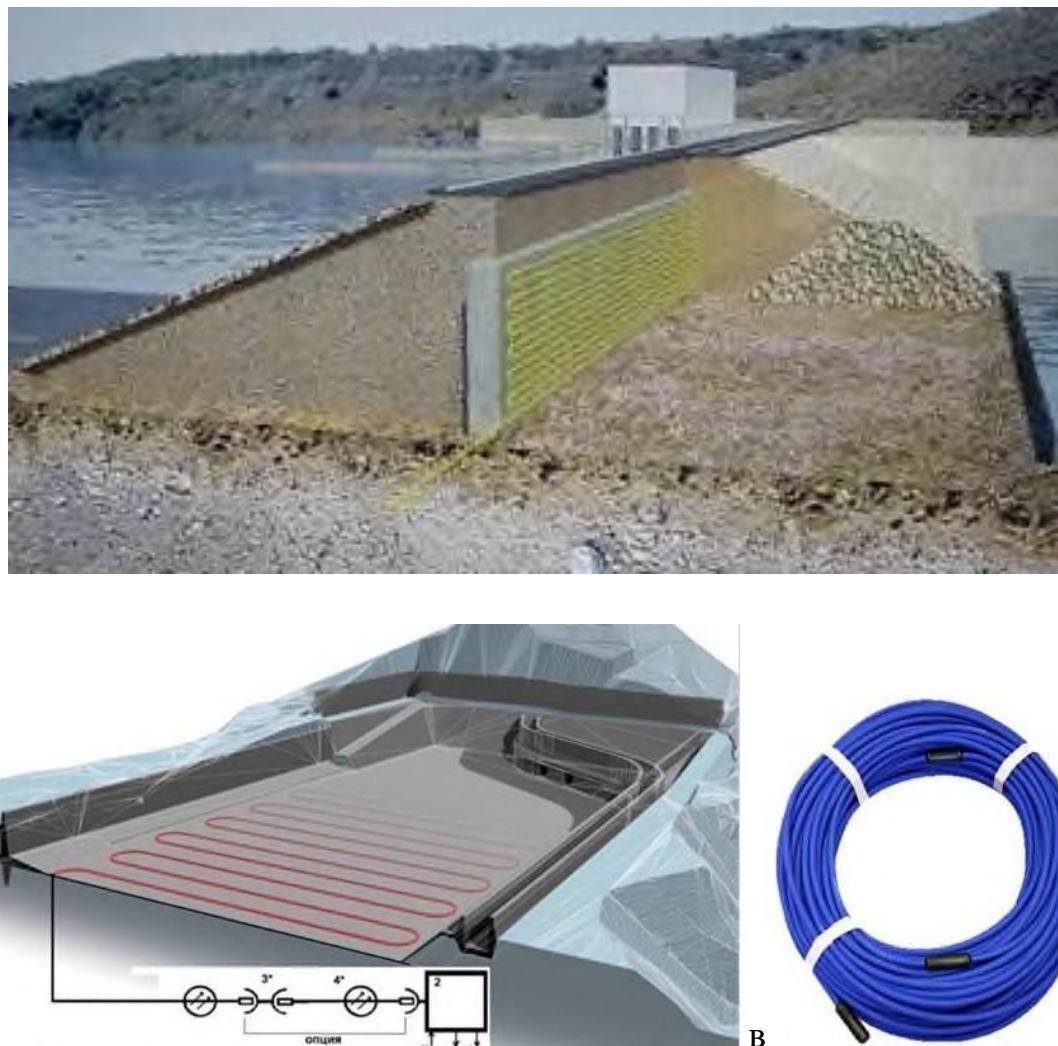


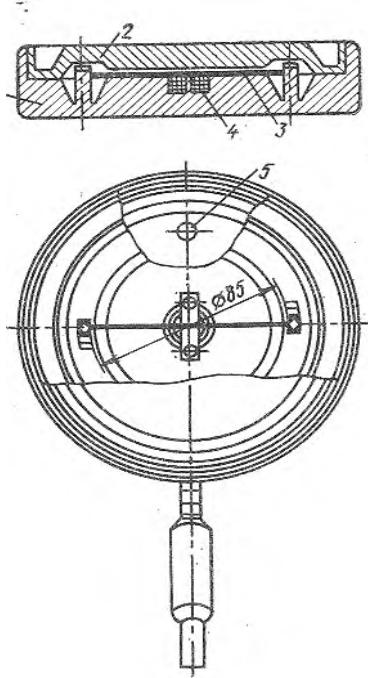
Рис. 5.44. Распределённые оптические датчики температуры: а, б – схемы расположения в теле ГТС; в – общий вид

### 5.3. Наблюдения за напряжённым состоянием грунтовых ГТС

Для оценки эксплуатационной надёжности грунтовых плотин используют методы оперативного определения строительных показателей грунтов в теле сооружения на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований. По идеи В.Я. Жарницкого оценка деформации тела низконапорной грунтовой плотины достоверно проводится с помощью метода статистического

исследования грунта (эмпирического распределения коэффициента уплотнения грунта, характеризующего процесс консолидации грунта - основной технологический предел) [50]. Для этого надо оперативно определять геотехнические строительные показатели грунтов: параметры стандартного уплотнения (плотность, оптимальная влажность и предел пластичности), показатели прочности (коэффициент сцепления и угла внутреннего трения  $\varphi$  или коэффициент трения  $tg\varphi$ ), показатель водопроницаемости  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации.

Для оценки напряжённого состояния, прочности и устойчивости грунтовых сооружений используют проверенные способы: определение напряжений в теле плотин и их элементов путём замера деформаций грунта с последующим пересчётом их на напряжения методом теории упругости и пластичности, либо путём непосредственного измерения напряжений, например, эстензометрами. Применяемые ныне **разрушающие методы: бурение, проходка шурfov, зондирование – носят случайных характер**, так как выбор места закладки не имеет достаточно корректного обоснования и в лучшем случае апробация выполняется по сетке. Эти методы трудоемки, дорогостоящи, разрушают и перфорируют тело экрана. Кроме того, часто отсутствуют специальные методики заделки выработок, пройденных в готовом теле противофильтрационного экрана, с обязательным выполнением с обязательным выполнением проектных требований к послойной укладке грунтов с нормативными значениями плотности, влажности, степени влажности для каждого элемента. Таким образом, контрольная выработка в теле противофильтрационного экрана становится потенциальным путем фильтрации. Большее распространение получил метод непосредственного измерения сжимающих напряжений, например, совместной установкой грунтовых динамометров (струнных, гидравлических, пневматических и др.) (рис. 5.45) и пьезодинамометров [17].



**Рис. 5.45. Струнный грунтовый динамометр конструкции Гидропроекта:**

1 – коробка; 2 – крышка; 3 – струна длиной 110 мм; 4 – катушка; 5 – винт крепления

Широко используются специализированными организациями преобразователи линейных перемещений струнного типа **ПЛПС-320(160)** (рис. 5.46) - дистанционные электромагнитные приборы для наблюдений за послойными осадками и деформациями грунтовых плотин и оснований в условиях одноосных взаимных линейных перемещений их элементов (участков) в пределах 160...320 мм.



**Рис. 5.46. Общий вид преобразователя линейных перемещений струнного типа ПЛПС-320(160)**

При установке приборы с помощью двухпроводных и многожильных кабелей в резиновой оболочке соединяют с коммутаторами преобразователей КП-24 или центральным измерительным пунктом. Измерения перемещений выполняют с помощью цифрового периодомера типа ПЦП-1.

Мониторинг деформаций проводится с применением современных систем и технологий контроля, среди которых: GeoMoS (Leica Geosystems, Швейцария); GOCA (University of Applied Sciences Karlsruhe, Германия) (рис. 5.47).

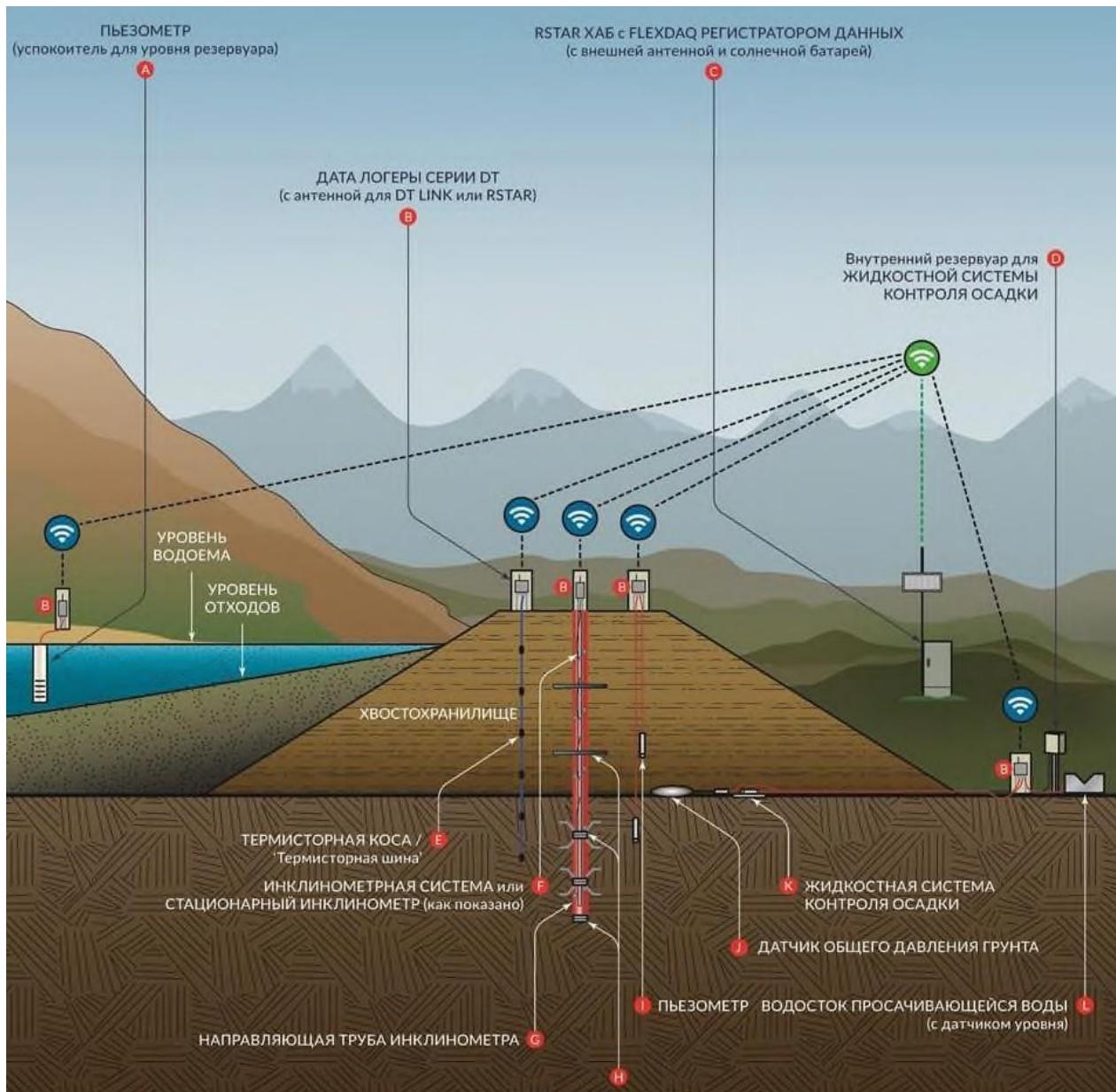


Рис. 5.47. Магнитная система контроля осадки, включающая уровневые пластины, подвижные магниты и контрольные метки) для промышленных дамб: пропорции не соблюдены

Для измерений используются: электронные тахеометры, GPS, цифровые нивелиры, лазерные дальномеры, инклинометры, датчики наклона, метеодатчики и другое геодезическое оборудование. Так комплекс GeoMos/GOCA может быть использован:

- при проектировании, строительстве (реконструкции) и эксплуатации ГТС;
- для оценки уровня безопасной эксплуатации ГТС;
- в качестве системы раннего предупреждения возникающих рисков.

**Биолокация** тоже позволяет обнаружить возможные скрытые дефекты уже заполненного водохранилища с поверхности воды с плавсредств. Принцип действия метода определения дефектов биолокацией весьма прост: исследуемый массив грунта – экран, дамба, скальный грунт основания – при отсутствии дефектов имеет определенный энергетический фон, в котором отсутствуют аномалии.

Биолокация выполняется по этапам. На *первом этапе* с помощью некоторых технологических приемов биолокации с рамками в руках биооператор, пресекая тело грунтового массива (или с поверхности акватории) по системе взаимно пересекающихся профилей-маршрутов ( $20 \times 20$  м), обнаруживает аномалии различной интенсивности, которые посредством инструментальной топографо-геодезической съемки фиксируются на крупномасштабном геодезическом плане, а на местности обозначаются вешками или флагами.

На *втором этапе* сетка профилей биолокации сужается (до  $10 \times 10$  м,  $5 \times 5$  м,  $3 \times 3$  м,  $1 \times 1$  м) с целью нанесения на топоплан конфигурации аномалий, их протяженности в плане. *Третий этап* работы заключается в установлении природы характерных аномалий (точечных, кольцевых, линейных, замкнутых конфигураций), то есть в определении принадлежности аномалий к тем или иным типам скрытых дефектов грунтового массива. Результатом работы является крупномасштабный план районирования скрытых дефектов (если таковые имеются) грунтового массива – основания или ПФУ (например, экрана) – с краткой запиской и классификацией дефектов по характеру и интенсивности, размеров и конфигурации последних.

#### **5.4. Средства для георадиолокационных исследований ГТС**

Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства – электропроводность или диэлектрическая проницаемость. Георадиолокационное диагностирование проводиться с

использованием аппаратных и программных средств. Основной величиной, измеряемой при георадарных исследованиях, является время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника. Поскольку скорость распространения электромагнитной волны в разных материалах различна и определяется величиной диэлектрической проницаемости материала, то, определив время пробега электромагнитной волны, и зная скорость её распространения в материале (или его диэлектрическую проницаемость), можно судить о толщине объекта.

**Георадар** – геофизический прибор для проведения быстрого профилирования грунта (рис. 5.48). Он обеспечивает получение регистрируемого геологического профиля на жидкокристаллическом индикаторе, определение глубины и места залегания подземных неоднородностей, разнообразных предметов и объектов в земле: кабелей, труб, фундаментов, уровней грунтовых вод и границ раздела геологических слоев. Диапазон глубин георадарного зондирования, как правило, составляет от поверхности до 7...8 м в тяжелых глинистых грунтах и до 20...30 м в легких песчаных грунтах и вечной мерзлоте. Для зондирования среды используются георадары непрерывного и импульсного действия.



Рис. 5.48. Общий вид георадара (а) и работы комплекса для георадиолокационного диагностирования (б)

Метод георадиолокации предназначен, прежде всего, для качественной оценки состояния сооружений (рис. 5.49). Высокая чувствительность этого метода к

незначительным изменениям в строении, структуре и состоянии материалов конструкции сооружения делают его незаменимым для выявления дефектов, накапливающихся, развивающихся и проявляющихся под действием внешних нагрузок и обуславливающих снижение долговечности и несущей способности конструкций в целом.



Рис. 5.49. Состав полевого базового комплекта георадара «Око-2»: а – блок обработки управляющий (БОУ); б – блок питания 4,5/12; в – блок питания 2/12; г – оптический преобразователь (ПО); д – штанга-ручка (либо транспортная ручка или телескопическая ручка в зависимости от антенного блока; е – зарядное устройство (ЗУ-2); ж – регистрирующее устройство ПО (Geo Scan 32); з – зарядное устройство (ЗУ-9)

## **6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ УХОД ЗА ЗЕМЛЯНЫМИ ПЛОТИНАМИ И ДАМБАМИ**

Все усилия службы эксплуатации должны быть в первую очередь сосредоточены не на ликвидации последствий возможных разрушений, а на предупреждение их. Своевременное устранение причин, в результате которых происходит разрушение, это наиболее надёжный путь обеспечения нормальной работы земляного подпорного ГТС.

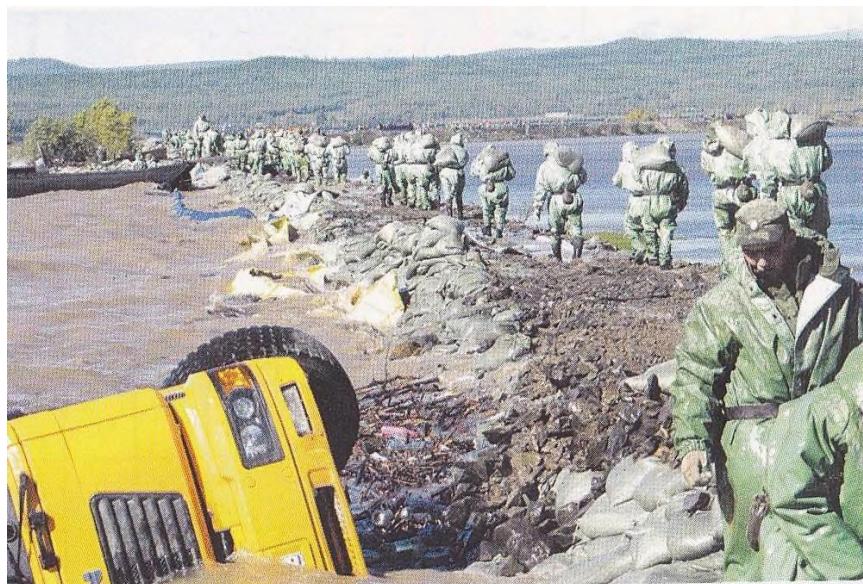
Для всякого ГТС, в том числе и для земляных плотин и дамб, устанавливают предельный нормативный срок службы, который может быть обеспечен лишь в результате постоянного наблюдения за общим состоянием плотины и выполнения эксплуатационных ремонтных работ. В зависимости от объема и характера выполняемых работ различают аварийный, профилактический, текущий и капитальный ремонты.

**Аварийный ремонт** является внеплановым, его проводят в тех случаях, когда плотина или какая-то часть ее получила местное разрушение и есть опасение дальнейшего распространения его, в результате чего возможна потеря устойчивости всего сооружения (рис. 6.1). Выполняется аварийный ремонт немедленно после того, как такое разрушение обнаружено.

**Профилактический ремонт** заключается в проведении защитных мероприятий, исключающих возможность появления тех или иных деформаций, или отдаление срока наступления их до того времени, когда будет проведен текущий или капитальный ремонт.

Работы, более сложные и разнообразные, относятся к **текущему ремонту**. Необходимость таких работ обычно устанавливают на основе наблюдений как визуальных, так и инструментальных. Текущий ремонт выполняют по календарному графику, составляемому на каждый год. К текущему ремонту относятся: замена отдельных частей сооружения (без изменения их проектных форм и размеров) в связи с износом материала; восстановление участков с

мелкими повреждениями, получившимися в результате нарушения установленного режима работы сооружений; исправление дефектов, обнаруженных после сдачи объекта в эксплуатацию, и ряд других мелких работ, которые выполняются для поддержания плотины в нормальном рабочем состоянии.



**Рис. 6.1. Экстренное наращивание и укрепление мешками с песком  
Мылкинской дамбы, защищающей селитебные территории г.  
Комсомольска-на- Амуре в период экстремального сентябрьского  
наводнения 2013 г. в бассейне р. Амур [48]**

К капитальному ремонту относится устранение серьезных и крупных повреждений, реконструкция узла сооружений, вызванная изменением проектных размеров или коренной перестройкой плотины в связи с изменением условий работы. Капитальный ремонт, как правило, производят при сработанном уровне воды в водохранилище. Все работы, связанные с капитальным ремонтом, выполняет строительная организация, законченные работы принимает комиссия, так же, как и новые объекты. Капитальный ремонт осуществляется за счет специальных средств, образующихся в результате ежегодных амортизационных

отчислений, и выполняется специализированными строительными организациями.

В целом для всех грунтовых ГТС на мелиоративной сети актуальны [43, 46]:

- разработка высоконадежных ПФУ для грунтовых плотин в виде диафрагм и экранов из геосинтетических материалов с использование отходов различных полимеров;
- использование новых технологий при строительстве противофильтрационных экранов и облицовок, в том числе по подготовке оснований, раскладке полимерных материалов, их соединению и контролю качества;
- разработка гибких берегозащитных покрытий грунтовых плотин и дамб с использованием габионов матрацного типа и геосетки, изготовленную из отходов полимеров;
- разработка эффективных и надежных ПФУ на дамбах каналов оросительных систем в виде экранов и облицовок, практически исключающих потери на фильтрацию;
- широкое применение для противофильтрационной защиты новых материалов (геосинтетических материалов – геомембран и геотекстилей; материалов, изготовленных из полимерных отходов – листов и плит повышенной толщины);
- применение для ремонта бетонных поверхностей ГТС и облицовок быстротвердеющих полимерных композиций типа «жидкая геомембрана», включающих высокомодифицированные производные нефти и специальные отходы полимеров.

Применяемые в настоящее время технологии ремонтно-восстановительных работ предусматривают:

- производство досыпки тела плотин и гребня;
- восстановление обрушенных откосов грунтом того же состава, что и тело сооружения;
- заделки трещин, фильтрационных ходов, нор и других подобных дефектов – им же либо суглинком, глиной, смесью суглинка (глины) с навозом, мешками с грунтом и т. п.

Со временем из-за низкой прочности, водо- и морозостойкости досыпанных и восстановленных элементов плотин/дамб их защитные свойства (прочностные, противофильтрационные, теплоизоляционные и др.) будут утрачены и дефекты могут появиться вновь.

Ремонт и реконструкцию, а иногда и восстановление земляных плотин и дамб приходится выполнять при **реставрации памятников садово-паркового искусства**. Особенностью ГТС исторических гидроузлов усадебных водных систем обычно является то, что габариты старинных плотин и дамб, как правило, не соответствуют современным нормам проектирования и строительства [26]. Это несоответствие заключается в отклонении от современных норм таких конструктивных показателей, как ширина гребня, коэффициенты заложения верхового (мокрого) и низового (сухого) откосов, отсутствии дренажных призм и других элементов дренажа, а также отсутствии противофильтрационных элементов (экранов, ядра, зуба, шпунтовых стенок и др.) и т.д. Водосбросы таких старинных плотин были, часто грунтовыми и не закрепленными на гребне. Проектирование и строительство земляных дамб и плотин производилось без соответствующего гидрологического и геологического обоснования, что делало эти сооружения беззащитными перед лицом катастрофических половодий и паводков, приводивших к разрушению плотин в зоне водопропускных сооружений, мостовых переходов или даже всего тела плотины.

При восстановлении или реновации таких плотин часто приходится сталкиваться с зарастанием верховых откосов кустарниковой, а низовых - древесной и кустарниковой растительностью. При ремонте и реконструкции грунтовых плотин и дамб целесообразно максимально использовать существующие местные материалы: булыжник, бутовый камень, бетонные и железобетонные конструкции, а также природные или природоподобные элементы из хвороста, дерева, растительного материала, мелкого камня и т. д.

После капитального ремонта либо реновации плотины или дамбы, выполнив отсыпку тела, производят планировку откосов и их укрепление. Мокрый откос крепится специально подобранным искусственным или природоподобным биопозитивным типом укрепления [22], например, геосинтетикой с различными видами заполнителя, каменной отмосткой в плетневую клетку или засаживается кустарниковой ивой. Сухой откос обкладывается дерном, рулонным газоном или засевается многолетними травами [23]. Особое внимание при этом должно уделяться мелиоративным работам по водоёму и фитомелиоративным мероприятиям в прибрежных зонах как в верхнем, так и в нижнем бьефах гидроузла. Например, для проведения санитарных и водоохраных мероприятий по водоёму следует предусмотреть [7]: углубление водоема в мелководных местах и верховых с образованием глубин не менее 0,7 м, для уничтожения материальных очагов и предотвращения зарастания; очистка русла балки ниже плотины для устранения застоя воды; очистка ложа водоема от случайного мусора, навоза, кустарника, пней и т.д.; посадка по берегам водоема древесных пород и кустарников на расстоянии 5...10 м от уреза воды для образования водоохранной зоны; устройство биоплато и пр.

Одновременно при необходимости должны проводиться работы по реновации водопропускных сооружений; водосборных каналов, водосбросных сооружений, водозаборов, водовыпуска, локальных ГТС рыбоводческого назначения и т.п..

## 6.1. Гребень

В земляных плотинах наиболее серьезными и опасными повреждениями являются различного рода **трещины**, связанные с деформацией сооружения. По расположению различают трещины **продольные и поперечные**. Особенno опасны поперечные трещины, так как они могут послужить причиной образования промоины и размыва тела плотины. В земляных плотинах они появляются за счет неоднородности грунта в её различных частях, недостаточного уплотнения, при неправильном сопряжении тела плотины с берегами.

Любую трещину независимо от ее величины, местоположения и зоны распространения немедленно заделывают. Продольные трещины заделывают грунтом того же состава, что и само тело плотины. Укладывают грунт в траншее слоями не более 0,15 м с тщательным трамбованием каждого слоя, так как применять какие-либо уплотняющие механизмы из-за ограниченности площади нельзя [9, 17]. Для этого отрывают трапециoidalную траншею по направлению трещины, шириной и длиной несколько больше самой трещины для удобства ее выполнения и последующего заполнения грунтом - примерно на 1 м с каждого конца с запасом на обе стороны по 0,3...0,5 м, и глубиной на 0,3...0,5 м ниже основания трещины (рис. 6.2а) [8].

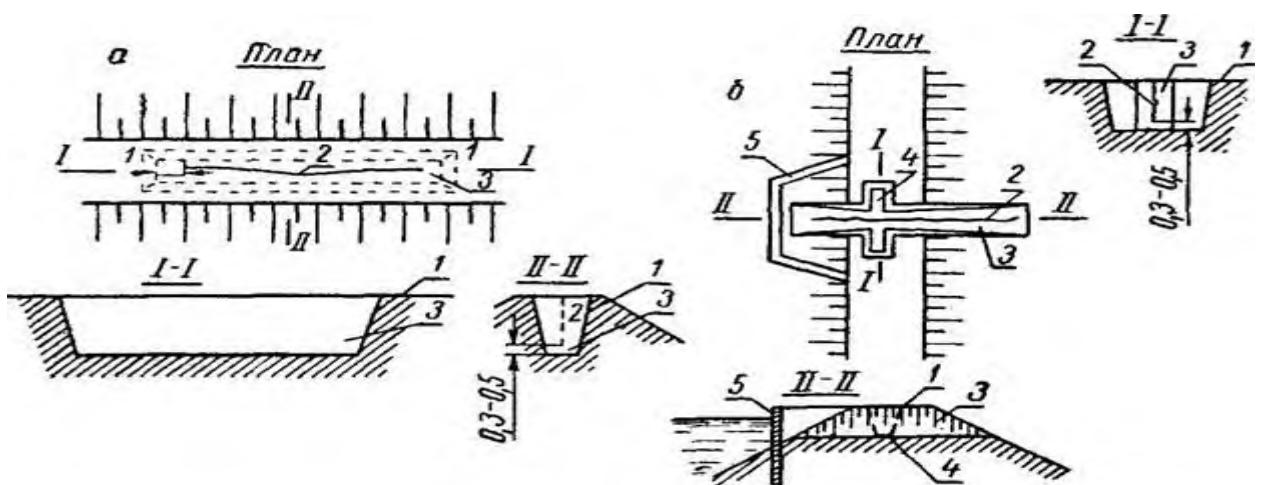


Рис. 6.2. Заделка трещин грунтовых плотин [9]: а – продольных; б – поперечных; 1 – гребень плотины; 2 – трещина; 3 – траншея; 4 – поперечная шпора (замок траншеи); 5 – шпунтовое ограждение. Размеры в м

При заделке более глубоких трещин, расположенных близко к верховому откосу, когда уровень воды в водохранилище стоит высоко и есть опасность поступления значительного количества фильтрующейся воды в траншею, принимаются меры к укладке водонепроницаемого пластиря по верховому откосу плотины, в пределах длины вырытой траншеи. При заделке глубоких трещин устраивают замок, располагая его перпендикулярно трещине в пределах гребня плотины. Поперечные трещины заделывают аналогично продольным, с той лишь разницей, что со стороны верхового откоса приходится устраивать шпунтовое ограждение и поперечные шпоры в виде замка (рис. 6.2б) [9, 17].

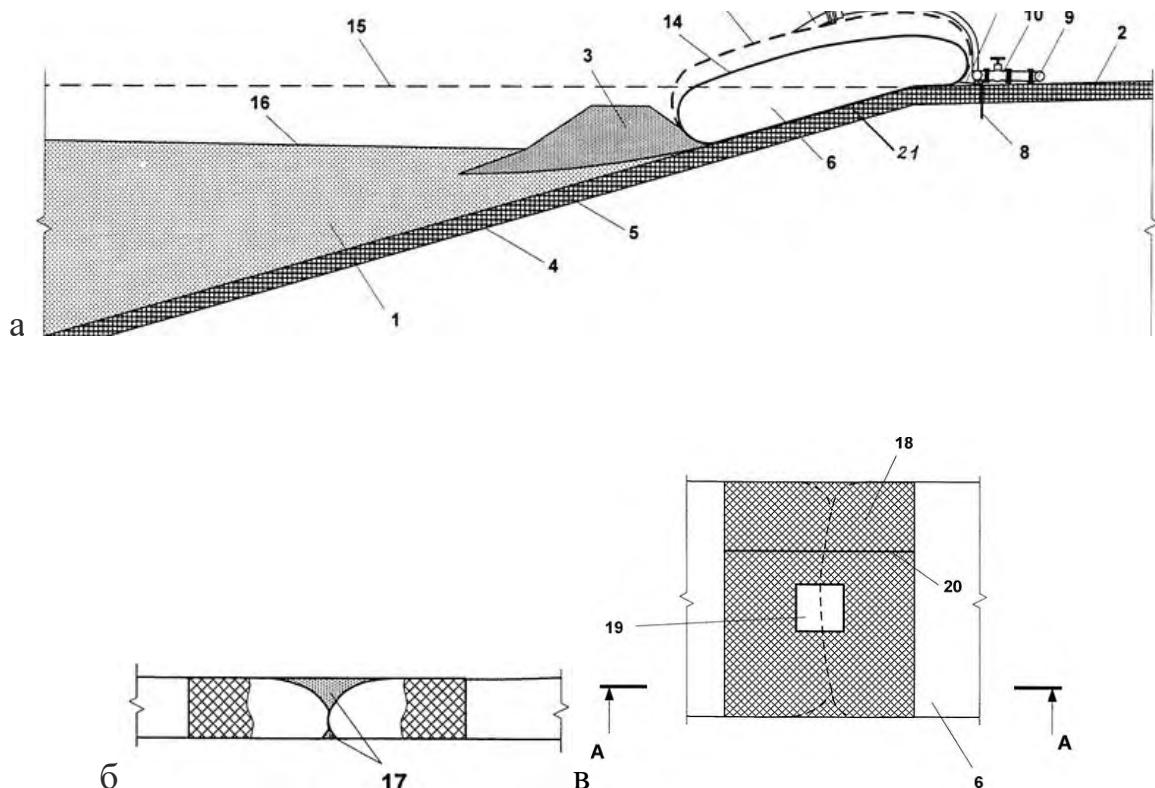
При необходимости повышения отметки гребня насыпного подпорного ГТС в целях улучшения производства работ наращивать их желательно со стороны низового откоса. При этом верховой откос плотины или дамбы принимают по возможности более крутым. Поверхность контакта устраивают в виде уступов со снятием растительного слоя, чтобы обеспечить надежное сопряжение вновь отсыпанного материала с телом плотины/дамбы первой очереди. Систему дренажа оставляют без изменения, обеспечивая отвод вод в нижний бьеф [30].

Однако наращивание однородной грунтовой плотины на слабоводопроницаемом основании при реконструкции ГТС следует осуществлять как с верховой, так и с низовой сторон сплотины. Увеличение высоты плотины/дамбы с диафрагмой (ядром) и завесой в основании возможно, как с низовой ее стороны - путем наращивания диафрагмы экраном, так и с обеих сторон - с сохранением вертикальной диафрагмы, при этом следует определить необходимость усиления противофильтрационной завесы в основании. Увеличение высоты плотины/дамбы с экраном и ПФУ в основании возможно только с низовой ее стороны с проверкой фильтрационной прочности экрана (из грунтовых или негрунтовых материалов) и при необходимости с усилением ПФУ в основании.

Осадка плотины, особенно надстроенной части, не должна нарушать ПФУ с надежно выполненными контактами. Реконструируемый вариант должен быть

экономичным и надежным при учёте применения соответствующих мероприятий по обеспечению нормальной работы дренажа. Более подробно схемы наращивания гребня подпорных насыпей даны в учебном пособии [31].

В промышленной гидротехнике при наращивании дамб шламохранилищ в качестве заполнителя геотуб часто используется шлам или разные смеси (рис. 6.3) [52].



**Рис. 6.3. Способ наращивания узкопрофильной дамбы шламохранилища рукавом из геотекстильного фильтрующего материала, заполненного шламом [52]:**

**а – продольный разрез береговой части шламохранилища;** **б –стык между рукавами;** **в - схема укладки полосы геотекстиля и ее сшивки;** 1 - шлам; 2 - дамба; 3 - упорный грунтовый вал; 4 - полиэтиленовая пленка; 5 - слой щебня; 6 - рукав; 7 - ремни; 8 - штыри; 9 - нагнетательный трубопровод; 10 - распределительный трубопровод с задвижкой; 11 - патрубок; 12 - шланг; 13 - контур номинального объема заполнения рукавов; 14 - контур рукава меньше номинального; 15 - новый уровень объема шламохранилища; 16 - проектный уровень шламохранилища; 17 - смесь шлама и цемента; 18 - полоса из геотекстиля; 19 - окно для заливки смеси шлама с цементом; 20 - линия сшивки полосы из геотекстиля; 21 - внутренняя незаполненная часть откоса дамбы

## **6.2. Крепление откосов земляных плотин и дамб**

### **6.2.1. Верховой откос**

Причиной разрушения одежды земляных откосов и дамб, как отмечалось в п. 2.2 является волновое воздействие, резкое снижение горизонтов воды и, как следствие этого, появление при быстром понижении уровня воды фильтрационных сил, разрушающие действующих на укрепленный откос. Эксплуатационными приемами можно снизить действие фильтрационного давления, например, за счет правильной укладки подготовки под крепление и за счет снижения горизонта воды со скоростью не более 1...2 м/сут (большей для песчаного грунта, меньшей для суглинистого) [17]. Также можно исключить силу воздействия льда припая, если на всем протяжении по линии контакта льда и покрытия откоса выполнять майну, поддерживая ее незамерзающей в течение всего периода ледостава. Наличие майны позволяет ледовому покрову свободно перемещаться и в верх и вниз, избегая при этом воздействию льда на покрытие грунтовых откосов.

Когда разрушенные участки покрытия расположены под водой, на период ремонта приходится понижать уровень воды в водохранилище. Если же по каким-либо причинам сработку уровня воды осуществить невозможно, временное крепление разрушенного участка покрытия делают часто из каменной наброски. В дальнейшем, когда уровень воды в водохранилище понизится, ремонтные работы выполняют, как указано выше, «насухо».

Разрушенные участки покрытия верхового откоса обычно восстанавливают той же самой конструкции, которая принята в проекте, т.е. путём восстановления старой конструкции крепления (рис. 6.4). Если же локальные разрушения от волнового воздействия захватывают все новые и новые участки, а восстановленные места вновь разрушаются, можно предположить несоответствие типа покрытия и его размеров волновым воздействиям. В этом случае следует провести контрольные расчеты и определить толщину покрытия с учетом

фактически наблюдаемых параметров ветровых волн и дальнейшее исправление производить с учетом внесенных корректировок.

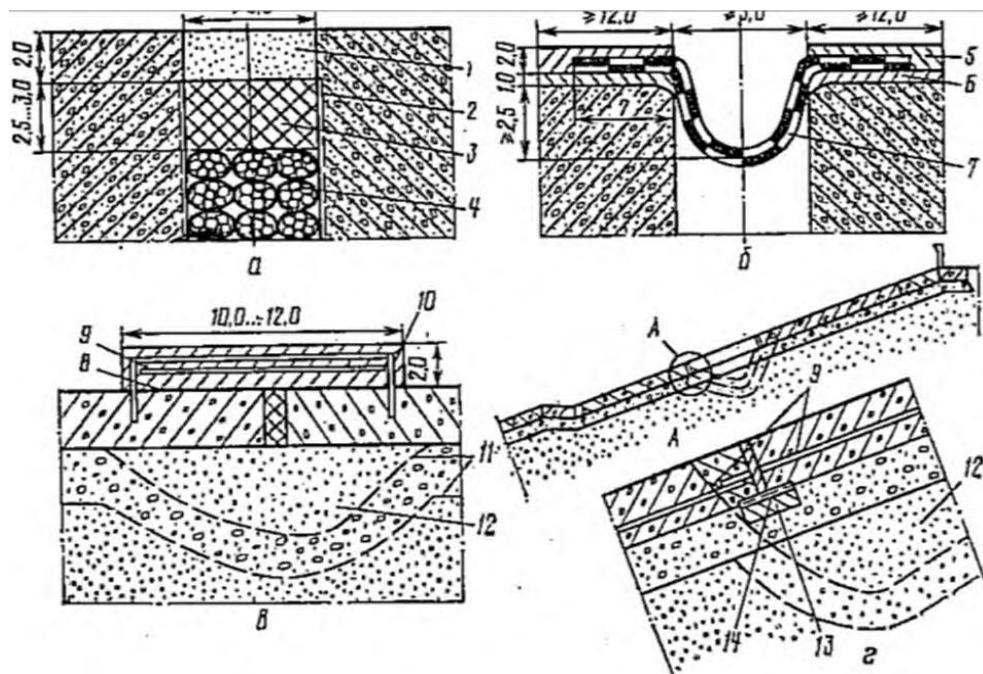
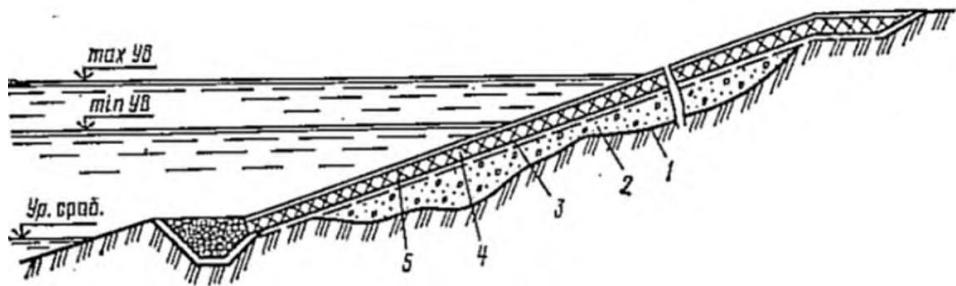


Рис. 6.4. Ремонт деформационных швов бетонных креплений откосов

[17]: а и б – при отсутствии промоин под плитами; в и г – при промоинах под плитами соответственно с ненарушенной и нарушенной устойчивостью плит: 1 – цементный раствор; 2 – грунтовка торцов плит; 3 – битумно-полимерный герметик; 4 – пропитанный битумом канат; 5 – полимер-раствор; 6 – эпоксидно-каучуковая композиция; 7 – лента стеклопластика; 8 – слой битума; 9 – арматура; 10 – плита-накладка; 11 – граница разрушенного крепления; 12 – засыпка грунтом; 13- плита-прокладка; 14 – битумный мат. Размеры в см.

Восстановить участок можно и укладкой более мощного и надежного покрытия новой конструкции (рис. 6.5). Как в первом, так и во втором случае разрушенные места полностью очищают от старого покрытия, после чего укладывается подготовка, а по ней новое покрытие. Особенно тщательно эти работы следует выполнять по стыку старого покрытия с новым. При исправлении поврежденных участков старое разрушенное покрытие удаляют, после чего восстанавливают фильтровую подготовку, фракции которой должны соответствовать расчетным значениям, и по спланированной подготовке укладывают новое покрытие. Особенно тщательно выполняют работы по линии стыка старого покрытия с новым, приурочивая их к деформационным швам.

В покрытиях из железобетонных плит целесообразнее укладывать на ремонтируемых участках монолитные армированные бетонные плиты, которые проще выполнить как по условию сопряжения старого покрытия с новым, так и по производственным условиям, учитывая, что не потребуется кранового оборудования и тщательности выполнения планировочных работ подготовки.



**Рис. 6.5. Восстановление крепления откоса плотины асфальтобетонной облицовкой [17]:** 1 – границы разрушения откоса; 2 – промоина, заполненная песчано-гравийным грунтом; 3 – зона протравленного ядохимикатами; 4 – асфальтобетонное покрытие; 5 – обработанная поверхность

### 6.2.2. Низовой откос

Низовой откос плотины не в меньшей степени подвержен деформациям, чем верховой. Основными факторами, влияющими на устойчивость низового откоса и его крепление, являются атмосферные воздействия и фильтрационный поток в теле плотины.

Деформация низового откоса проявляется в общей потере устойчивости или в местных разрушениях. В первом случае это происходит из-за подъема кривой депрессии и, как следствие, увеличения фильтрационной силы, а также снижения реактивных сил в толще насыпи. Изменение положения кривой депрессии устанавливается по наблюдениям за уровнями воды в пьезометрах. Причиной повышения кривой депрессии может быть засорение и колматаж дренажа, его недостаточная пропускная способность, деформации в результате значительной неравномерной осадки основания, а также закупорки отверстий дренажа.

Дренажи по типу призмы или комбинированные менее подвержены расстройству. Выход из строя приемной части в таких дренажах не ведет к

выключению всего дренажа, так как в работу вступают соседние участки. При этом происходит незначительное повышение кривой депрессии. Трубчатые дренажи этим свойством не обладают, а в случае выхода из строя приемной части требуют капитального ремонта. Трудоемкость выполнения таких работ очевидна, особенно при глубоком расположении приемной части дренажа в теле плотины.

Местные деформации низового откоса могут происходить в результате выпадения ливней, переувлажнения грунта, появления сосредоточенных выходов грунтового потока на откос, а также при наличии ходов, оставляемых землеройными животными.

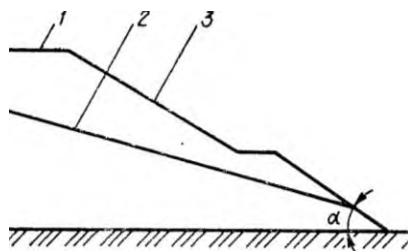
Одним из основных условий обеспечения устойчивости низового откоса является быстрый отвод поверхностных вод. Это достигается системой сбросной сети, состоящей из кюветов и лотков. Основная задача отводящей системы состоит в том, чтобы она в любое время могла принять и отвести поверхностные воды, поступающие на откос.

Особое внимание следует обратить на очистку кюветов и лотков в весенний период, перед началом таяния снега. Снежный покров с откосов плотины в зимний период удалять не рекомендуется, так как это вызывает более глубокое промерзание грунта и переувлажнение при оттаивании. Расчистка снега допустима только на тех участках откоса, за которыми проводятся регулярные наблюдения. Но и в этом случае оголенные места полезно утеплять, покрывая их матами из камыша или каких-либо волокнистых материалов.

Переувлажнение грунта низового откоса может образоваться и в результате высокого травостоя, если откос крепится залужением: высокий травостой способствует задержанию дождевых вод, их впитыванию в грунт и переувлажнению откоса. Поэтому траву нужно периодически скашивать и удалять.

Появление сосредоточенных очагов фильтрации на низовом откосе представляет большую опасность для его устойчивости. Особенно это относится к очагам, в которых наблюдается вынос частиц грунта тела плотины (результат

суффозионного процесса). В результате в земляных плотинах часто со стороны низового откоса происходят оползневые явления, т.е. местные нарушения устойчивости земляных масс. Причиной оползней чаще всего является перенасыщенность водой грунтов, имеющих крутые откосы, поэтому оползням обычно предшествует явно выраженное струйчатое движение фильтрационного потока, выходящего на откос (рис. 6.6). Практической мерой, предупреждающей деформацию откоса, и приостановки разрушения его небольших участков является устройство наслонного дренажа или фильтрующей пригрузки, уложенной по типу обратного фильтра. После чего устанавливается причина появления выхода грунтового потока на откос и принимаются меры по ликвидации очага, предупреждению появления подобных очагов в соседних местах. В более сложных случаях выход фильтрационного потока перехватывают устройством дренажа.

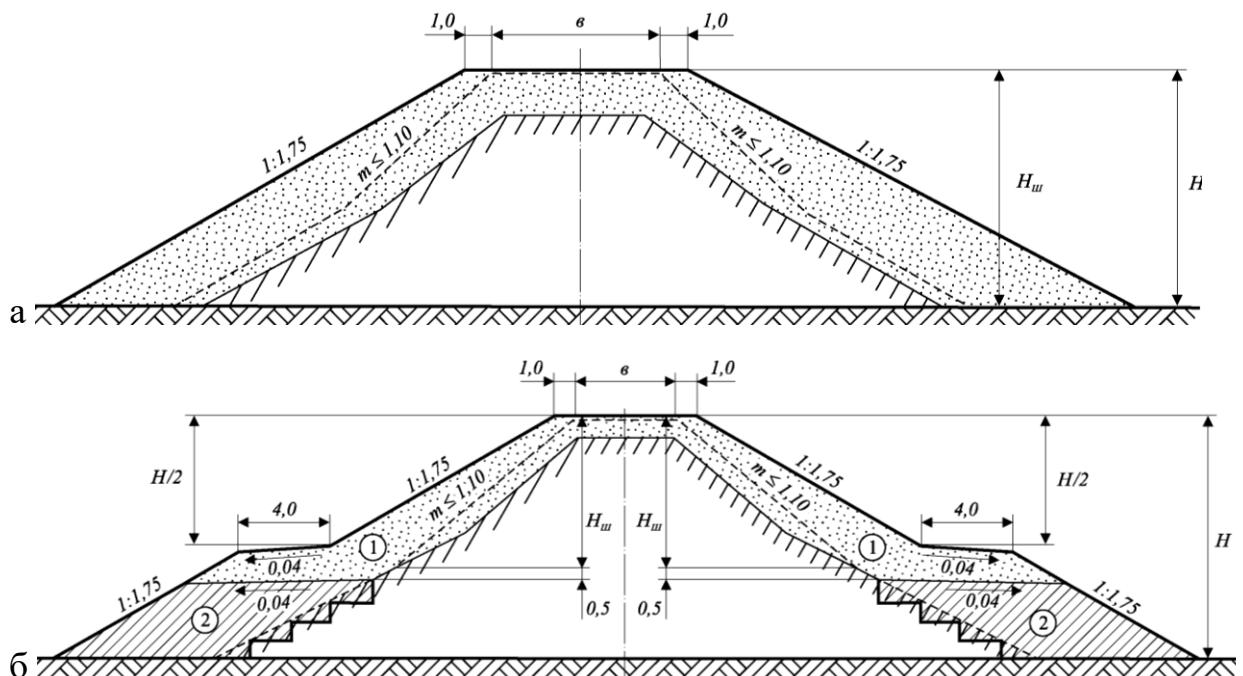


**Рис. 6.6. Низовой откос земляной плотины:** 1 - гребень плотины; 2 – кривая депрессии; 3 – низовой откос

Большой вред для низового откоса приносят ходы землеройных животных. Фильтрационный поток, попадая в такие ходы, движется с большими скоростями, в результате чего происходит размыв стенок и вынос грунта за пределы плотины. Из-за этого неизбежны просадки откоса и дальнейшее его разрушение. Обнаруженные ходы следует заполнять грунтом, а глубоко расположенные заливать глинистым раствором с цементом под напором. При обнаружении ходов эксплуатационные мероприятия должны быть направлены, прежде всего, на уничтожение животных химическими способами борьбы [9, 12, 17, 20, 54].

При уже произшедшем оползне прежде всего ликвидируется причина,

вызвавшая его, а затем последствия разрушения. Ремонтные работы в этом случае производят при сниженном горизонте воды в верхнем бьефе. Процесс ликвидации оползня состоит в досыпке грунта до проектных размеров поперечного профиля плотины, насыпая новый грунт того же состава, что и тело плотины. Для лучшего сопряжения вновь насыпаемого грунта со старым грунтом тела плотины вся оплывшая масса удаляется, а по контуру деформированного откоса устраиваются наклонные ступени по принципу сопряжения плотины с берегами. Грунты насыпаются горизонтальными слоями толщиной 0,15...0,25 м на всей длине ремонтируемого откоса. Отсыпка ведётся, начиная от подошвы, с тщательным уплотнением каждого слоя. Некоторые возможные схемы групповых технических решений насыпных сооружений при ремонте плотин и дамб приведены на рисунке 6.7 [8].



**Рис. 6.7. Примеры групповых технических решений насыпных сооружений (плотин, дамб, транспортных насыпей) высотой от 5 до 20 м при крутизне основания: а - до 1:20; б – более 1:20**

Для надежного сопряжения наращиваемой призмы с низовым откосом плотины/дамбы растительный слой должен быть убран.

### 6.3. Противофильтрационные устройства

К наиболее опасным явлениям, могущих вызвать деформации и привести к потере прочности и устойчивости отдельных элементов грунтовых плотин, относятся: выход фильтрационных вод на откос, в береговых примыканиях, выше дренажных устройств; фильтрационные деформации грунтов (супфозия и т.п.); выпор грунта из-под сооружения на низовом откосе; появление мутной профильтровавшейся воды из основания в нижний бьеф; ощутимые просадки, формирующиеся в зонах усиленной супфозии; образование очагов фильтрации и т.п.

Избыточная фильтрация в плоскости основания плотины или дамбы возникающая нередко вследствие плохой подготовки основания при строительстве, может быть устранена путём устройства глиняного экрана, замка и понура с напорной стороны ГТС и устройства дренажа с его низовой стороны. При ремонте земляных плотин и дамб иногда бывает целесообразно использование негрунтовых противофильтрационных элементов (ПФУ): асфальтобетонные экраны и диафрагмы, железобетонные экраны, инъекционные центральные ядра, полимерные геомембранны и пр. (рис. 6.8).

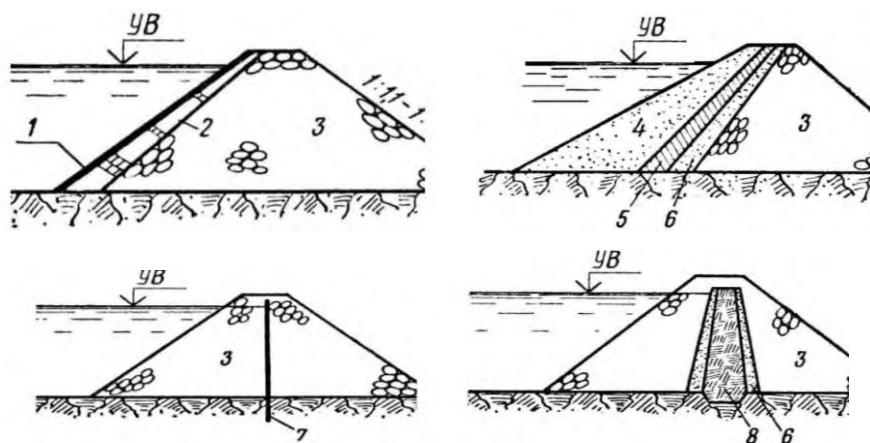


Рис. 6.8. Варианты устройства классических схем ПФУ при ремонте земляной плотины или дамбы: 1 — экран; 2 — подэкрановая кладка; 3 — каменная наброска; 4 — пригрузка грунтом; 5 — пластичный (грунтовый) экран; 6 — обратный фильтр; 7 — диафрагма; 8 — ядро из маловодопроницаемого материала

Опыт строительства грунтовых плотин с такими ПФУ в РФ накоплен довольно большой. Например, при возведении плотин с инъекционными центральными ядрами может использоваться современная струйная технология, которая применялась при строительстве Сангудинской ГЭС, а плотины с асфальтобетонными экранами и полимерными геомембранами успешно используются при строительстве ГАЭС. Асфальтобетонные диафрагмы реализованы в плотинах Ирганайской и Богучанской ГЭС. Правда, примеров опыта эксплуатации плотин с железобетонными экранами – одной из наиболее распространенных современных конструкций грунтовых плотин (в мире построено более 300 высоких плотин такой конструкции, только в Китае таких плотин более 170, из них 2 – высотой более 200 м) пока в России нет.

Среди современных методов устранения повышенной фильтрации через грунтовые плотины, основания и береговые примыкания можно выделить:

- **торкретбетон** – бетон, получаемый методом пневматического распыления бетонной (растворной) смеси на обрабатываемую поверхность;
- **торкретирование** – вид бетонных работ, при котором бетонная (растворная) смесь послойно наносится на обрабатываемую поверхность методом воздушного распыления под давлением сжатого воздуха;
- **торкрет-фибробетон** – модификация торкрет-бетона, содержащего в своем составе армирующие волокна – стальные или полимерные фибры;
- **стальная фибра** – отрезки тонкой стальной проволоки, тонкого стального листа или стальных волокон, получаемых разбрызгиванием расплава, фрезерованием сляба или другими способами;
- **полимерная фибра** – армирующие элементы специального производства из отрезков полимерных волокон.

#### 6.4. Дренажи земляных плотин и дамб

Повреждения дренажных систем грунтовых сооружений (из условий выполнения ремонтных работ) подразделяются на следующие виды: повреждение дренажа грунтовых плотин; повышение кривой депрессии с выклиниванием ее на поверхность низового откоса; нарушение работы обратных фильтров, уложенных на дне и откосах каналов; выход из строя дренажных скважин; засорение дренажных систем и т.д. (рис. 6.9).

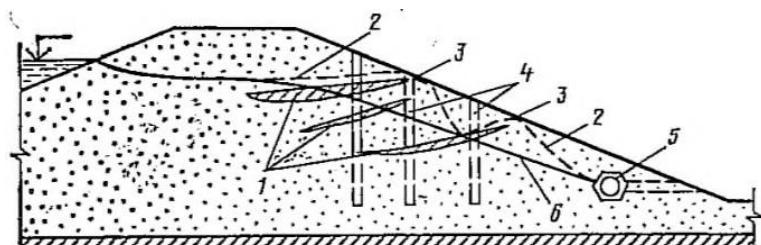


Рис. 6.9. Схема устранения высачивания воды на низовой откос

**земляной плотины [17]:** 1 – прослойка супеси и суглинка; 2 – положение кривой депрессии до ремонта; 3 – зоны высачивания; 4 – водопоглощающие скважины; 5 – положение кривой депрессии после ремонта

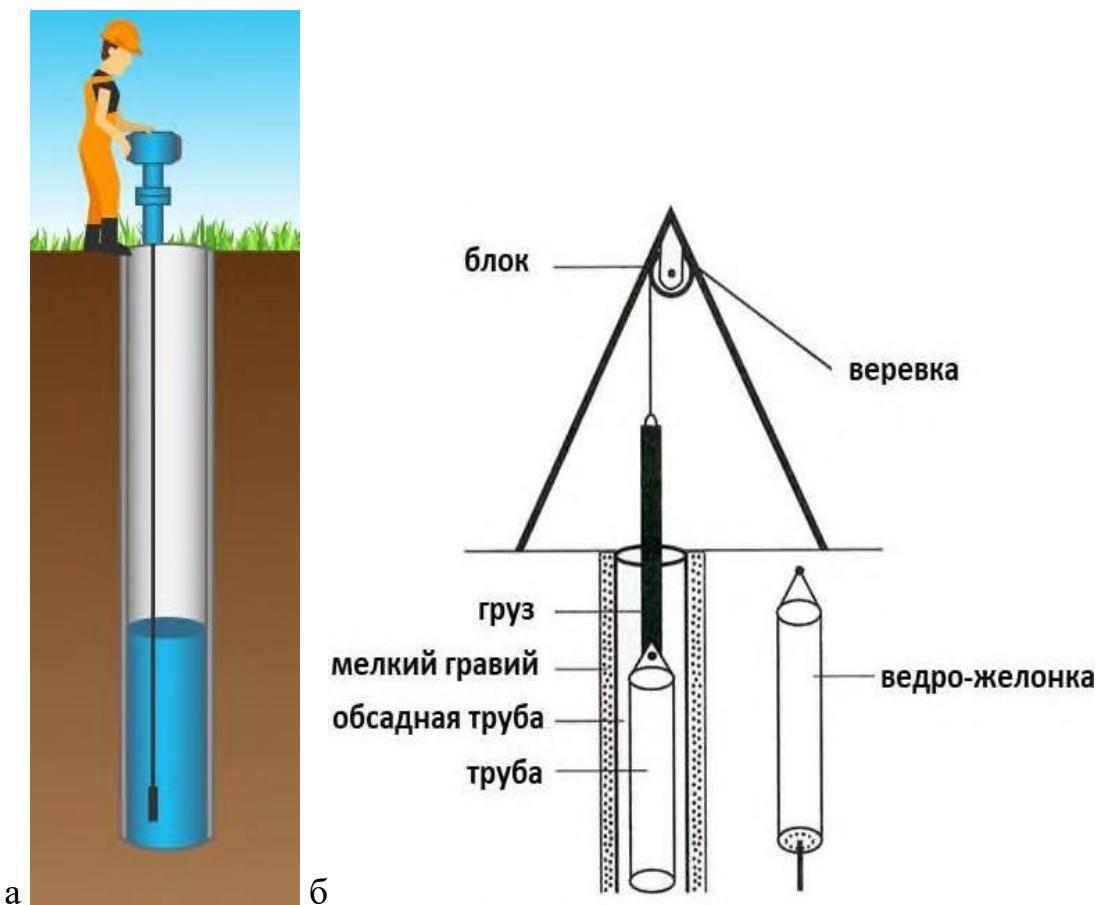
Перемычками ограждают поврежденный участок. Из вышележащего участка канала в нижерасположенный воду перекачивают с помощью насоса или пропускают по обводному каналу. Вокруг ремонтируемого участка устанавливают иглофильтры с круглосуточной откачкой воды, которые позволяют осушить канал и предохранить его откосы от оползания при воздействии гидродинамического фильтрационного потока. В отдельных случаях, когда уровень грунтовых вод находится в пониженном состоянии, достаточно ограничиться поверхностным водоотливом, устроив для этой цели зумпф. На участке осущенного канала разбирают крепление и обратный фильтр.

#### 6.5. Уход за пьезометрами

Особое внимание при выполнении эксплуатационных и ремонтных работ должно быть уделено **сохранности КИА ГТС**. Поскольку в процессе

эксплуатации трубчатых пьезометров, установленных в земляных сооружениях, они часто выходят из строя, то это может быть причиной некорректного получения значений фактического диагностического показателя. В процессе эксплуатации пьезометры выходят из строя иногда после 3...4 лет работы в зависимости от конструкции и материалов, применяемых в водоприемниках, свойств грунтов, воды и др. Причинами этого могут быть механические, температурные повреждения элементов пьезометров, окисление сеток перфораций, кольматаж их, механическая или химическая суффозия и вынос грунта при неправильно выбранном фильтровом материале, замусоривание трубы пьезометра грязью, камешками, посторонними предметами и т.п., которые попадают сверху. **Стабильные** уровни в них свидетельствуют о неработоспособности пьезометров. При этом **низкие** уровни могут быть, например, из-за кольматации, а **высокие** – из-за засорения.

Засорение пьезометра устанавливают путем опускания в него груза на гибкой связи. Если расстояние от устья до дна значительно уменьшилось, примерно на 50% его рабочей части, значит, пьезометр засорился. Поэтому требуется систематический уход за пьезометрической сетью и проверка работоспособности пьезометров (рис. 6.10). Очищают его от иллистых и песчаных частиц путем их извлечения с помощью желонок или других буровых ловильных инструментов для твердых предметов. Для обеспечения нормальной работы гидроузла с грунтовой плотиной или дамбой необходимо осуществлять проверку пьезометров на засорение, а в случае необходимости проводить их прочистку или промывку. Если это не помогает, то заменять неисправные пьезометры. Регулярную проверку состояния и работоспособности пьезометра делают 2 раза в год. Для очистки пьезометров от камней, металлических, деревянных предметов и простого мусора можно рекомендовать использовать комплект стандартного бурового оборудования.



**Рис. 6.10. Уход за пьезометрами:** а – установка гидростатического уровнемера на скважину; б - установка для очистки пьезометров желонками разного типа

Иногда пьезометр промывают под давлением 2...4 кгс/см<sup>2</sup> путем опускания в него шланга с водой, которая взмучивает осадок и выносит его через устье. Иногда хороший эффект даёт откачка пьезометров, так как при этом в начальный момент после откачки вода проникает в пьезометр под большим напором и вымывает из фильтра водоприёмника илистые частицы. Воду из него откачивают желонкой или стальным стаканом. Воду отводят на закреплённый участок откоса.

Работоспособность рабочих пьезометров определяют путём сброса напора на 5...10 м с помощью специального крана и наблюдения периода восстановления напора. По окончании прочистки проверяют чувствительность пьезометра, которая оценивается временем, требующимся для установления в нём уровня воды. По окончании прочистки проверяют чувствительность пьезометра, которая

оценивается временем, требующегося для установления в нём уровня воды. пьезометры требуют замены примерно через 4 года. Зимой устья пьезометров утепляют и помечают вехами. В тех случаях, когда восстановить работоспособность пьезометра не удается его ремонтируют с извлечением из сооружения либо устанавливают рядом новый пьезометр [31].

При проведении текущих ремонтных работ современных пьезометров, оснащённых датчиками разного типа необходимо руководствоваться действующими нормативными актами. Датчик - изделие восстанавливаемое, ремонтируемое на уровне функциональных узлов, среднее время восстановления должно быть не более 2 часов. Возможные неисправности и методы их устранения указываются в паспорте или инструкции, прилагаемым к датчику. Среднее время наработки на отказ датчика не менее 100000 часов. Критерием отказа является нарушение функционирования. Полный средний срок службы струнного датчика не менее 10 лет. При выполнении ремонтных работ необходимо соблюдать такие условия, как: ремонт конструктивных узлов (замена мембранны, электронного блока) выполняется только производителем; после ремонта обязательны повторные испытания (функциональный тест под давлением 100 % диапазона, проведение внеочередной поверки).

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Основные понятия и термины, связанные с мониторингом и эксплуатацией водных объектов и подпорных сооружений на них.
2. Основные нормативно-правовые документы, регламентирующие проведение мониторинга водных объектов с земляными плотинами и дамбами.
3. Структура, состав и методы мониторинга ГТС водных объектов с земляными плотинами и дамбами.
4. Виды натурных наблюдений земляных плотин и дамб. Цели визуальных и инструментальных наблюдений.
5. Периодичность наблюдений в последующие годы после двух-пяти лет эксплуатации гидротехнического комплекса с земляной плотиной.
6. Причины возникновения повреждений земляных сооружений водных объектов и возможные последствия.
7. Укажите на представленной схеме возможные зоны дефектов, деформаций и повреждений земляной дамбы или плотины.
8. Автоматизированный мониторинг деформаций ГТС водных объектов. Основные стадии и состав работ по автоматизированному мониторингу земляных подпорных природоохраных ГТС.
9. Геодезический мониторинг и средства геодезического контроля состояния земляных ГТС водных объектов.
10. Правила безопасности при обследовании природоохраных гидротехнических сооружений из земляных и местных материалов.
11. Способы реконструкции подпорных грунтовых сооружений: без опорожнения, с частичным опорожнением водохранилища и пр.
12. Требования по техническому контролю механического оборудования водопропускных сооружений природоохраных ГТС.
13. Факторы, влияющие на надёжность, долговечность работы гидротехнических сооружений из грунтовых материалов и продолжительность межремонтного периода.

14. Особенности ремонта противофильтрационных элементов, дренажные системы грунтовых сооружений и пр. Целесообразность использования реагентов.
  15. Особенности конструкции и реновация трубчатого дренажа.
  16. Устранение общих и местных повреждений в земляных дамбах и плотинах. Причины образования трещин в ядрах и экранах грунтовых плотин.
  17. Наблюдения за фильтрацией в земляных плотинах и дамбах. Контрольно-измерительная аппаратура для оценки фильтрации.
  18. Пьезометры: конструкции, способы измерения пьезометрических уровней, уход за пьезометрами, схема их оптимальной установки на ГТС водных объектов.
  19. Общие положения ремонта элементов сооружений из грунтовых материалов: откосов, гребня, устранение повышенной фильтрации через тело, основание и береговые примыкания.
  20. Структура и организация ухода за грунтовыми гидротехническими сооружениями для обеспечения их долговечности.
  21. Организация своевременных ремонтных работ для восстановления повреждений при аварии подпорных сооружений: плотин и дамб из грунтовых материалов и их конструктивных элементов.
  22. Виды повреждений грунтовых дамб и плотин и степень их значимости для безопасности и дальнейшей эксплуатации водного объекта.
  23. Нормативные документы, которые могут использоваться в процессе технической эксплуатации, ремонта и реконструкции ГТС.
17. Повреждения различных типов грунтовых гидротехнических сооружений мелиоративной системы и их элементов. Примеры.
  22. Укажите пути повышения эксплуатационной надёжности земляных плотин.
  23. Какие противофильтрационные элементы применяют в грунтовых плотинах. Приведите известные Вам их конструктивные схемы.

23. В каких случаях не устраивается дренаж в земляных насыпных плотинах?

30. Поясните назначение парапета на гребне подпорного сооружения, приведите известные Вам его схемы.

34. Приведите некоторые инженерные мероприятия, направленные на повышение устойчивости низового откоса грунтовых плотин.

36. Виды фильтрационных деформаций грунтов и меры борьбы с ними.

39. Предложите инженерные методы понижения кривой депрессии в теле грунтовых плотин.

40. Основные задачи наблюдений за фильтрационным режимом накопителя промышленных отходов.

41. Контрольно-измерительные устройства, применяемые для измерения расхода фильтрационного потока из дренажного устройства накопителей промышленных отходов.

42. Методы и устройства, используемые для измерения деформаций ограждающих сооружений накопителей промышленных отходов.

43. Что представляют собой поверхностные и глубинные марки, устанавливаемые на сооружениях накопителей отходов?

44. Цель установки и конструкции индикаторов наклона в сооружениях накопителей отходов.

45. Задачи натурных наблюдений за состоянием накопителей отходов.

46. Поясните какими методами может быть осуществлён текущий ремонт покрытия верхового откоса плотины/дамбы из железобетонных плит, камня или габионных структур.

47. Перечислите традиционные датчики для пьезометров и укажите их основные элементы.

48. Какими способами оценивают напряжённое состояние земляных плотин и дамб?

49. Виды БПЛА, используемые в мелиорации и эксплуатации природоохранных ГТС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормативно-методическое обеспечение системы государственного контроля и надзора в мелиорации: Монография / Сост. В. Н. Щедрин, Г. Г. Гулюк, В. Я. Бочкарев, Г. Т. Балакай: ФГБНУ «РосНИИПМ». М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2003. 437 с.
2. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 117-ФЗ (ред. от 28.12.2013) [Электронный ресурс]. – URL: <http://focdoc.ru/article/a-43.html> (дата обращения 16.05.2015).
3. СП 58.13330.2019. «Гидротехнические сооружения. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003). 2019.
4. СП 39.13330.2012. «Плотины из грунтовых материалов» (актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84\*). 2012.
5. СП 23.13330. «Основания гидротехнических сооружений» (актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85\*). 2012.
6. СП 38.13330.2012. «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)» (актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*). 2012.
7. Журавлёв Г. И. Гидротехнические сооружения. М.: Изд-во Колос, 1979. – 423 с.
8. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами М.: Энергия, 1980. – 199 с.
9. Журавлёв Г.И. Земляные плотины. М.: Изд-во Колос, 1966. – 279 с.
10. Волков В.И., Журавлёва А.Г., Черных О.Н. Проектирование сооружений гидроузла с грунтовой плотиной: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУП, 2007. – 246 с.
11. Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения: Учебник для техникумов. В 2-х кн. - М.: Энергоатомиздат, 1994.

12. Черных О.Н., Волков В.И. Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений: Учебное пособие. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – 160 с.
13. Гидротехнические сооружения. Учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Стр-во» специальности «Гидротехн. стр-во». в 2 ч. /Л.Н. Рассказов и др.; под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Изд-во АСВ, 2011.
14. Черных О.Н., Алтунин В.И., Волков В.И. Расчеты сооружений гидроузла с плотиной из грунтовых материалов: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 203 с.
15. Черных О.Н. Гидроузел с грунтовой плотиной: Методические указания. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 72 с.
16. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И. Оценка безопасности грунтовых подпорных сооружений: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 75 с.
17. Кавешников Н.Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений. Учебное пособие. М.: Агропромиздат, 1989. – 272 с.
18. Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Бакланова Д.В., Баев О.А., Михайлов Е.Д. Обеспечение безопасности и надёжности низконапорных гидротехнических сооружений. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 283 с.
19. Плотины и развитие: новая методическая основа для принятия решений. Отчёт всемирной комиссии по плотинам. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009.– 200с.
20. Черных О.Н., Сабитов М.А., Бурлаченко А.В. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин// Природообустройство, 2017, №2, с. 12–20.
21. Розанов Н.П., Румянцев И.С., Корюкин С.Н. и др. Особенности проектирования и строительства гидротехнических сооружений в условиях жаркого климата. Учебник для вузов - М.: Колос, 1993. – 303 с.
22. Черных О.Н. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. часть 1. Черных О.Н., Ханов Н.В. Бурлаченко А.В., 2019 размещено в ЭБС

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в электронном виде (режим доступа <http://elib.timacad.ru/dl/local/06122021.pdf>).

23. Черных О.Н. Берегоукрепительные конструкции водных объектов. часть 2. Черных О.Н., Ханов Н.В. Бурлаченко А.В., 2020 размещено в ЭБС РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в электронном виде (режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/local/umo441.pdf>).
24. Попов, М. А. Эксплуатация природоохранных сооружений: уч. пособие / М. А. Попов – Москва: Изд-во МГУП, 2005. - 124 с. – ISBN 5-89231-161-9.
25. Теодоронский, В. С. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры: учебное пособие / В. С. Теодоронский, Е. Д. Сабо, В. А. Фролова – Москва: ACADEMIA, 2008. – 352 с. – ISBN 978-5-7695-2837-8.
26. Мелиорация прудов / под ред. Шкуры В.Н. // Белов В.А., Иванова Н.А., Мордвинцев М.М., Полуэктов Е.В., Шкура Вл.Н. и др. – Новочеркасск: НГМА, 2013. – 371 с.
27. Справочник по гидравлическим расчётам / П.Г. Киселёв, А.Д. Альтшуль, Н.В. Данильченко [и др.] – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 312 с.
28. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Эксплуатация и проектирование дюкеров на водных объектах: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2021. – 153 с. DOI: 10.26897/978-5-9675-1817-1-2021-154. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/local/06122021.pdf>.
29. СП 100.13330.2016. «Мелиоративные системы и сооружения» (актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85\*). 2016.
30. Васильева Е.В. Технология работ по наращиванию плотин сверх проектных отметок // Актуальные вопросы мелиораций земель: сборник статей аспирантов, магистрантов, студентов (3-й выпуск / Новочерк. гос. мелиор. академия) – Новочеркасск, 2013. С. 80-82.
31. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой

плотиной: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2022. – 172 с. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/s13102022Chernykh.pdf>.

32. Волков В.И. Экспресс методика обследования с оценкой достаточности превышения гребня грунтовой плотины. // Природообустройство. 2019. №2. С. 66-72.

33. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Проектирование мелиоративного гидроузла с земляной плотиной: методические указания. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2023. – 77 с. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/s10022023Chernih.pdf>.

34. Черных О.Н., Журавлёва А.Г., Бурлаченко А.В., Жукова Т.Ю. Земляные плотины и дамбы: Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2024. – 207 с. DOI:10.26897/978-5-9675-1994-9-2023-207. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/s10022023Chernih.pdf>.

35. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Проектирование мелиоративного гидроузла с земляной плотиной: методические указания. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2023. – 77 с. Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/s10022023Chernih.pdf>.

36. Мелиоративная энциклопедия. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2003. Т.1. – 672 с.

37. Мамонтова Р.П. Рыбохозяйственная гидротехника. М.: МОРКНИГА, 2012. – 377 с.

38. Пушистов П.Ю., Викторов Е.В. Наводнения: от защиты к управлению. Научные редакторы В.Н. Лыкосов, В.А. Земцов, Ridero. 2018. – 310 с.

39. Маркин В.Н., Беглярова Э.С., Бакштанин А.М. и др. Основы рационального водопользования и управления водохозяйственными системами: Учебное пособие под ред. Ратковича Л.Д. М.: МГУП, 2012. – 445с.

40. СП 45.13330.2017. «Земляные сооружения, основания и фундаменты» (актуализированная редакция СНиП 3.02.011-87). 2017.

41. Анискин Н.А. Фильтрационно-температурный режим системы «плотина-основание». Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., 2009. – 25 с.
42. ГОСТ Р 70750-2023. Гидроэлектростанции. Гидротехнические сооружения. Подводно-техническое обследование состояния гидротехнических сооружений и примыкающих к ним участков неукреплённого русла. М. ФГБУ Институт стандартизации. 2023. – 55 с.
43. Косиченко, Ю. М. Современные методы и средства контроля уровня безопасности мелиоративных систем и сооружений / Ю. М. Косиченко, Г. А. Сенчуков, А. А. Чураев - Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2012. – 113с.
44. Кузнецов Г.И., Балацкая Н.В., Симакова М.А., Озерский Д.А. Проектирование накопителей промышленных отходов. Методическое пособие для курсового проектирования. Красноярск: ИП СФУ. 2010. – 42 с.
45. Типовая инструкция по эксплуатации гидротехнических сооружений гидроэлектростанций / Санкт- Петербург: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2000. – 53с.
46. Бычков, Л. Г. Надзорщик гидросооружений / Л.Г. Бычков, В.В. Клюев: Учебное пособие для подготовки квалифицированных рабочих речного транспорта. М: Транспорт. 1973. – 128 с.
47. Козлов, Д. В. Комплексные технические решения при реконструкции плотин / Д.В. Козлов, Д.А. Крутов // Природообустройство. 2020. №2. С. 22-28.
48. Дьяченко, К. Н. Причины образования дефектов в дамбах обвалования при их эксплуатации в условиях Дальнего Востока / К.Н. Дьяченко, А.В. Зверев // Водное хозяйство России. 2017. №6. С. 96-105.
49. СТО 70238424.27.140.026-2009 Гидроэлектростанции. Оценка и прогнозирование рисков возникновения аварий гидротехнических сооружений. Нормы и требования. – М.: ИНВЭЛ, 2009. – 46 с.

50. Матвеенков Ф.В. Разработка мер повышения эксплуатационной надёжности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2016. - 23 с.

51. Черных О.Н., Журавлëва А.Г., Бурлаченко Я.Ю., Бурлаченко А.В. Изучение гидротехники по-русски (для китайских студентов): Учебное пособие. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2024. – 210 с. DOI:10.26897/978-5-9675-2023-4-2024-210.

52. Патент № RU2615364C1 (2017) Способ наращивания узкопрофильной дамбы шламохранилища / Борзаковский Б.А., Петров С.В., Самоуков Е.Н., Шилов А.В. Опубл. 2017.04.04.

53. Федеральные нормы и правила в области безопасности гидротехнических сооружений "Требования к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений)"/ Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2024 N 78405. www.consultant.ru.

54. Рекомендации по проведению визуальных наблюдений и обследований на грунтовых плотинах. П 72 – 2000, ВНИИГ, Санкт-Петербург, 2000. – 69 с.

55. Современные методы и технологии в области безопасности плотин и других гидротехнических сооружений. Национальный комитет Узбекистана по большим плотинам, Европейская Экономическая комиссия ООН. Госводхознадзор, Ташкент. 2016. – 158 с.

56. Цифровой пьезометр PLLG. Руководство по эксплуатации. МПГТ 401261.14.01РЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.ntpgorizont.ru/wp-content/uploads/pllg-user-manual.pdf> (Дата обращения: 15.12.2024).

57. "СТО 70238424.27.140.035-2009. Стандарт организации НП "ИНВЭЛ". Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования" (утв. и введен в действие Приказом НП "ИНВЭЛ" от 04.12.2009 N 88). – 64 с.

58. Курганович К.А., Шаликовский А.В., Босов М.А., Кочев Д.В. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния бесхозяйных противопаводковых гидротехнических сооружений Забайкальского края // Гидросфера, опасные процессы и явления. Том 2, вып. 1. 2020. С. 32-43.
59. Гольтяпин В.Я., Мишуроев Н.П., Федоренко В.Ф., Голубев И.Г., Балабанов В.И., Петухов Д.А. Цифровые технологии для обследования состояния земель сельскохозяйственного назначения беспилотными летательными аппаратами: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 82 с.
60. Интернет-ресурсы сайтов: <https://www.midasgeotech.com/solution/gtsnx>; <http://www.tencate.com.>; <http://enis.gosnadzor.ru/activity/control/hydro/documents>; <http://www.consultant.ru>
61. СТО 70238424.27.140.004-2008. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования / Дата введения - 2008-10-31. НП "ИНВЭЛ". – 55 с.

Приложение 1

**Оценка класса ответственности гидротехнических сооружений [3]**

**Класс ответственности основных ГТС  
в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований**

Сооружения	Тип грунтов основания	Класс ответственности сооружений при высоте, м			
		I	II	III	IV
1 Плотины из грунтовых материалов	A	80 и более	От 50 до 80	От 20 до 50	Менее 20
	Б	65 и более	От 35 до 65	От 15 до 35	Менее 15
	В	50 и более	От 25 до 50	От 15 до 25	Менее 15
2 Плотины бетонные, железобетонные; подводные конструкции зданий гидроэлектростанций; судоходные шлюзы; судоподъемники и другие сооружения, участвующие в создании напорного фронта	A	100 и более	От 60 до 100	От 25 до 60	Менее 25
	Б	50 и более	От 25 до 50	От 10 до 25	Менее 10
	В	25 и более	От 20 до 25	От 10 до 20	Менее 10
3 Подпорные стены	A	40 и более	От 25 до 40	От 15 до 25	Менее 15
	Б	30 и более	От 20 до 30	От 12 до 20	Менее 12
	В	25 и более	От 18 до 25	От 10 до 18	Менее 10
4 Морские причальные сооружения основного назначения (см. примечание 2)	A, Б, В	25 и более	От 20 до 25	Менее 20	-
5 Морские берегоукрепительные сооружения; береговые укрепления; струенап-равляющие и наносоудерживающие дамбы и др.	A, Б, В	-	15 и более	Менее 15	-
6 Ограждающие сооружения отвалов и хранилищ жидких отходов	A, Б, В	50 и более	От 20 до 50	От 10 до 20	Менее 10

(золовшлакохранилищ, хвостохранилищ и др.)					
7 Оградительные сооружения, в том числе морские внутриводные оградительные сооружения (молы, волноломы и дамбы); ледозащитные сооружения (см. примечание 2)	A, B, V	25 и более	От 5 до 25	Менее 5	-
8 Сухие и наливные доки; наливные док-камеры	A B, V	- -	15 и более 10 и более	Менее 15 Менее 10	-
9 Стационарные буровые платформы на шельфе для добычи нефти и газа, нефтегазопроводы, подводные хранилища нефти, сжиженного газа и других углеводородов, а также основания гравитационного типа заводов сжиженного природного газа (см. примечание 2)	A, B, V	Любая	-	-	-
10 Эстакады в открытом море, искусственные острова (см. примечание 2)	A, B, V	25 и более	Менее 25	-	-
<p>Обозначения грунтов:</p> <p>"A" - скальные;</p> <p>"B" - песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии;</p> <p>"V" - глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии.</p>					
<p>Примечания</p> <p>1 Высоту гидротехнического сооружения и отметку его основания следует принимать по данным проектной документации.</p> <p>2 В пунктах 4 и 7 настоящей таблицы вместо высоты сооружения принята глубина акватории у основания сооружения, в пунктах 9 и 10 - глубина моря в месте установки.</p>					

Приложение 2

**Условные обозначения повреждений и дефектов грунтовых ГТС для нанесения на карте маршрута обследования**

№№ п/п	Условное изображение	Буквенное обзначение	Наименование
1		Пвф.	Высачивание на поверхность фильтрующейся воды (мокрые пятна)
2		Стф.	Струйная фильтрация
3		Впг.	Сплошной поток воды
4		Дкр.	Повреждения крепления напорного откоса
5		Пкр.	Повреждения (отсутствие) крепления сухого откоса
6		Бл.	Заболоченная территория
7		Лд.	Наледи: лед прозрачный; лед имеет включения грунта
8		Пар.	“Продухи” в снежном покрове, парение
9		Рс. т,к,д	Зарастание поверхности: травой, кустарником, деревьями

Продолжение П2

№№ п/п	Условное изображение	Буквенное обозначение	Наименование
10		Сн.	Снежный покров
11		Втр.	Признаки морозного выветривания камня
12		Прв.	Просадочная воронка на поверхности
13		Впг.	Выпор грунта
14		Мпг.	Морозное пучение грунта
15		Тр.	Трешины: поперечная и продольная
16		Про.	Промоина поверхностными водами
17		Ноп.	Наметившийся оползень на откосе (берегу)
18		Лоп.	Локальный оползень на откосе (склоне)
19		Сф.	Суффозионный вынос грунта
20		Гр.	Грифон, ключ

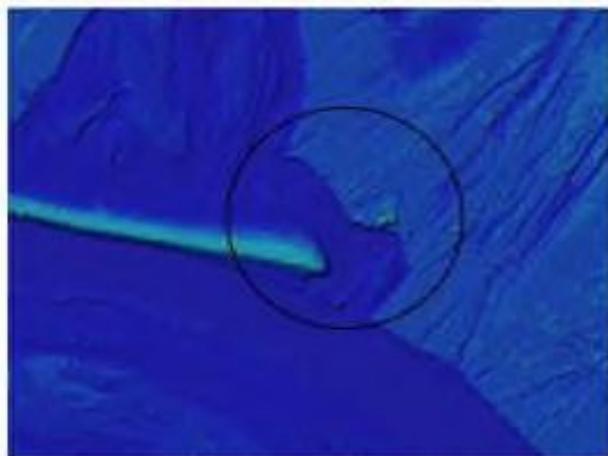
Продолжение П2

№№ п/п	Условное изображение	Буквенное обозначение	Наименование
21		Оз.	Скопление воды в понижениях
22		Врс.	Водоросли в скоплениях воды, прудах
23		Мн.	Майны в ледовом покрове
24		Кр.б	Коррозия бетона (водно-морозная и т.п.)
25		Оар.	Обнажения арматуры
26		Вщб.	Выщелачивание бетона; место отбора продуктов выщелачивания
27		Пор.б.	Пористый бетон
28		Здр.	Заращение дренажей
29		Лдр.	Замерзание дренажей
30		Гдр.	Засорение дренажей

Продолжение П2

№№ п/п	Условное изображение	Буквенное обозначение	Наименование
31		Впз.	Выделение воздушных пузырей
32.		Кпп.	“Кипение” песка
33		Пот.	Осыпание и оплыивание (переувлажненного) откоса
34		Жв.	Звуки журчащей воды
35		Жив.	Землерои

**Обнаружение дефектов земляных защитных сооружений на модели, полученной по данным съёмки с БПЛА [58]**



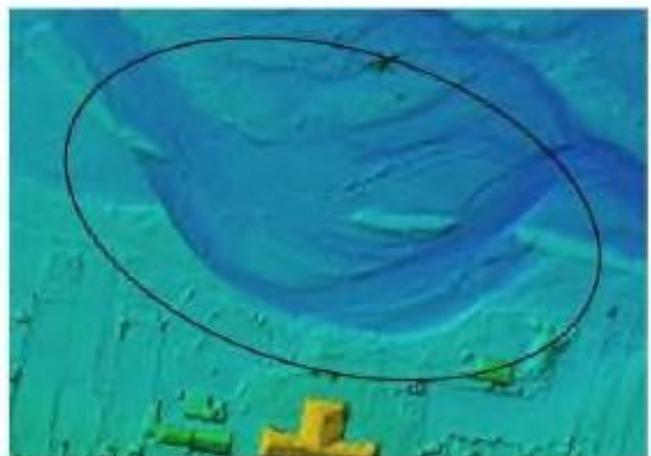
Дамба не достроена, резкий обрыв, отсутствие прымыкания к высоким отметкам местности  
(г. Шилка)



Откос дамбы застроен (с. Усть-Иля)



Пересыпанная старая протока реки Онон  
(с. Урейск)



Размыт тела дамбы спрямленного участка русла  
(с. Урейск)



Проран в дамбе для проезда автотранспорта



Подмык и обрушение откоса дамбы

*Учебное издание*

**Черных Ольга Николаевна**

**Абидов Мурат Мухамедович**

**Алексеев Даниил Андреевич**

**Бурлаченко Алёна Владимировна**

**Бурлаченко Ярослав Юрьевич**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ДАМБ**

*Учебное пособие*

Под общей редакцией

О.Н. Черных

---

Подписано в печать .2025 г. Формат 60x84 1/16

Печ. л. 14,7. Тираж 100. экз. Заказ

---

Издательство РГАУ-МСХА

127550. Москва, Тимирязевская ул.44

Тел. 8-499-977-40-64