ПРОВ. 1951 г.

СССР
НАРОДНЫЙ КОМИССАРИАТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Всесоюзный научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии
ВОДГЕО

С. К. АБРАМОВ, В. М. ГРИГОРЬЕВ, К. И. РАЗИН

ДРЕНАЖНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

(ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ)

Под общей редакцией
С. В. Троянского

21572

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1941 Ленинград

Настоящая книга посвящена изложению методики проведения изысканий на городских и промышленных территориях, нуждающихся в понижении уровня грунтовых вод, а также описанию способов дренирования, конструкций дренажных сооружений и методов их расчета.

Кроме того в книге приводятся общие сведения о факторах, обусловливающих повышенное положение уровня грунтовых вод, и способах борьбы с повышением уровня грунтовых вод.

Особенностью работы является комплексное освещение вопросов изысканий и проектирования.

Книга предназначается для инженеров и техников-гидрогеологов, гидротехников и строителей. Кроме того она может служить пособием для студентов втузов и техникумов соответствующих специальностей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 5

I. Общие сведения

Глава I. *Факторы, обусловливающие высокое положение уровня грунтовых вод* 7
1. Естественно-исторические факторы . . . . . —
2. Искусственные факторы 10

Глава II. *Способы защиты от грунтовых вод* 14
1. Гидроизоляция . . . . . —
2. Подсыпка территорий 15
3 Организация поверхностного стока . . . . . —
4. Интенсификация дренирующего действия естественных водоприемников грунтовых вод 18
5. Дренаж 19

Глава III. *Системы дренажных сооружений. Условия их применения*
1. Систематический дренаж 20
2. Головной дренаж 22
3. Кольцевой дренаж 24
4. Береговой дренаж 27

II. Изыскания

Глава IV. *Этапы изысканий* 27

Глава V. *1-й этап изысканий* (*общие изыскания*) 30
1. Сбор и изучение материалов . . . . . —
2. Общая геолого-гидрогеологическая съемка 32
3. Разведочные работы (зондировка) 34
4. Опытные работы 36
5. Изучение режима подземных вод . . . . . —
6. Гидрометрические наблюдения (за поверхностными водами) . . 37
7. Метеорологические наблюдения 38
8. Лабораторные определения 39
9. Топографические работы . . . . . —
10. Содержание отчета . . . . . —

Глава VI. *2-й этап изысканий (детальные изыскания)* 41
1. Разведочные работы . . . . . —
2. Опытные работы 43
3. Изучение режима подземных вод 49
4. Лабораторные работы 50
5. Содержание отчета . . . . . —

III. Проектирование

Глава VII. *Основные этапы и элементы проектирования* 53

Глава VIII. *О целесообразном горизонте понижения уровня грунтовых вод* 55

А. Горизонтальный дренаж

Глава IX. *Типы и конструкции горизонтальных дренажей* 59
1. Открытые дренажи . . . . . —
2. Закрытые дренажи со сплошным заполнением 62
3. Трубчатые дренажи 67
4. Галлерейные дренажи 71
5. Дренажи специального назначения 76

Глава X. *Гидрогеологический расчет горизонтальных дренажей* 77
1. Общие замечания . . . . . —
2. Расчет систематического дренажа 78
3. Расчет одиночных горизонтальных дрен 82
4. Радиусы влияния дренажных сооружений 102
5. Условия движения подземных вод в неоднородных грунтах. Понятие о среднем коэфициенте фильтрации 103

Глава XI. *Гидравлический расчет и примеры расчета горизонтальных дрен* 104

Глава XII. *Трассирование дренажей* 111
1. Расположение дренажной сети в плане . . . . . —
2. Выбор глубины заложения дренажей 114
3. Сопряжение дренажных линий в плане и профиле 115
4. Уклоны горизонтальных дренажей 117

Глава XIII. *Сооружения на дренажной сети* 119
1. Устьевые и сбросные сооружения . . . . . —
2. Сборные колодцы-резервуары и перекачечные устройства . . . 122
3. Смотровые и осадочные колодцы, перепады 126

Б. Вертикальный дренаж

Глава XIV. *Основные элементы вертикальных дренажей. Разновидности вертикальных дренажных сооружений и условия их применения* 126

Глава XV. *Трубчатые колодцы* . . . . . .
1. Способы устройства трубчатых колодцев и общие их схемы . . 136
а) Нортоновские колодцы и вертикальные дрены голландских дренажей . . . . . —
б) Колодцы, погружаемые с помощью подмыва 137
в) Буровые трубчатые колодцы 139
2. Конструктивные элементы трубчатых колодцев 141
а) Общие указания по устройству каркаса . . . . . —
б) Фильтры трубчатых колодцев 143

Глава XVI. *Проводящие устройства вертикальных дренажей* 152
1. Поглощающие колодцы . . . . . —
2. Откачка из одиночных колодцев 153
3. Глухие коллекторы 156
4. Вакуумные системы, обслуживающие отдельные группы колодцев (всасывающие трубопроводы с непосредственным присоединением к насосу и сифоны) 159

Глава XVII. *Гидрогеологический расчет вертикального дренажа* 168
1. Общие замечания . . . . . —
2. Расчет кольцевых дренажей . . . . . —
3. Расчет береговых дренажей 174
4. Расчет водопоглощающих колодцев 177

Глава XVIII. *Комбинированный дренаж* 181

Литература 194

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы дренирования территорий, занятых городскими и промышленными сооружениями, приобрели в последнее время весьма актуальное значение.

Потребность в проведении дренажных работ возникает весьма часто как при освоении новых территорий под городскую или промышленную застройку, так и при капитальной реконструкции старых.

Крупное гидротехническое строительство, осуществляемое в нашей стране, также зачастую оказывается связанным с необходимостью защиты от подтопления грунтовыми водами ценных, нередко весьма значительных, земельных площадей.

Не менее важное значение имеют многочисленные мелкие дренажные сооружения, осуществляемые в повседневной практике городского и промышленного строительства. Даже в Москве, территорию которой по высоте стояния грунтовых вод следует считать относительно благополучной, местные дренажные работы, связанные главным образом с новым строительством, имеют весьма широкое распространение.

Имеющийся опыт изысканий и проектирования дренажных сооружений на городских и промышленных территориях до последнего времени не обобщен и поэтому не может быть использован в должной мере при новом строительстве. Существующая литература по изысканиям и проектированию дренажных сооружений рассматривает главным образом вопросы осушения сельскохозяйственных земель.

Предлагаемая работа имеет своей целью дать систематизированное изложение вопросов, связанных с изысканиями под дренажные сооружения, а также с проектированием их в условиях городских и промышленных территорий.

В первом разделе работы дается описание факторов, обусловливающих высокое положение уровня грунтовых вод на городских и промышленных территориях и краткий обзор существующих способов борьбы с грунтовыми водами.

В первом разделе описываются также системы и типы дренажных сооружений, их назначение и условия применения.

Второй раздел посвящен вопросам проведения изысканий на подлежащих дренированию территориях. В зависимости от гидрогеологических особенностей территорий, намечаемых систем и типов дренажных сооружений указываются этапность и объем

необходимых для проектирования топографических, геологических, гидрогеологических, гидрологических и иных изысканий.

Третий раздел работы посвящен вопросам проектирования дренажных сооружений. Описание конструкций и методика расчета дренажных сооружений даются применительно к различным гидрогеологическим условиям и типам дренажа.

Следует надеяться, что настоящая работа будет полезна инженерам-гидрогеологам, производящим специальные изыскания на дренируемых территориях, и инженерам-строителям, проектирующим дренажные сооружения.

Работа сможет также служить пособием для студентов соответствующих втузов и техникумов.

Отдельные части работы написаны следующими лицами:

1) главы III, VII, IX, X, XI, XII, XIII, XVII и XVIII — С. К. Абрамовым;

2) главы II, VIII, XIV, XV и XVI — В. М. Григорьевым;

3) главы I, IV, V и VI — К. И. Разиным.

Общее редактирование работы проведено С. В. Троянским. Рукопись была просмотрена М. Е. Альтовским, сделавшим по ней ряд ценных указаний.

Институт ВОДГЕО

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ГЛАВА I

ФАКТОРЫ, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИЕ ВЫСОКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Высокое положение уровня грунтовых вод обусловливается природными и искусственными факторами. Искусственные мероприятия часто нарушают природные условия, вызывая этим в ряде случаев подъем уровня грунтовых вод. Так, сооружение новых водохранилищ создает подпор грунтовых вод; при этом нередко оказываются подтопленными приречные участки, занятые промышленными предприятиями и населенными пунктами или намеченные к освоению в дальнейшем. Часто хозяйственная или производственная деятельность различных предприятий затрудняет естественный дренаж грунтовых вод, вызывая подъем их уровня.

Причиной подтопления могут являться не только воды ближайшего к поверхности земли водоносного горизонта, но и воды глубоко залегающих пластов.

В результате неурегулированности поверхностного стока подтопление (или избыточное увлажнение грунтов) могут создать также и поверхностные воды.

Ниже приводятся наиболее часто встречающиеся случаи высокого положения уровня грунтовых вод, обусловленные естественно-историческими и искусственными факторами, а также некоторые характерные случаи заболачивания площадей поверхностными водами.

1. Естественно-исторические факторы

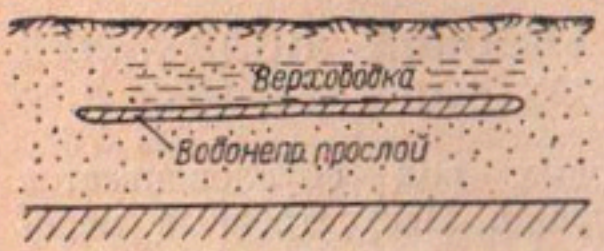
В зависимости от гидрогеологических условий причиной подтопления территории могут явиться «верховодка», грунтовые и артезианские воды.

а) Верховодка, как известно, приурочена к покровным отложениям, имеющим на небольшой глубине от поверхности земли водоупорный или трудно проницаемый прослой (линзу), распространенный обычно на небольшой площади (фиг. 1). Область питания верховодки совпадает с площадью ее распространения. Поэтому режим этого «подвешенного» водоносного горизонта находится в прямой зависимости от метеорологических факторов:

при инфильтрации большого количества осадков уровень быстро повышается, нередко выходя на поверхность земли, в засушливое же время, наоборот, происходит значительное снижение уровня, причем иногда водоносный горизонт пропадает совсем.

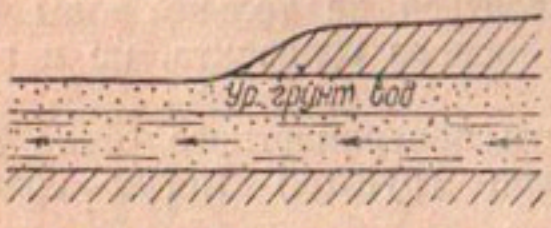
б) Грунтовые воды (ближайший к поверхности земли водоносный слой). имеют более широкое (по сравнению с верховодкой) распространение по площади. Поскольку питание их в большинстве случаев также совпадает с площадью распространения, режим их, как и верховодки, непосредственно зависит от метеорологических условий (осадки, давление, температура).

Поэтому в засушливое время уровень грунтовых вод может стоять гораздо ниже поверхности земли и не создавать неблагоприятных условий для нормальной жизни занимающих данную территорию предприятий или населенных пунктов (фиг. 2). В более дождливые годы или во время весенних паводков рек, при наличии взаимосвязи реки и водоносного горизонта, уровень грунтовых вод может значительно подняться и создать условия подтопления.



Фиг. 1. Верховодка

в) При выходе водоносного горизонта на дневную поверхность, как это показано на фиг. 3, на пониженной части территории создаются условия избыточного увлажнения, а иногда и полного заболачивания.



Фиг. 2. Выход грунтового потока на дневную поверхность



Фиг. 3. Выход грунтового потока в склоне

Такие условия очень часто наблюдаются на аллювиальных террасах по берегам рек и староречий, где в береговых склонах происходит выклинивание водоносных горизонтов.

В зависимости от высоты выхода воды по склону последний может быть заболочен, как и соседние с ним пониженные участки, если уклон их не будет превышать 0,005—0,001. Непосредственный выход воды на поверхность обычно маскирован прикрывающим его чехлом делювиальных отложений или оползшими земляными массами верхней части склона.

Иногда водоносные горизонты не дают выходов воды на поверхность, как это указано на предыдущей схеме, а питают другие водоносные горизонты сбоку или снизу (фиг. 4).

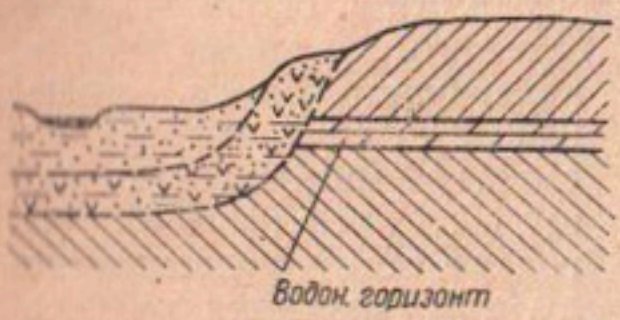
Такое явление часто наблюдается при выклинивании водоносного горизонта в толщу аллювиальных отложений.

г) «Блюдцеобразная» заболоченность, приуроченная к местным

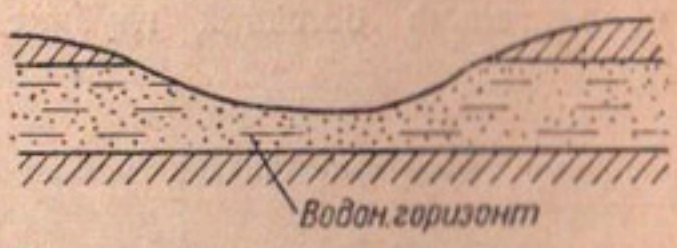
понижениям современного рельефа, иногда обусловлена подземными водами, иногда поверхностными.

В условиях, показанных на фиг. 5, причиной заболоченности являются выходы подземных вод; в таких же топографических условиях (фиг. 6) причиной заболоченности являются поверхностные воды, скопляющиеся в блюдцеобразном понижении, выстланном водоупорными породами. Блюдцеобразные заболоченности (иногда целые озера) наблюдаются часто на очень высоких точках рельефа.

д) Иногда при довольно ровной поверхности площадки верхний водоносный горизонт образует чашеобразную подземную кот-

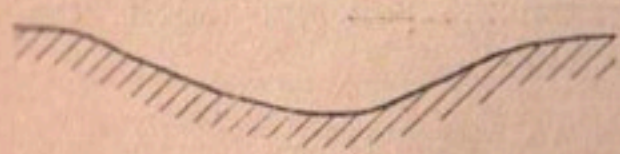


Фиг. 4. Выклинивание водоносного горизонта в аллювий

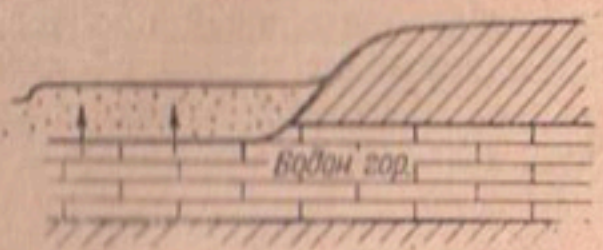


Фиг. 5. Заболачивание подземными водами

ловину с затрудненным подземным стоком. В этом случае в летние месяцы года с малым количеством атмосферных осадков водоносный горизонт может иметь низкий уровень воды. В дождливый же год уровень воды быстро поднимается, подтопляя поверхностную толщу грунтов.



Фиг. 6. Заболачивание поверхностными водами



Фиг. 7. Подтопление напорными водами

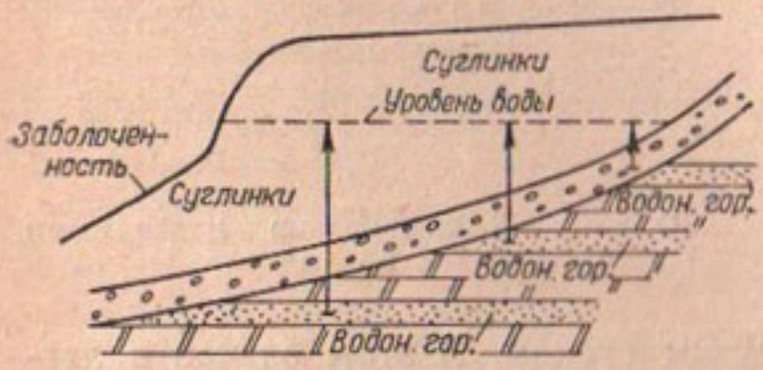
е) Причиной подтопления может явиться водоносный горизонт, залегающий на значительной глубине от поверхности земли. Проникновение напорных подземных вод в поверхностную толщу может происходить по трещинам или по заброшенным глубоким скважинам, не затампонированным в свое время надлежащим образом.

На фиг. 7 показан напорный водоносный горизонт, представленный трещиноватыми породами, который при благоприятных топографических условиях может насыщать водой вышележащую толщу и таким образом создать условия избыточного увлажнения грунтов и даже заболоченности. Такие условия отмечены например в Магнитогорском районе. Здесь на правобережье р. Урал имеется мульдообразное залегание каменноугольных известняков, прикрытых мощной толщей рыхлых отложений. Благодаря боль-

шой раскарстованности водоносных известняков, приуроченной главным образом к древнему руслу р. М. Кизил (в направлении с запада на восток), и напорности вод происходит питание вышележащей толщи рыхлых отложений по широкой долине р. М. Кизил. В результате такого подтопления по этой полосе наблюдается пышная кустарниковая и травяная растительность, местами чередующаяся со сплошной заболоченностью.

Подобное питание верхней толщи отложений за счет нижележащего напорного водоносного горизонта встречается очень часто.

Так, при гидрогеологических изысканиях для выбора мер по борьбе с оползневыми явлениями на территории, расположенной по правому (высокому) склону р. Оки около г. Горького, выявлено, что водоносные горизонты, залегающие на сравнительно большой глубине от поверхности земли, имеют напорную воду, которая насыщает вышележащую толщу суглинков (фиг. 8). Благодаря этому подземные воды выклиниваются на косогоре выше залегания самих водоносных горизонтов на этом участке, обусловливая заболачивание и оползание склона.



Фиг. 8. Заболачивание склона напорными водами

ж) Одной из распространенных причин образования заболоченностей в северных лесных районах Союза является подзолообразовательный процесс, при котором на небольшой глубине от поверхности земли образуется ортштейн, играющий роль водоупора. Благодаря этому создаются такие же условия заболачивания, как и при подтоплении верховодкой.

2. Искусственные факторы

з) В последнее время на крупных стройках и в населенных пунктах особенно часто приходится встречаться с заболоченностью или вообще с высоким стоянием уровня грунтовых вод, происшедшим вследствие устройства водохранилищ. При подпоре воды в реке водоподъемными сооружениями происходит подпор грунтового потока, гидравлически сопряженного с водой водоема. Распространение влияния подпора в вертикальном и горизонтальном направлениях различно в зависимости от геологических и гидрогеологических условий района.

Примеров такого влияния довольно много. Так, после сооружения плотины на одной из рек на всем протяжении подпора реки произошло повышение уровня грунтовых вод, потребовавшее устройства дренажа на территории города, расположенного на этой реке.

При подъеме воды в р. Урал плотиной в Магнитогорске произошло повышение уровня сопряженного с рекой водоносного горизонта, также потребовавшее дренирования.

Рассмотрим типовой пример подтопления территории города, стоящего на берегу реки, вследствие повышения уровня воды в реке после сооружения плотины. Рассматриваемый пример является типичным в отношении гидрогеологических условий речных долин, при которых повышение уровня воды в реке вызывает подпор грунтовых вод в береговых участках.

Левый берег реки представляет собой широкую (до 1 *км*) полосу пойменной террасы с отметками поверхности от 121 до 123,5 *м*, занятую промышленными предприятиями и жилыми зданиями. Терраса сложена аллювием, представленным 10—15-*м* толщей песков, верхняя часть которых (под насыпным грунтом) выражена мелкозернистыми песками, местами переходящими в супеси и суглинки, с коэфициентом фильтрации от 0,5 до 3 *м* в сутки; нижняя часть аллювиальной толщи представлена средне- и крупнозернистыми, часто гравийными, песками и гравием с коэфициентом фильтрации до 30 *м* в сутки. Примерно такие же характеристики имеет толща и подруслового аллювия.

Аллювиальные отложения пойменной террасы лежат на коренных породах: в южной части территории — на юрских глинах, в северной части — на известняках верхнего карбона.

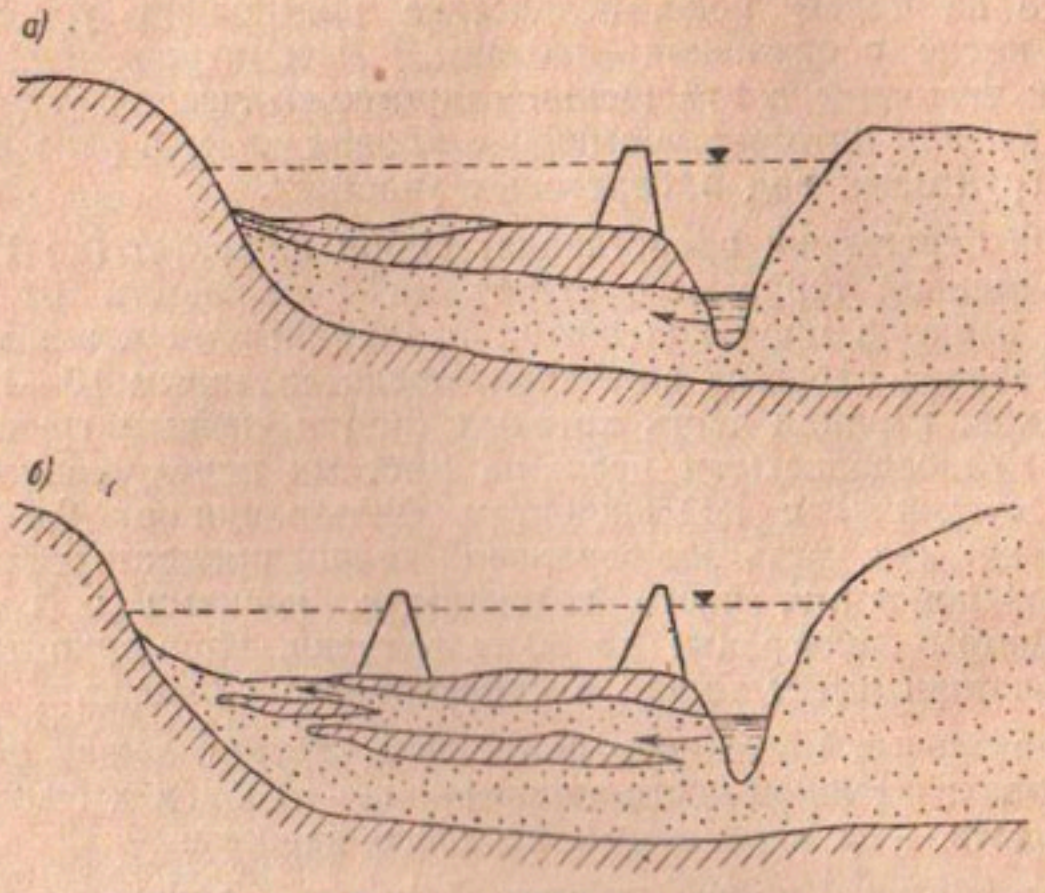
К аллювиальной толще пойменной террасы приурочен водоносный горизонт, идущий со стороны древнеаллювиальной террасы (с запада).

До осуществления подпора в реке этот водоносный горизонт дренировался рекой и положение его уровня определялось отметкой уровня воды в реке. При обычной отметке реки 117 *м* поверхность грунтового потока имела отм. 117—118 *м*, а на отдаленных от реки участках — 122—123 *м* и находилась на глубине от 0,5 до 5 *м* от поверхности земли.

После подъема горизонта воды в реке до отм. 120 *м* уровень водоносного горизонта на приречных участках как показали соответствующие теоретические подсчеты (по Павловскому), должен был повыситься на 2,5—3 *м*. Такой подъем грунтовых вод угрожал подтоплением расположенным здесь промпредприятиям. Для поддержания уровня грунтовых вод на существовавших до подпора отметках был осуществлен береговой дренаж, явившийся искусственным водоприемником для вод как грунтового потока, идущего со стороны древнеаллювиальной террасы, так и фильтрационного потока со стороны реки.

К характеристике гидрогеологических условий описываемого района необходимо добавить, что благодаря сильному заилению дна реки грунтовые воды подрусловой толщи аллювия при работе дренажа оказались несопряженными с водой в реке. Поэтому при работе дренажа уровень воды в подрусловом аллювии опустился гораздо ниже дна реки.

Сооружение ряда плотин на Волге вызовет также подпор грунтовых вод на всем протяжении повышенного уровня реки. Такие города, как Казань, Мелекес и др., расположенные на пойменных



Фиг. 9. Схема расположения ограждающих дамб

и надпойменных террасах реки, после сооружения плотины окажутся подтопленными в значительной своей части.

В указанных гидрогеологических условиях подъем уровня водоносного горизонта происходит не только при постоянном повышении уровня в реке, как это было в приведенных примерах, но и при паводках. Величина подпора и его распространение в этом случае меньше, нежели величина подпора для постоянного повышенного уровня воды в реке.

в) Иногда для предупреждения поверхностного затопления пониженных речных террас при повышении уровня воды в реке водоподпорными сооружениями параллельно урезу реки возводят ограждающие дамбы. Последние, будучи построены без учета гидрогеологических условий, часто создают условия подтопления. Так, если в качестве основания дамбы выбран водоупорный слой, не доходящий в горизонтальном направлении до коренного берега (схема «б» фиг. 9), дамба не оправдывает своего назначения, так как при отсутствии дренажных канав будет иметь место подтопление. При сооружении второй дамбы так, как это показано на той же схеме, огражденной от затопления и подтопления окажется лишь полоса между дамбами. Иной результат получается при возведении дамбы, фундамент которой заложен на водоупоре, имею-

щем сплошное распространение до коренного берега (схема «а»). Здесь предупреждение от затопления и подтопления достигает своей цели.

к) Условия повышенного стояния уровня подземных вод часто создаются самим строительством как результат неудачного расположения зданий.

Возведение зданий с фундаментами, глубоко уходящими в водоносный горизонт (до водоупора или близко к нему), вызывает подпор подземных вод. При этом большое влияние на величину подпора подземных вод имеет ориентировка здания на месте. Расположение длинных сторон зданий перпендикулярно направлению подземного потока создает наибольшее подпруживание его.

Подобный подпор, но в еще больших размерах, происходит при устройстве набережных, при постройке дамб или других подобных сооружений, когда преграждается выход подземного потока.

л) Нарушение условий естественного дренажа грунтового потока часто вызывает подпор уровня воды. Примером такого подтопления может служить повышение уровня грунтового потока, имевшее место в районе одного металлургического завода. Знакомство на месте с районом и геологическими материалами показало, что место естественного дренажа водоносного горизонта засыпалось заводскими отходами (шлаком). Благодаря постепенному уменьшению площади дренажа уровень водоносного горизонта из года в год повышался. В конце концов свалка шлака обусловила полное «закупоривание» водоносного горизонта (в месте его дренажа были наложены целые горы шлака), и уровень грунтового потока повысился, подтопив вначале фундаменты зданий и печей, а потом достиг топок печей.

м) В условиях городского хозяйства подтопление подвалов зданий является часто следствием утечки воды из водопроводных или канализационных труб. На составленной для таких участков карте гидроизогипс можно иногда выявить места утечки воды, которые будут вырисовываться в виде водных «холмов».

н) Многие промпредприятия, неорганизованно сбрасывая отработанные воды или имея недостаточную водосточную сеть, также часто подтопляют сами себя.

Резюмируя весь изложенный в настоящей главе материал, можно отметить, что воды, обусловливающие подтопление или избыточное увлажнение, могут поступать в грунт с трех сторон: сверху, сбоку и снизу.

В первом случае имеет место поступление атмосферных или других вод, которые, попадая на непроницаемые и слабо фильтрующие образования, при неурегулированном поверхностном стоке создают условия поверхностного заболачивания (г, ж).

При наличии же водопроницаемых покровных образований попадающие на поверхность воды инфильтруются до первого водоупорного слоя, в результате чего создается повышение уровня верховодки (а, ж), грунтового потока (б, г, д) или бассейна грунтовых вод (д, л). Таким образом в этом последнем случае подто-

пление территорий будет связано с сезонными колебаниями уровня грунтовых вод или верховодки.

Во втором случае — при поступлении воды в грунт сбоку — подтопление могут создать как грунтовые, так и поверхностные воды. Первые могут создать подтопление по пути естественной циркуляции грунтового потока (б, к) и при выходе их на поверхность (в). Поверхностные же воды путем боковой фильтрации из водотоков и водоемов часто подтопляют ближайшие к ним участки (з, и).

В третьем случае подтопление снизу обусловлено притоком напорных вод (е, м) или в результате переполнения бассейна грунтовых вод (д, л).

Каждый из указанных типов заболоченности или высокого положения уровня грунтовых вод потребует особых, специальных мероприятий по осушению. Так например, при первом типе заболоченности весьма часто осушение достигается урегулированием поверхностного стока; при втором типе необходим дренаж самого водоносного горизонта; при третьем типе может оказаться целесообразным понижение уровня в питающем водоносном горизонте.

Таким образом естественные и искусственные условия, обусловливающие заболачивание или вообще высокое положение уровня грунтовых вод, предопределяют и характер осушительных мероприятий.

ГЛАВА II

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ГРУНТОВЫХ ВОД

Для защиты от грунтовых вод отдельных сооружений или их групп, а также для локализации вредного влияния грунтовых вод на условия застройки и эксплоатации городских и промышленных территорий, в практике нашего строительства применяются нижеследующие рассчитываемые на длительный срок действия мероприятия:

1) гидроизоляция;
2) подсыпка территорий;
3) организация поверхностного стока;
4) интенсификация дренирующего действия естественных водоприемников грунтовых вод;
5) дренаж.

1. Гидроизоляция

Гидроизоляционные работы не направлены на изменение в какой-либо мере сложившегося на участке сооружения режима грунтовых вод и с этой точки зрения являются вполне пассивными. Эффект защиты от грунтовых вод достигается при гидроизоляции или уплотнением основного материала конструкций в целях прида-

ния ему повышенной водонепроницаемости или устройством различного рода антифильтрационных покрытий (покровов) на внешней или внутренней поверхности подземных сооружений.

2. Подсыпка территорий

Подсыпка дает возможность получить благоприятную глубину залегания грунтовых вод под поверхностью земли, на отдельном участке или даже более или менее значительной территории, без проведения каких-либо специальных работ по понижению уровня грунтовых вод.

Подсыпка дает капитальное решение, но как мероприятие, преследующее единственную цель защиты от грунтовых вод, применяется редко, так как требует значительных масс земли и при отсутствии избытков последней на производимых в достаточной близости строительствах обходится слишком дорого.

3. Организация поверхностного стока

Высокое стояние уровня грунтовых вод может быть вызвано в ряде случаев повышенной инфильтрацией, обусловленной недостаточно быстрым стоком дождевых и талых вод с поверхности территории.

Сток этих вод может быть интенсифицирован, а инфильтрация соответственно уменьшена при помощи различного рода мероприятий по организации поверхностного стока.

К числу подобных мероприятий, оказывающих во многих случаях вполне отчетливо выраженное влияние на снижение уровня грунтовых вод, относятся:

1. Нагорные канавы.
2. Вертикальная планировка.
3. Сети открытых канав на территории.
4. Закрытые водосточные сети.

Нагорные канавы служат для ограждения территорий от притока дождевых и талых вод со стороны смежных участков с повышенным рельефом.

Трассировка нагорных канав обычно не встречает сколь-либо существенных затруднений, так как может быть произведена вне пределов защищаемой территории, вдоль ее верхнего (считая по уклону) края.

Гидравлический расчет нагорных канав производится обычно, а в южной полосе СССР всегда, на отвод ливневых вод, максимальный расчетный расход которых может быть определен или по формуле НКПС 1928 г., приводимой почти во всех руководствах по гидрологии и дающей расходы с обеспеченностью, условно оцениваемой в 2% (повторяемостью 1 раз в 50 лет), или по методу «предельных интенсивностей», применяемому при расчете открытой и закрытой водосточных сетей [1].

---

[1] См. например книгу „Канализация населенных мест" под ред. проф. В. Ф. Иванова.

При применении последнего метода период однократного превышения интенсивностей должен быть принят однако достаточно длительным (как правило, не менее 10 лет), так как переполнение нагорных канав, почти всегда располагаемых на косогорах, при неизбежном в этом случае промыве низового откоса может оказаться чреватым значительными осложнениями для хозяйства ограждаемых городских или промышленных территорий.

При водосборных площадях, превышающих 2—3 *км²* на севере и 15—20 *км²* в средней полосе СССР, необходимо учитывать также и снеговые максимумы, которые при указанных условиях могут превышать ливневые.

Во избежание размыва откосов и дна скорости в сечениях канавы при расчетном расходе не должны превышать предельно допустимых для данного грунта (например при супесях и легких суглинках 0,6—0,7 *м/сек*).

В тех случаях, когда расчетные скорости оказываются выше допустимых, откосы и дно нагорных канав приходится крепить. Для уменьшения работ по креплениям нагорную канаву иногда оказывается целесообразным разбить на ряд участков перепадами, которые во многих случаях могут быть выполнены достаточно примитивно, с применением в качестве основных материалов дерева и камня.

Водоприемниками нагорных канав служат балки, овраги, речки.

Вертикальная планировка может осуществляться путем подсыпки на пониженных бессточных участках и срезки различного рода местных повышений рельефа, мешающих стоку.

Подобного рода работы должны проектироваться с учетом общепланировочных потребностей и таким образом, чтобы объемы выемки и насыпи балансировались, а расходы по перемещению земляных масс были минимальными. Для внутриквартальных, застроенных или предназначенных под застройку участков уклоны поверхности следует назначать при этом не менее 0,005.

Эффективность планировочных работ в отношении улучшения условий стока поверхностных вод может быть существенно повышена устройством каменных или усовершенствованных покрытий на дорогах и внутриквартальных участках, а также устройством открытых или закрытых водосточных сетей. Те или иные из перечисленных мероприятий почти всегда сопутствуют планировке.

Сети открытых канав включают: регулирующие элементы в виде неглубоких канав (кюветов) и отводящие или магистральные канавы.

Регулирующим канавам, прокладываемым преимущественно вдоль дорог, придается обычно глубина в 0,5—1,2 *м* при ширине по дну 0,4—0,5 *м* и уклонах не менее 0,001.

Отводящие канавы, принимающие воды из кюветов, трассируются по понижениям рельефа с учетом существующих и проектируемых зданий и сооружений.

Эти канавы рассчитываются на пропуск ливневых расходов, величина которых устанавливается по уже упоминавшемуся методу предельных интенсивностей. При этом однако в противополож-

ность случаю расчета нагорных канав период однократного превышения принимается обычно малым, равным одному году и менее, что дает возможность получить достаточно экономную по габаритам сечений сеть.

Отводящие канавы открытой сети должны иметь ширину по дну не менее 0,6 *м* и глубины, несколько превышающие глубины примыкающих кюветов. Уклоны отводящих канав желательно иметь не менее 0,0005. При принятых ширине по дну, уклонах и глубинах пропускная способность канав должна быть проверена гидравлическим расчетом. При этом может быть допущено полное заполнение.

Сеть открытых канав в условиях городских и промышленных территорий обладает рядом существенных недостатков, так как значительно уменьшает полезную ширину улиц, требует устройства мостиков и переходов, требует большого и систематического ремонта, препятствует прокладке подземных сооружений, а зачастую кроме того и диссонирует с общим архитектурным обликом городов или промпредприятий. Поэтому на указанных территориях сеть открытых канав применяется обычно лишь в качестве временного мероприятия на слабо застроенных участках, а также строительных площадках в период их освоения.

Значительно более совершенной является **закрытая водосточная сеть**, служащая для отвода ливневых и талых вод с благоустроенных городских и промышленных территорий.

В состав закрытой водосточной (или ливневой) сети входят: 1) уличные лотки, 2) дождеприемные колодцы, принимающие воду из лотков, 3) второстепенные и главные (сборные) коллекторы, размещаемые преимущественно под проездами и улицами.

Вопросам проектирования закрытых водосточных сетей посвящена обширная и обстоятельная литература. Не останавливаясь поэтому на общем описании ливневой сети, отметим здесь лишь некоторые ее особенности, представляющие значение для дальнейшего.

Расчет закрытой ливневой сети, так же как и открытой, производится по методу предельных интенсивностей. Период однократного превышения устанавливается при этом в зависимости главным образом от вероятных последствий затопления территорий ливневыми водами в пределах от 1 до 25 лет. Наиболее часто продолжительность указанного периода принимается в 2—3 года. Таким образом уже при проектировании водосточных сетей предусматривается возможность их более или менее частого переполнения (например в последнем случае переполнение должно иметь место в среднем 1 раз в 2—3 года). Возможность периодических переполнений водосточных сетей должна особо учитываться в случае присоединения к этим сетям дренажных устройств.

Стыки водосточных труб, укладываемых весьма часто из коротких звеньев, длиной всего в 0,7—1 *м* заделываются без большой тщательности, так как при этом преследуется лишь цель защиты труб от выноса в них частиц окружающего грунта. Поэтому водосточные сети весьма часто помимо выполнения своих

основных функций оказывают на грунтовые воды заметное дренирующее влияние.

Подобное же влияние могут оказывать на грунтовые воды и иные подземные прокладки (канализационные, водопроводные линии и пр.), вдоль которых при их устройстве создаются зоны разрыхленного грунта.

Естественно, что дренирующее действие санитарно-технических сетей может проявиться лишь при закладке их под уровень грунтовых вод. В противном случае утечки из этих сетей при их неисправности смогут, наоборот, явиться дополнительным источником питания грунтовых вод и фактором, способствующим местным повышениям уровня последних. Об этом уже говорилось выше в гл. I.

Случаи значительного улучшения положения с грунтовыми водами в результате устройства фекально-хозяйственной канализации отмечены на ряде городских и промышленных территорий.

При этом преобладающее значение имеет обычно прекращение искусственного питания грунтовых вод за счет фильтрации из различного рода сточных ям, поглощающих колодцев и выгребов, ликвидируемых с устройством канализации.

Изложенные обстоятельства следует всегда иметь в виду при решении вопроса о мероприятиях, необходимых для понижения уровня грунтовых вод на городских и промышленных территориях. При их неблагоустроенности во многих случаях может оказаться целесообразной постройка в первую очередь ливневой и фекально-хозяйственной канализационных сетей с тем, чтобы лишь после выяснения степени воздействия последних на грунтовые воды переходить к осуществлению дренажа или иных мероприятий специального характера.

4. Интенсификация дренирующего действия естественных водоприемников грунтовых вод

Высотное положение основного горизонта грунтовых вод на территории в значительной мере определяется условиями выхода этих вод в открытые водоемы или водотоки. В тех случаях, когда поток грунтовых вод дренируется непосредственно руслом реки или подводной чашей озера или пруда, между уровнем воды в них и уровнем грунтовых вод существует тесная связь. Эта связь может быть использована для искусственного снижения зеркала грунтовых вод на прибрежных территориях путем снижения бытового уровня воды в дренирующих водоемах или водотоках.

Снижение уровня воды в прудах или озерах может быть достигнуто:

1) расчисткой русел, выводящих воду из водоемов, или прокопкой новых открытых отводных каналов;

2) прокладкой труб или галлерей, служащих для тех же целей;

3) механической откачкой;

4) искусственным уменьшением площади водосбора пруда или озера.

Снижение зеркала воды в протоках может быть осуществлено при помощи следующих мероприятий:

1) расчистки русла от препятствующих стоку топляков, камней, наносов и пр.;

2) спрямления русла;

3) переустройства или уничтожения искусственных сооружений, создающих нежелательный подпор (мостов, труб, заколов и пр.);

4) спуска горизонта воды на плотинах.

В частных случаях, как уже указывалось выше (гл. I)), подпор зеркала грунтовых вод может быть создан за счет устройства свалок грунта или промышленных отходов (например золы) по берегам рек и прудов. Ликвидация подобного подпора может быть произведена либо частичным удалением отвалов либо устройством дренажа близ старой береговой линии.

Работы по интенсификации дренирующего действия естественных водоприемников грунтовых вод, далеко не всегда возможные, иногда все же смогут оказаться вполне целесообразными, особенно в тех случаях, когда грунты водоносной толщи обладают значительной водопроводимостью. В подобных условиях при помощи охарактеризованных работ можно получить снижение зеркала грунтовых вод на значительных по площади территориях.

5. Дренаж

Грунтовые воды, получающие более или менее постоянное питание за счет инфильтрации, конденсации или притока из глубоких напорных горизонтов, не пребывают в состоянии покоя, а, имея, как правило, достаточно отчетливо выраженную депрессионную поверхность, движутся по грунтовой толще к дренирующим их рекам, озерам, глубоко залегающим водоносным пластам со сниженным пьезометрическим уровнем и т. п.

Высотное положение зеркала грунтовых вод в сильной степени зависит от отводоспособности, заключающей их водоносной толщи. Так например, отвод грунтовых вод слабопроницаемыми грунтами происходит медленно и поэтому при одинаковом питании, одинаковых условиях выхода из водоносной толщи и прочих равных условиях зеркало грунтовых вод на территориях, сложенных подобными грунтами, будет стоять выше, нежели на территориях, сложенных грунтами, обладающими большей проницаемостью и поэтому хорошо отводящими воду.

Название «дренаж», происходящее от английского глагола to drain — «отводить», достаточно хорошо соответствует существу дренажных сооружений, выполняющих свою осушительную функцию путем отвода грунтовых вод из водоносной толщи по вновь создаваемым искусственным путям.

Для этого под уровень грунтовых вод закладываются «осушители» или «дрены», непосредственно принимающие (отбирающие) воду из грунта и подводящие ее к различного рода «проводящим» устройствам (например самотечным коллекторам, сифонам), слу-

жащим для вывода грунтовых вод в водоприемник (реку, озеро, поглощающий колодец).

Деление элементов дренажных сооружений на «осушающие» и «проводящие» является однако в известной мере условным, так как «осушающие» элементы всегда служат в той или иной мере для отвода грунтовых вод, а «проводящие» в ряде случаев выполняют попутно также и функцию захвата грунтовых вод, свойственную главным образом «осушителям».

«Осушающие» элементы дренажных сооружений всегда закладываются под уровнем грунтовых вод, подлежащем понижению, в противоположность «проводящим», которые при применении вакуумных устройств могут располагаться и выше указанного уровня, однако почти всегда под поверхностью земли.

В свете всего изложенного представляется возможным дать следующее определение термину «дренаж»:

Дренажами называются подземные сооружения, служащие для искусственного понижения горизонта грунтовых вод путем их вывода из водоносной толщи по вновь создаваемым путям.

При этом в противоположность различного рода устройствам, применяемым при искусственном понижении уровня грунтовых вод для строительных целей, дренажи осуществляются, как правило, с расчетом на длительный период эксплоатации.

Основные особенности, типы и системы дренажных сооружений рассматриваются ниже в гл. III.

ГЛАВА III

СИСТЕМЫ ДРЕНАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ. УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В зависимости от расположения дренажных сооружений по отношению к дренируемой территории и источникам поступления к ней грунтовых вод различают следующие системы дренажей: а) систематический, б) головной, в) кольцевой и г) береговой.

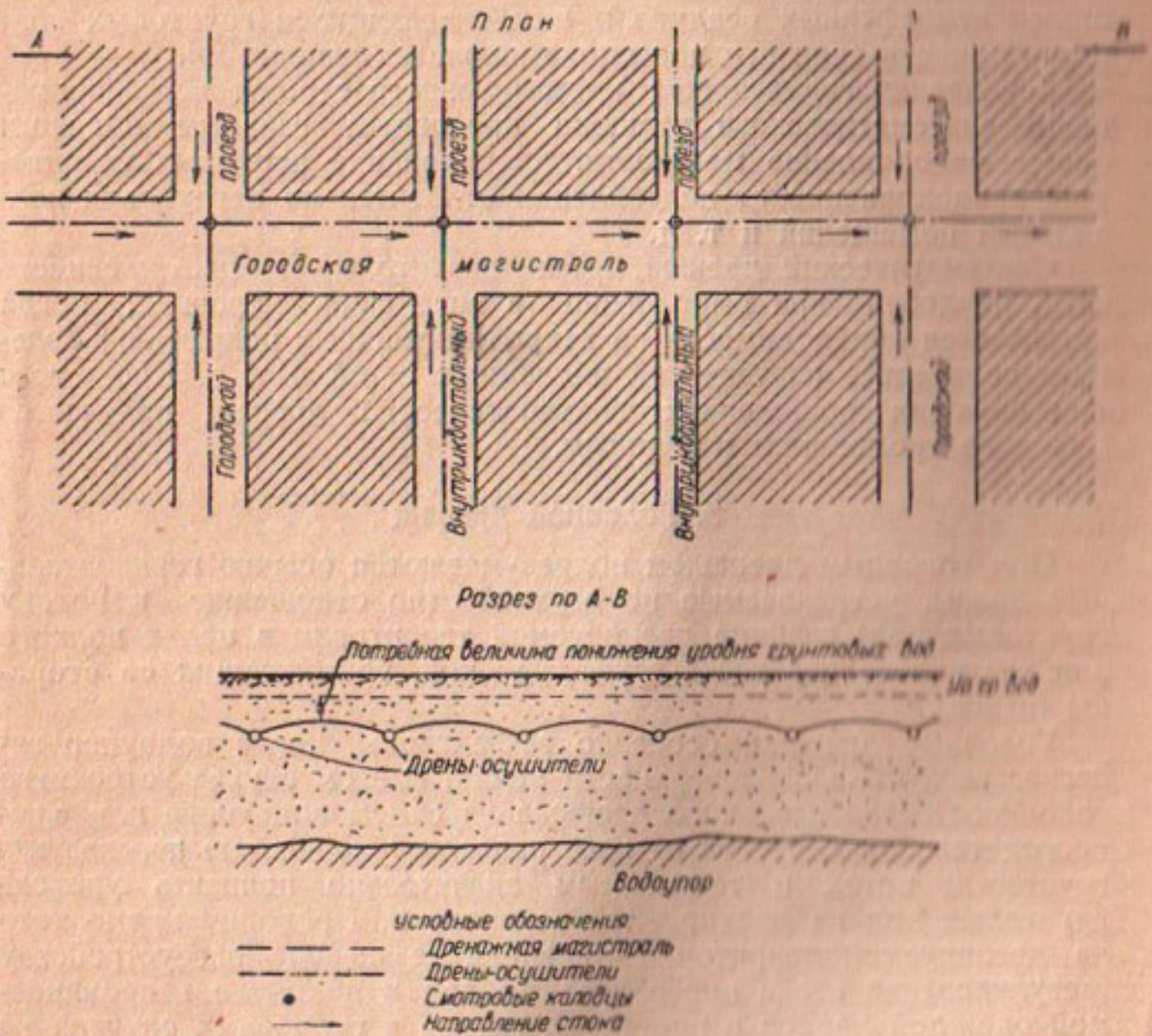
В зависимости же от применяемых устройств (каптажных) для захвата дренируемых вод выделяются следующие конструктивные типы дренажей: а) горизонтальный, б) вертикальный и в) комбинированный.

1. Систематический дренаж

Под «систематическим» дренажем понимается дренажная сеть, состоящая из расположенных более или менее равномерно по всей дренируемой территории (обычно параллельно друг другу) горизонтальных трубчатых дрен (фиг. 10), причем каждая пара соседних дрен имеет своим назначением понижение уровня грунтовых вод в так называемом «междудренном» пространстве. Эти дрены в общей сети систематического дренажа являются «собственно» дренажами (в них главным образом и поступают грунтовые воды с дренируемой территории) и носят название «осушителей».

Система осушителей примыкает к дренажной магистрали (трубе), в которую она и сбрасывает дренажные воды. Назначение собирателей состоит главным образом в принятии воды от осушителей и транспортировке ее к магистральному коллектору, а иногда и непосредственно в водоприемник.

При дренировании более или менее значительных территорий обычно приходится устраивать ряд отдельных сетей осушителей,



Фиг. 10. Схема расположения горизонтальных дрен при систематическом дренаже

объединяемых собирателями и магистральным коллектором в одну общую дренажную систему.

Систематический дренаж применяется главным образом при питании грунтовых вод за счет инфильтрующихся в грунт атмосферных осадков, сравнительно неглубоком залегании грунтовых вод от поверхности земли, относительно небольшой мощности водоносного пласта и в тех случаях, когда на дренируемой территории требуется произвести небольшое понижение уровня грунтовых вод.

В случае же питания водоносного горизонта за счет выклинивающихся напорных грунтовых вод систематический дренаж может оказаться целесообразным и при глубоком залегании водоносного горизонта, причем при больших понижениях и ограниченных размерах дренируемых участков вероятна потребность в применении вертикального типа дренажа.

В некоторых случаях систематический дренаж может быть применен и при комбинированном типе питания за счет инфильтрующихся атмосферных осадков и выклинивающихся грунтовых вод, в особенности если эти последние являются напорными.

В условиях городского и промышленного строительства применение систематического дренажа преследует главным образом: общее оздоровление местности, дренирование парковых территорий, предохранение от подтопления относительно неглубоких подвальных помещений и т. д.

Систематический дренаж, имея значительную протяженность сети, неудобен при выполнении в городских условиях, когда встречается необходимость во вскрытии уличных покрытий, в большом количестве пересечений подземных сетей и т. п. Кроме того при больших понижениях систематический дренаж получается довольно громоздким и дорогим.

2. Головной дренаж

Под головным дренажем подразумеваются обычно горизонтальные дрены, устраиваемые по верхней (по отношению к потоку грунтовых вод) границе дренируемой территории в целях полного или частичного перехвата грунтовых вод, притекающих со стороны (извне).

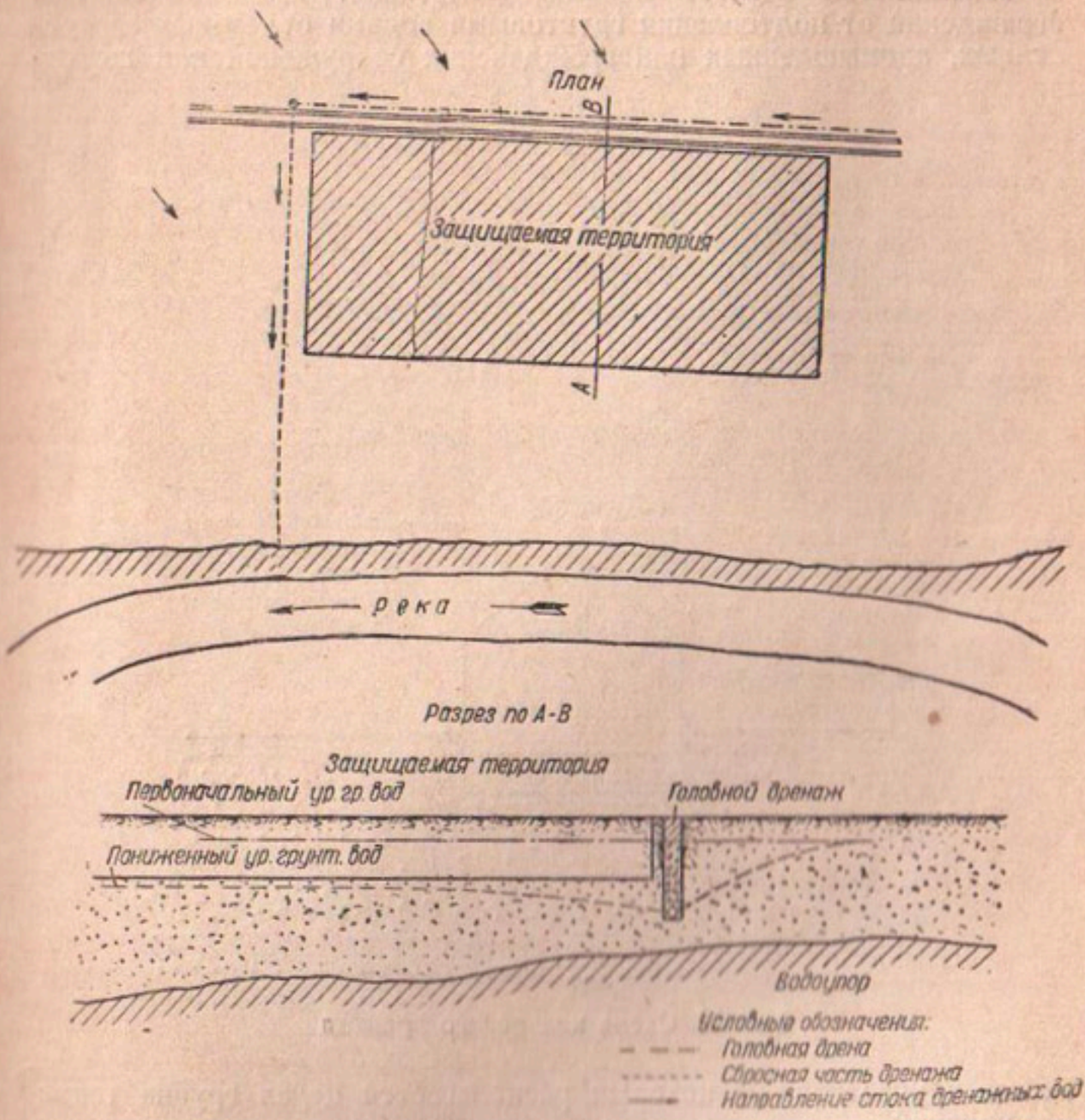
Головные дренажи особенно эффективны, когда водоупор залегает неглубоко от поверхности земли. В этом случае устройство головного горизонтального дренажа на самом водоупоре или в непосредственной близости от него позволяет полностью перехватить грунтовый поток и тем самым значительно понизить уровень грунтовых вод на дренируемой территории. Проводя кроме того на дренируемой территории мероприятия по ее благоустройству (регулирование стока поверхностных вод и покрытие непроницаемой одеждой дворов и проездов), можно в отдельных случаях не только понизить уровень грунтовых вод, но через некоторое время даже и полностью ликвидировать их.

Необходимо отметить, что применение головного дренажа вполне себя оправдывает и при глубоком залегании водоупора, так как обычно для получения необходимого понижения уровня грунтовых вод ниже линии головного дренажа совершенно не требуется заглубления его до водоупора; часто неполный перехват грунтовых вод, свойственный горизонтальной дрене, заложенной в самом водоносном слое, или же комбинированному дренажу, вполне обеспечивает требуемое понижение уровня на защищаемой территории (фиг. 11).

Головной дренаж имеет следующие несомненные преимущества перед систематическим:

1) отсутствие необходимости в рытье траншей или в бурении трубчатых колодцев в пределах дренируемого участка благодаря расположению дрен обычно вне защищаемой территории или по ее границам;

2) более равномерное понижение уровня грунтовых вод;



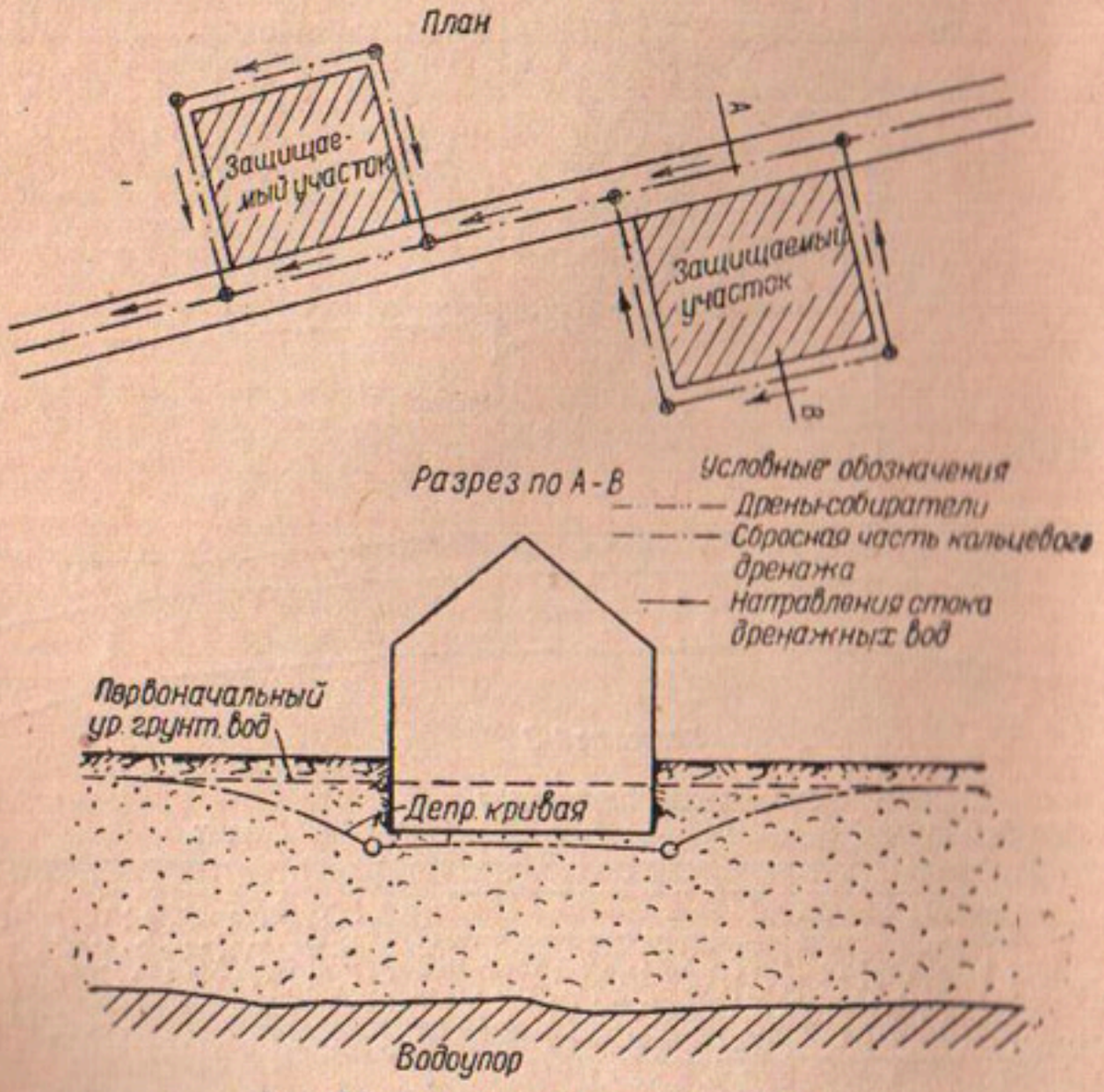
Фиг. 11. Схема головного дренажа

3) значительно меньшее даже по сравнению с кольцевым дренажем протяжение дренажных линий, а следовательно во многих случаях и меньшие строительные и эксплоатационные затраты.

Головные дренажи особенно выгодны в тех случаях, когда дренированию в целях общего осушения (например под жилищно-бытовое строительство) подлежат большие площади.

3. Кольцевой дренаж

Под кольцевым дренажем, как показывает само название, понимаются такие дренажи, которые охватывают в одно сплошное кольцо защищаемую площадку (обычно небольших размеров). В большинстве случаев кольцевые дренажи применяются для ограждения от подтопления грунтовыми водами отдельных заглубленных, промышленных или гражданских сооружений или же от-

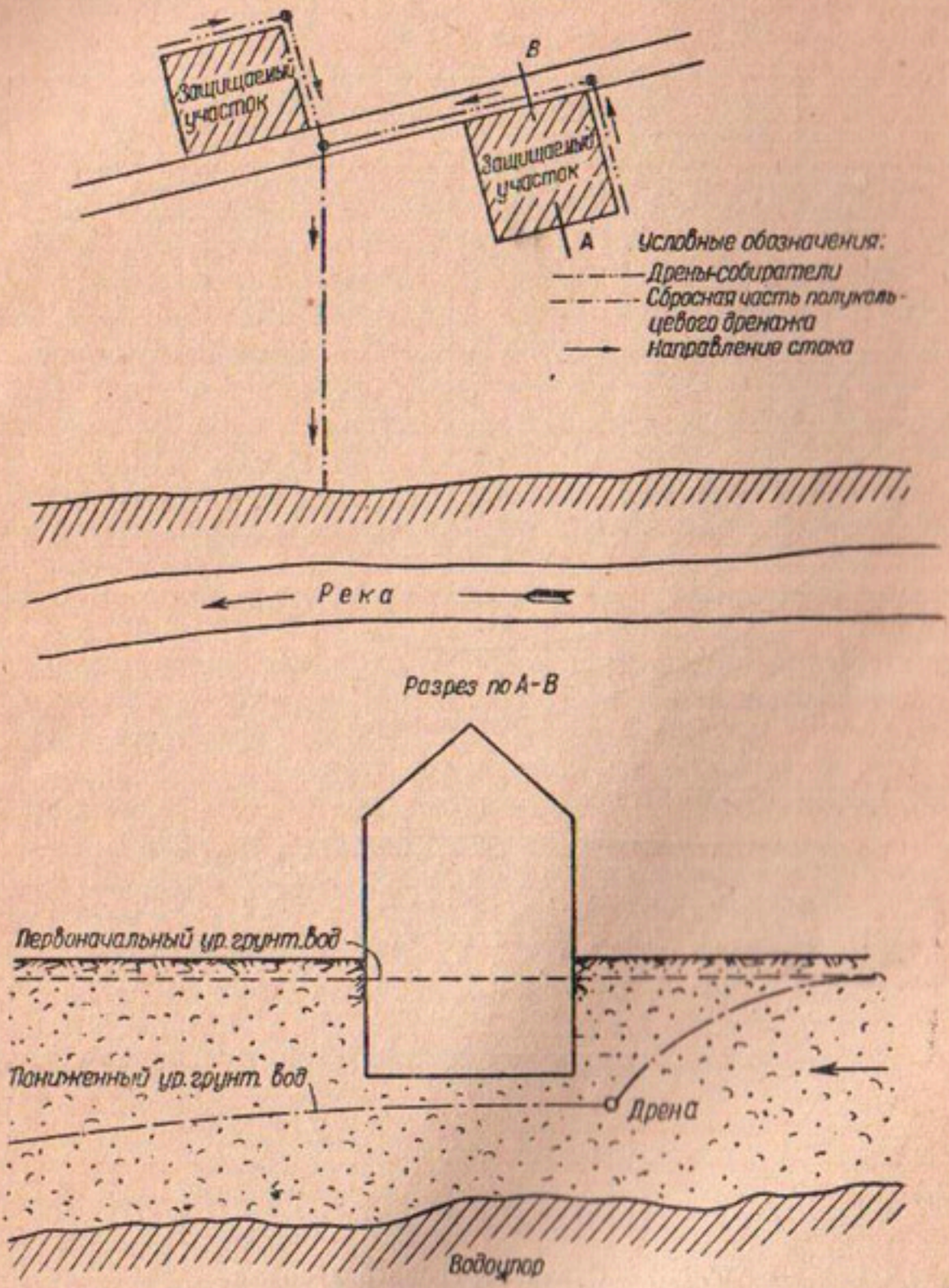


Фиг. 12. Схема кольцевого дренажа

дельных участков, на которых располагается целая группа таких сооружений.

Существовавшее ранее в практике представление о том, что кольцевые дренажи должны доводиться до водоупора, в настоящее время опровергнуто теоретическими и опытными данными. Результаты проведенных в последнее время опытов показали, что при условии отсутствия инфильтрации сверху уровень грунтовых вод в огражденном кольцевым дренажем пространстве даже в случае заложения дренажа в самом водоносном грунте (не на водоупоре) устанавливается на отметках, близких к отметкам заложения дрен (фиг. 12). Таким образом при дренировании оснований сооружений или отдельных участков нет надобности в доведении

кольцевого дренажа до водоупора. При устройстве кольцевого дренажа в условиях грунтового потока и интенсивном перехвате дренажем воды надобности в замыкании кольца снизу может и не встретиться (фиг. 13). В этом случае работа полукольцевого дре-

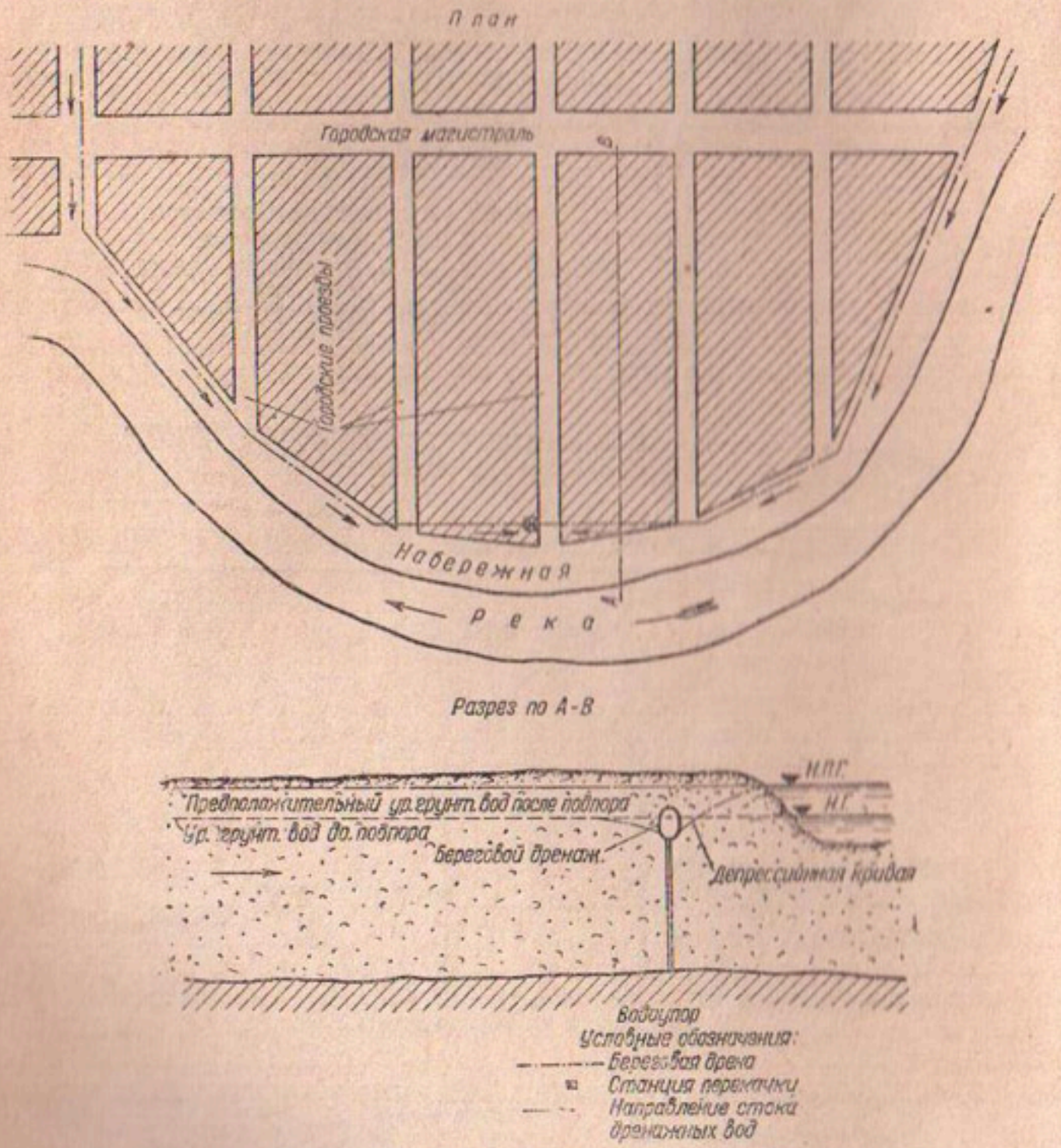


Фиг. 13. Схема полукольцевого дренажа

нажа вполне аналогична головному. Влияние инфильтрации атмосферных осадков на повышение уровня грунтовых вод внутри кольца следует учитывать лишь в отдельных случаях.

Кольцевые дренажи в обычных условиях могут применяться и для дренирования более или менее значительных участков при ус-

ловии проведения мероприятий по организации стока поверхностных вод. Однако необходимо отметить, что при питании грунтовых вод снизу (за счет напорных водоносных горизонтов) и значительных расстояниях между отдельными дренажными линиями кольцевая система может и не дать должного эффекта. В этом



Фиг. 14. Схема берегового дренажа

случае следует итти на максимальное уменьшение размеров дренажного кольца (по ширине), что приближает кольцевой дренаж к систематическому.

Для кольцевых систем во многих случаях горизонтальный дренаж является наиболее приемлемым конструктивным типом. Однако в отдельных случаях, например когда по условиям застройки и расположения подземного хозяйства дренируемой площадки

рытье траншей для горизонтального дренажа затруднено, может оказаться более целесообразным применение вертикального дренажа. При дренировании особо заглубленных подземных сооружений, когда требуется понизить уровень грунтовых вод на значительную величину, вертикальный дренаж является единственно возможным конструктивным типом.

4. Береговой дренаж

Береговые дренажи нашли применение в последние годы, когда в связи с осуществлением ряда крупнейших гидротехнических сооружений некоторые городские и промышленные центры оказались под угрозой подтопления грунтовыми водами. В настоящее время сооружение береговых дренажей намечается в многих промышленных и городских центрах Союза.

Принцип работы береговых дренажей в общем довольно сходен с работой головных дренажей. Различие между ними заключается в том, что в то время, как головные дренажи предназначаются исключительно для перехвата грунтовых вод, береговые дренажи перехватывают воды, фильтрующиеся со стороны реки, и сохраняют бытовые уклоны зеркала грунтового потока (фиг. 14).

Основные требования, предъявляемые к береговому дренажу, сводятся к тому, чтобы:

а) уменьшить напор воды со стороны реки до отметки, соответствующей уровню грунтовых вод (при наличии их связи с рекой), наблюдавшемуся до постройки дренажа;

б) перехватить грунтовый поток, притекающий к дренажу со стороны водораздела, с тем, чтобы избежать образования подпора грунтовых вод на дренируемой территории.

Стоимость устройства, а часто и эксплоатации береговых дренажей довольно высока, поэтому при их сооружении необходимо учитывать экономическое значение защищаемой территории.

II. ИЗЫСКАНИЯ

ГЛАВА IV

ЭТАПЫ ИЗЫСКАНИЙ

Для проектирования различных осушительных мероприятий необходимо детально изучить целый ряд геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических факторов, определяющих технические условия и экономическую целесообразность применения тех или других дренажных сооружений. Практика исследований для целей дренажа показывает, что ясности и единства установок как в отношении объема и содержания гидрогеологических исследований, так и в методике работ до настоящего времени не имеется. Кроме того исследователи часто не учитывают этапность проекта-

рования и планируют исследования без учета требований проектировщиков. Поэтому в ряде случаев возникают недоразумения между проектантами и исследователями, тем более что первые не всегда ясно представляют существо и объем гидрогеологических исследований и потребные для этого сроки.

Объем и методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований естественно должны быть разными в разных природных условиях. Огромную роль играет здесь литологический состав водосодержащих пород, напорность вод, взаимосвязь грунтового потока с поверхностными водотоками и с другими водоносными горизонтами, районы со спокойным залеганием слоев и дислоцированные, речные долины с мощной толщей аллювиальных отложений и с близким залеганием коренных пород, характер поверхностного и подземного рельефа и т. д.

Все исследования должны находиться в полном соответствии с типом намечаемых дренажных сооружений и обеспечивать своевременное получение материалов для разных стадий проектирования.

Каждая стадия проектирования требует разной детализации и полноты гидрогеологических исследований. Здесь, как правило, выдерживается порядок перехода от общего к частному, т. е. от изучения больших площадей с относительно малой подробностью к детальному изучению непосредственно нуждающихся в дренаже площадок.

Применительно к стадиям проектирования гидрогеологические изыскания должны выполняться в два этапа: 1) общие изыскания для проектного задания и 2) детальные изыскания для технического проекта.

Общие изыскания должны дать необходимый и достаточный материал для первой стадии проектирования «проектного задания».

Для этого в результате изысканий необходимо получить такой материал, который дал бы возможность проектирующей дренаж организации наметить наиболее целесообразные в данных гидрогеологических условиях систему и тип дренажа, запланировать ориентировочное местоположение его трасс, выбрать водоприемник и произвести предварительный подсчет стоимости сооружения дренажа. Для решения этих вопросов проектирования необходимы примерно следующие данные, освещающие дренируемый участок: а) общая геологогидрогеологическая характеристика участка (орография, гидрография, геология и гидрогеология), б) факторы, обусловливающие высокое положение уровня грунтовых вод или избыточное увлажнение грунтов, в) характеристика водоносного горизонта, подлежащего дренированию (глубина залегания, мощность, литологический состав, фильтрационная способность, площадь распространения, условия питания), г) местоположение и характеристика водоприемника.

Детальные изыскания должны дать все расчетные величины и вообще исчерпывающий материал для составления технического проекта, т. е. для окончательного решения вопроса о ти-

не дренажа, конструкциях отдельных установок его, количестве и точном местоположении дренажных сооружений, ожидаемой эффективности работы дренажа, а также для выбора водоприемника и подсчета стоимости сооружения дренажа в целом. Для разрешения этих вопросов в дополнение к материалам общих изысканий необходимо дать полную характеристику водоносного горизонта, подлежащего дренированию. Эта характеристика должна содержать следующие данные: 1) глубину залегания и мощность водоносного горизонта; 2) распространение его по площади и выдержанность в горизонтальном и вертикальном направлениях; 3) выявление гидравлической связи его с другими водоносными горизонтами или с поверхностными водотоками и водоемами; 4) литологический характер водосодержащих пород; 5) направление и скорость движения потока; 6) детальную характеристику фильтрационных свойств водосодержащих пород; 7) радиус влияния при разных понижениях; 8) размеры и причины колебания уровня воды по сезонам; 9) химический состав воды и агрессивность; 10) расход водоносного горизонта; 11) источники его питания; 12) количество подлежащих дренированию грунтовых вод; 13) инженерно-геологическую характеристику пород. Кроме того дается характеристика литологического состава и фильтрационных свойств покровных образований.

В некоторых случаях для рабочих чертежей может потребоваться дополнительный объем разведочных работ. При необходимости дренирования значительных площадей на трассах большой протяженности или вообще на особо ответственных участках, где вводится очередность сооружения дренажа, проводятся специальные гидрогеологические исследования, заключающиеся в наблюдениях за работой частично осуществленного дренажа первой очереди. Получаемые при этом данные по эффективности работы дренажа, физико-механических и химических изменениях грунтов и т. п. учитываются при окончательном проектировании и осуществлении дренажа на остальной части территории.

Ниже кратко излагается содержание каждого вида работ применительно к стадиям проектирования. При этом необходимо оговориться, что объем исследований зависит не только от сложности гидрогеологических условий, но и от степени освещенности района предшествовавшими исследованиями. Поэтому при наличии материалов прежних гидрогеологических исследований данного района указанный ниже объем работ должен соответственно уменьшаться.

При необходимости дренажа небольших площадок (участок одного или нескольких зданий) изыскания обычно ограничиваются небольшим объемом работ. В этом случае изысканиями выясняются: глубина залегания подтопляющего водоносного горизонта, его мощность и водопроницаемость пород, глубина заложения подземных частей сооружений и подземных сетей (водопроводных, канализационных, газовых, дренажных и др.) с оценкой возможности использования канализационных или дренажных сетей в качестве водоприемника.

Все перечисленные данные могут быть получены в результате небольшого объема разведочных и лабораторных работ, а также знакомства с подземным хозяйством дренируемого участка по материалам местных коммунальных учреждений. При необходимости большого понижения уровня грунтовых вод фильтрационная характеристика грунтов определяется опытными откачками.

Само собой разумеется, что при дренировании участка в городской черте указанные выше данные дополняются сведениями по существующей застройке и планировке города, проектируемой реконструкции и режиму реки и другими материалами в зависимости от местоположения интересующего участка.

ГЛАВА V

ПЕРВЫЙ ЭТАП ИЗЫСКАНИЙ (ОБЩИЕ ИЗЫСКАНИЯ)

1. Сбор и изучение материалов

Для правильного и обоснованного составления программы гидрогеологических изысканий прежде всего проводится тщательный сбор и изучение имеющихся литературных и архивных материалов по топографии, геологии, гидрогеологии, гидрологии и климатологии данного района.

Характер топографической основы при проведении гидрогеологических изысканий, как известно, имеет очень важное значение. При изысканиях на освоенных и предполагаемых к освоению площадках под промышленное и жилищное строительство вопрос с топографической основой обычно обстоит благополучно, так как эти участки в большинстве случаев имеют хороший картографический материал.

Для таких участков изучение литературных и архивных материалов по геологии и гидрогеологии необходимо проводить по имеющейся топографической основе.

Наиболее удовлетворительными являются карты крупного масштаба с горизонталями рельефа. Однако поскольку изучение материалов должно распространяться на площади, далеко выходящие за пределы непосредственно нуждающейся в дренаже территории, часто приходится ограничиваться использованием карт сравнительно мелкого масштаба (около 1/50 000), так как на большие площади редко имеется лучшая топографическая основа. На собственно промышленной или жилищной площадке обычно имеется основа более крупного масштаба: 1/25 000, 1/10 000, 1/5 000 и даже 1/1 000. При отсутствии материалов на месте необходимо обратиться во Всесоюзное геодезическое справочное бюро (Москва) или его филиалы, где концентрируются как данные по съемкам, так и сведения об астрономических и тригонометрических пунктах, реперах, марках и т. п.

После тщательного изучения имеющегося картографического материала в случае его недостаточности или недоброкачествен-

ности планируются дополнительные съемки, масштаб и объем которых зависят как от оценки имеющегося материала, так и от размеров и ценности подлежащей исследованию площади.

Изучение материалов по геологии и гидрогеологии, как мы уже оговаривались, необходимо распространить далеко за пределы промплощадки, захватив по меньшей мере район до ближайших водоразделов. Это поможет дать лучшее геологическое освещение непосредственно исследуемого участка и выявить причины высокого стояния подземных вод.

Предварительное знакомство с районом значительно облегчается, если там уже производились какие-либо специальные гидрогеологические изыскания и имеются соответствующие отчетные материалы.

Хотя общий порядок изучения материала и общеизвестен, мы все же считаем необходимым отметить основные моменты этого периода работ, ибо от полноты охвата имеющегося материала зависит и объем необходимых исследований.

В дополнение к опубликованным в литературе материалам необходимо изучать фондовые материалы геологических и гидрогеологических изысканий, которые концентрируются в геологическом фонде Комитета по делам геологии при СНК СССР (Москва), а также в местных геологических управлениях.

Материалы многих изысканий, проводившихся на небольших участках, хранятся в архивах различных организаций и обнаружить их бывает трудно; в этих случаях необходимо консультироваться с авторитетными специалистами-гидрогеологами.

На местах необходимо просматривать материалы районных геологических управлений и других учреждений, выполняющих геологоразведочные работы для различных целей.

Важное значение имеют гидрогеологические заключения и экспертизы, имеющиеся по интересующему району.

Не приводя перечня подлежащих изучению геологических и гидрогеологических материалов, поскольку эта часть работы ясна из общего задания, напомним лишь, что в прорабатываемых материалах необходимо выбрать все сведения, касающиеся стратиграфии, геоморфологии, тектоники, литологии, гидрогеологии и ряда других моментов, которые хотя бы в первом приближении дали возможность решить гидрогеологические и инженерно-геологические вопросы, поставленные по данному району.

Представляющие интерес работы аннотируются, а площади отдельных съемок, тригонометрические пункты, реперы и другие важные пункты наносятся на общую карту района.

Поскольку в программе работ важно тесно увязать гидрогеологические изыскания с режимом поверхностных водоемов и водотоков и с климатическими особенностями района, для этого необходимо изучить материалы по гидрологии, гидрометрии и метеорологии, обратив особенное внимание на режим поверхностных водотоков в различные сезоны года, количество атмосферных осадков, температуру, давление, влажность, направление и силу ветров, глубину промерзания и т. п.

Все эти данные могут быть получены или непосредственно на строительстве или при отсутствии там соответствующих наблюдательных пунктов на ближайших к нему метеорологических станциях и гидрометрических постах.

В крайнем случае приходится прибегать к получению этих сведений из климатических атласов СССР (Небольсин, Кайгородов, Фигуровский и др.), бюллетеней Главной физической обсерватории, в Государственном гидрологическом институте (Отдел водного кадастра) и прочих специальных учреждениях общесоюзного или местного значения.

При дренировании площадей в оползневых районах изучение метеорологических факторов имеет особо большое значение. В таких районах совершенно необходимо сопоставить годовое, сезонное и ливневое количество осадков с периодами проявления оползневой деятельности.

После изучения всех имеющихся специальных материалов при наличии достаточных данных составляется краткая геолого-гидрогеологическая записка с графическими иллюстрациями. Записка должна содержать: 1) геолого-гидрогеологический очерк района с приложением имеющихся (или вновь составленных) карт: геоморфологической, геолого-литологической, гидрогеологической и гидроизогипс, иллюстрированных соответствующими разрезами; 2) графики и таблицы по указанным выше данным (колебания уровней подземных и поверхностных вод) и метеорологическим сведениям.

В ряде случаев помимо изучения имеющихся материалов необходимо провести рекогносцировочное обследование.

Только после выполнения этой подготовительной части работ можно приступить к составлению программы первоочередных полевых гидрогеологических изысканий.

В программе работ первого этапа изысканий должны быть отражены следующие основные моменты: 1) целевая установка; 2) геолого-гидрогеологические условия участка (или района) по материалам изученной литературы; 3) содержание, объем и методика проектируемых геолого-гидрогеологических работ; 4) содержание и объем необходимых топографических, гидрологических и метеорологических работ и наблюдений.

Ниже приведем краткое содержание отдельных видов полевых и лабораторных гидрогеологических работ для районов, не освещенных в геолого-гидрогеологическом отношении. При наличии же материалов прежних исследований программа работ соответственно сокращается.

2. Общая геоморфологическая и геолого-гидрогеологическая съемка

В зависимости от заданий и площади изысканий объем съемочных работ может быть различным. В основном же он сводится к предварительному составлению геологической и гидрогеологической карт района и участка, оценке физико-механических и водных свойств развитых в районе пород и главным образом к вы-

ясненню причин заболачивания (или причин высокого положения уровня грунтовых вод).

Не касаясь деталей, производства общей геологической съемки, методика которой изложена в специальных руководствах и пособиях, считаем все же необходимым обратить особое внимание на некоторые моменты работы.

А. Геоморфологическая съемка. Большинство промплощадок, нуждающихся в дренаже, располагается по берегам водных артерий. Поэтому уже на первой стадии полевых изысканий необходимо выяснить геоморфологию района. Правда, поскольку основные разведочные работы сосредоточиваются в пределах дренируемого участка, детальное изучение геоморфологии всего района часто является затруднительным. Основные черты геоморфологии района выясняются путем изучения естественных обнажений пород в береговых обрывах, искусственных выемок и вскрыш (котлованы, колодцы), рельефа и т. п. Однако эти общие морфологические и геологические исследования необходимо сопровождать некоторым минимумом разведочных выработок. В результате геоморфологических (и общих геологических) исследований необходимо дать краткое описание истории формирования рельефа.

Б. Общая геолого-гидрогеологическая съемка. При обследовании больших площадей съемочные работы приходится ограничивать наблюдениями по наиболее характерным маршрутам, которые намечаются таким образом, чтобы обследования охватили по возможности всю площадь питания, распространенного в районе водоносного горизонта.

Вопрос о площади съемок и масштабе карт в каждом отдельном случае решается особо с учетом размеров подлежащей дренированию территории и ее ценности. В большинстве случаев съемочные работы района производятся в масштабе 1/25 000 и мельче.

Съемка дренируемого участка производится по более крупной топографической основе (1/10 000—1/5 000 с горизонталями).

На обследуемой площади выявляются: 1) геологическое строение района; 2) водоносность развитых в районе пород; 3) приуроченность водоносных горизонтов к различным стратиграфическим единицам и литологическим образованиям с указанием их мощности и глубины залегания; 4) выходы подземных вод на дневную поверхность и их дебиты; 5) возможные причины высокого положения уровня грунтовых вод (или вообще причины заболачивания); 6) химическая характеристика грунтовых и поверхностных вод.

Сравнительно детально описываются физико-геологические явления, выявляется наличие оползневых смещений, просадок, непосредственных выходов подземных вод на поверхность (родники, источники), заболоченности и других проявлений водоносности.

Если предполагается дренирование оползневого массива, исследование оползневых явлений производится по специальным программам.

Для характеристики водоносности района (площадки) необхо-

димо описывать и фиксировать на карте: а) источники (ключи), как бы малы они не были, б) колодцы, буровые скважины, в) реки, озера, пруды, канавы.

При описании источника необходимо указывать условия выхода (из трещин, по контакту, пластовый) и его высоту (абсолютная или относительная отметка), тип источника (восходящий, нисходящий), дебит, температуру воды и воздуха, химизм воды, стратиграфический горизонт, литологический характер водосодержащих пород и водоупора.

При изучении и описании колодца отмечаются расположение его, размеры и характер крепления, глубина до уровня воды и до дна, а также дается характеристика воды с отбором проб для анализа. Для установления пройденных пород помимо данных опроса описываются отвалы; кроме того собираются сведения о расходе колодца и колебаниях его уровня.

Также описываются буровые скважины; при этом должно быть выяснено место хранения буровых журналов и образцов пород.

Непосредственными наблюдениями полевой партии, а также на основании распросных данных, выясняется характер колебания уровня грунтовых вод, зависимость этого колебания от уровня воды в ближайшей реке в разные сезоны года, в дождливые и сухие годы, а также другие важные факторы, которые позволили бы решить вопрос о причинах высокого положения уровня грунтовых вод.

Все естественные выходы грунтовых вод, колодцы и буровые скважины должны быть занивелированы хотя бы барометрическим методом.

В результате обследования часто выделяются пункты (источники, колодцы) для систематического наблюдения за колебанием уровня воды в них, расходов и изменений химизма в зависимости от сезона года, метеорологических данных и других факторов.

3. Разведочные работы

При недостаточном количестве естественных обнажений пород, а также при отсутствии выходов грунтовых вод на дневную поверхность и вскрытий их скважинами и колодцами для геологической и гидрогеологической характеристики района закладываются разведочные скважины или шурфы.

Основные разведочные работы, необходимость которых исследователь должен всесторонне обосновать, сосредоточиваются в пределах дренируемого участка.

Если в процессе этих работ или ранее, при изучении материалов, выяснится, что причиной подтопления являются поверхностные воды как результат неурегулированного поверхностного стока, разведочные работы ограничиваются заложением лишь нескольких контрольных разведочных выработок.

Если будет установлено, что причиной подтопления является верховодка или переполнение водой замкнутого бассейна грунтовых вод, разведочными выработками достаточно оконтурить эти площади.

В прочих случаях может потребоваться более густая сеть разведочных выработок.

Выше мы уже указывали, что в результате изысканий первого этапа необходимо составить геолого-гидрогеологические профили по исследованному району. Таких профилей (разрезов) необходимо иметь не менее двух: один вдоль и другой поперек подземного потока. Для их составления закладываются разведочные выработки. Кроме того вне этих профилей закладывается сеть разведочных скважин, которые необходимы для составления карт гидроизогипс, литологической и др.

При расположении участка узкой полосой вдоль течения реки разведочные выработки закладываются по нескольким поперечникам, перпендикулярно урезу реки. Расстояние между соседними поперечниками принимается в зависимости от геоморфологических и гидрогеологических условий (обычно не более 400—500 *м*).

Глубина разведочных скважин определяется глубиной залегания и мощностью водоносного горизонта, являющегося причиной подтопления площадки: необходимо вскрыть всю его мощность, углубившись на 1—2 *м* в подстилающий водоупор. Обычно глубина таких скважин не превышает 10 *м*. Иногда для сокращения объема работ часть скважин (зондировок) доводят лишь до водоносного горизонта. Это возможно при хорошей выдержанности пород на площадке.

Для получения представления о комплексе пород, развитых в обследуемом районе (участке), одну-две из разведочных скважин заглубляют метров на 10—15 ниже подошвы водоносного горизонта. Эти выработки дают материал для составления сводной геолого-литологической колонки района, а также выясняют наличие (или отсутствие) водоносных горизонтов, которые могут явиться дополнительными источниками питания исследуемого горизонта или оказаться поглощающим горизонтом.

Расстояние между соседними скважинами поперечника определяется выдержанностью пород в горизонтальном и вертикальном направлениях. При отсутствии опорных обнажений пород (или искусственных выработок) расстояние между соседними скважинами принимается около 150—200 *м*.

Как известно, шурфы дают лучшие результаты разведки по сравнению со скважинами. Однако трудность проходки шурфов в водоносных песках, требующих крепления, ограничивает их применение в массовом масштабе.

Обычно шурфы в таких условиях закладываются на расстоянии примерно 300—350 *м* (а иногда и более) один от другого и служат при разведке контрольными выработками, иногда заменяя собой скважины. В оползневых массивах разведку рекомендуется производить исключительно скважинами (структурное бурение), так как шурфами в последнем случае нарушается устойчивость склона. Это в особенности относится к застроенным участкам.

При бурении и шурфовании отбираются образцы пород при каждой смене пород, но не реже чем через 0,5 *м*.

Необходимо заметить, что если на исследуемой площади ста-

вится изучение режима подземных вод (см. ниже), разведочные выработки совмещаются с режимными.

4. Опытные работы

Для гидрогеологической характеристики обследуемого водоносного горизонта выполняется небольшой объем опытных работ.

Первоочередным является определение направления грунтового потока.

На первом этапе исследований обычно ограничиваются одним-двумя определениями. При большой площади исследований, когда есть предположение о разном направлении потока в различных участках района, число определений соответственно увеличивается.

Для определения направления потока используются разведочные скважины или имеющиеся колодцы. В последних уровни воды должны замеряться до водоразбора.

Следующим определением является замер скорости грунтового потока в одном-двух пунктах.

Для определения водопроницаемости пород (коэфициента фильтрации), а также для приближенной характеристики работы вертикальных водозаборов необходимы опытные откачки воды из опытных узлов, состоящих как минимум, из опытной и двух наблюдательных скважин. Число откачек выбирается в зависимости от выдержанности пород водоносного горизонта (механического состава, трещиноватости и раскарстованности), а также и от величины исследуемого района. Обычно такие определения производятся в одном-двух наиболее типичных в гидрогеологическом отношении пунктах [1].

Часть разведочных скважин иногда опробуется откачками.

5. Изучение режима подземных вод [2]

Гидрогеологические исследования для дренажа почти всегда сопровождаются изучением режима подтопляющего данную территорию водоносного горизонта.

Изучение режима обычно проводится в специально оборудуемых наблюдательных выработках — буровых скважинах или шурфах. Иногда для наблюдения используются и родники.

Шурфы редко применяются в качестве специально закладываемых наблюдательных пунктов ввиду сложности проходки, необходимости крепления, а иногда и изоляции некоторых водоносных горизонтов.

Более или менее часто шурфы применяются для наблюдений за верховодкой.

---

[1] Характер гидрогеологических наблюдений при проходке скважин и при откачках изложен в гл. VI.

[2] Подробно этот вопрос освещен в специальной работе: М. А. Вевиоровская, К. И. Разин и М. П. Семенов, Методика изучения режима подземных вод для крупного гидротехнического, промышленного и ирригационного строительства, 1937.

Систематическое изучение режима подземных вод на больших и ответственных площадях, нуждающихся в значительном снижении уровня подземных вод, обычно проводится в два (или даже три) этапа. Первый этап изучения связывается с общими гидрогеологическими изысканиями по всей исследуемой площади; второй этап предусматривает детальное изучение подземных вод на тех участках (или трассах) нуждающейся в дренировании площади, которые по задачам исследований имеют основное значение. После осуществления опытной части дренажа иногда проводится и третий этап наблюдений для выяснения эффективности работы этих сооружений.

Наблюдения за уровнями подземных вод необходимо начинать уже на первом этапе исследований по специальной сети режимных скважин.

Данные замеров колебаний уровней подземных вод должны быть увязаны с поверхностными водотоками и водоемами и метеорологическими факторами (см. ниже).

Кроме замеров уровней в режимных пунктах (скважинах, шурфах или колодцах) определяются температура и химический состав воды.

Данные замеров уровней и химических анализов воды должны отразить все сезонные изменения. На этом этапе исследований обычно ограничиваются одним замером в декаду на каждом пункте.

Замеры колебаний уровней наносятся на графики совместно с данными наблюдений за поверхностными водами и метеорологическими факторами (см. ниже).

6. Гидрометрические наблюдения за поверхностными водами

Для выявления связи подземных вод с поверхностными, а также для подхода к подсчету расходов поверхностных потоков одновременно с замерами уровней подземных вод производится наблюдение над колебанием уровня воды в поверхностных водотоках (или водоемах).

Для наблюдений за уровнем поверхностных вод устраиваются водомерные посты, позволяющие определять высоту уровня воды по отношению к некоторой неподвижной точке-нулю поста.

Местоположение водомерной рейки выбирается в пределах изучаемого участка в защищенной от ветров и волн прибрежной зоне.

При наличии гидрометрического створа, т. е. закрепленного знаками на месте поперечного сечения потока, в котором определяются расходы воды, рейка ставится в этом створе («створный» гидрометрический пост).

Для установления размеров питания поверхностного потока за счет подземных вод (или обратного явления — поглощения поверхностных вод) рекомендуется определять расходы потока в пограничных частях изучаемой площади (при входе потока на территорию и при выходе). Разница в замерах покажет потерю воды из

реки или, наоборот, увеличение за счет притока грунтовых вод; равенство расходов по обоим створам укажет на отсутствие или взаимное уравновешивание притока и потерь.

Помимо непосредственных наблюдений за поверхностными водами должна быть сделана краткая сводка материалов по гидрологии данного района. В нее должны войти следующие сведения:

а) по реке — о ширинах и глубинах реки, о максимальных, минимальных и средних многолетних расходах, о скоростях течения и амплитудах колебания уровней реки, о времени ледостава и вскрытия, об отмелях, перекатах, размыве дна и берегов и т. д. (такие сведения собираются также и по притокам, впадающим в основную магистраль на участке исследований);

б) по озерам и болотам — о глубине и площади озера или болота, о колебании уровней воды и связи их с рекой и с подземными водами данного участка, о величине испарения, стока и инфильтрации, о времени и глубине промерзания и о таянии льда.

Наблюдения по водомерным рейкам (как и все прочие наблюдения) сводятся в таблицы в хронологическом порядке и в абсолютных отметках наносятся на графики, вычерчиваемые на том же листе и в том же масштабе, что и графики колебания уровня подземных вод.

Одновременно с отбором проб на химический анализ воды из режимных пунктов отбираются пробы воды и из поверхностных водоемов и водотоков.

7. Метеорологические наблюдения

Для выявления влияния метеорологических факторов на грунтовые и поверхностные воды в случае отсутствия поблизости метеорологической станции необходимо бывает вести метеорологические наблюдения непосредственно на исследуемом участке.

Необходимыми объектами метеорологических наблюдений являются: 1) осадки, 2) температура воздуха, 3) давление, 4) влажность воздуха абсолютная и относительная, 5) облачность, 6) направление и скорость ветров, 7) испаряемость с водной поверхности и с поверхности земли и 8) температура почвы на разных глубинах.

Кроме того при исследованиях для дренажа особенно важно провести также наблюдения над инфильтрацией атмосферных осадков в грунт.

Обработку метеорологических материалов следует производить в соответствии с «Руководством метеорологическими станциями II разряда».

В заключительной записке необходимо изложить общие сведения по многолетним наблюдениям: об атмосферных осадках, количестве и сезоне затяжных дождей, о ливнях, о высоте снегового покрова и времени снеготаяния, о количестве и распределении солнечных дней, о колебании температуры воздуха и почвенного покрова, о господствующих ветрах, барометрическом давлении и влажности воздуха. Эти сведения излагаются в форме кратких пояснений к сводным таблицам и графикам.

Графики необходимо наложить на кривые колебания уровня подземных и поверхностных вод, подобрав одновременные замеры и удобные масштабы. В этом случае метеорологические данные помогут отметить и объяснить характерные особенности режима подземных и поверхностных вод.

8. Лабораторные определения

Выше указывалось, что при съемке необходимо производить изучение физико-химических свойств подземных и поверхностных вод. Поскольку на первом этапе исследований съемкой охватывается большой район работ, для определений почти исключительно пользуются лишь полевой лабораторией.

Исключение составляют пробы воды, систематически отбираемые из выработок по изучению режима подземных вод. Последние, как и пробы воды из поверхностных водотоков (или водоемов), в этом случае передаются на полный химический анализ в стационарную лабораторию.

Центром внимания все время должен оставаться водоносный горизонт, подтопляющий изучаемую площадку. Поэтому при исследованиях необходимо дать характеристику водосодержащих пород. На этом этапе исследований ограничиваются незначительным количеством лабораторных определений (гранулометрический состав, пористость, коэфициент фильтрации по Тиму-Каменскому).

9. Топографические работы

Выше уже упоминалось о необходимости иметь топографическую основу на весь исследуемый район. На карту (или план) инструментально наносится местоположение всех выработок, как имевшихся до исследования, так и вновь заложенных. То же относится и к наиболее типичным в районе естественным и искусственным обнажениям пород. Устья всех выработок (старых и новых), как и места наиболее важных обнажений пород и выходов воды, должны быть занивелированы.

10. Содержание отчета

Обработка материалов полевых исследований, как правило, производится параллельно с выполнением работ в поле. Это дает возможность своевременного устранения неясностей и исправления ошибок на месте.

Отчет должен примерно состоять из следующих основных частей:

1) введения, 2) краткого геоморфологического и геолого-гидрогеологического очерка района исследований, 3) общих выводов, 4) списка имеющейся по району специальной литературы (опубликованной и рукописной), 5) приложений.

Во введении указываются: наименование организации, производившей исследования, и заказчика; время работ; местоположение района работ; цель и задача исследований; степень изученности района в прошлом, перечень специальных материалов, изученных

до начала полевых работ; оценка этих материалов; топографическая основа, на которой производились работы; перечень и объем выполненных работ, по которым составлен отчет; технические условия выполнения различного вида работ (бурение, шурфование, оборудование, опытные и лабораторные определения); применявшиеся измерительные приборы и их оценка; фамилии исполнителей.

Геолого-гидрогеологический очерк содержит обычно главы: а) орография и гидрография, б) геоморфология, в) геология и гидрогеология.

В описании геолого-гидрогеологических условий указываются обнаруженные при изысканиях физико-геологические явления (оползни, обвалы, провалы, размывы, развевания, заболоченности и суффозии) с объяснением обусловливающих их факторов. На основании данных съемки, разведки и лабораторных работ даются подробная литологическая характеристика развитых на площадке коренных и четвертичных пород, изменение этого состава в вертикальном и горизонтальном направлении. Одновременно с этим породам даются соответствующие возрастные наименования. На основании этого материала составляется и прилагается к отчету колонка нормального разреза и геоморфологические, геологические и гидрогеологические карты и разрезы. Здесь же описываются тектонические формы, если таковые имеют место в районе.

Наиболее полно в отчете должна быть описана собственно гидрогеология района. Водоносные горизонты должны быть увязаны со стратиграфическими. По материалам выполненных опытных и разведочных работ даются сведения о мощностях водоносных горизонтов, глубине залегания, напорности, связи отдельных водоносных горизонтов между собой и с водой поверхностных водотоков. На основании материалов пробных откачек, полевых и лабораторных определений даются характеристики фильтрационных свойств подтопляющего площадку водоносного горизонта (скорость, коэфициент фильтрации) и его расход.

Все данные геологии и гидрогеологии иллюстрируются соответствующими графическими материалами. Основными среди них являются колонки зондировок, буровых скважин или шурфов и геолого-литологические профили, освещающие литологический характер распространенных на площадке пород.

В отчете должны получить свое отражение также и все другие данные, полученные при исследованиях, важные для освещения поставленной перед исследователем задачи.

В выводах отчета приводится краткое резюме отдельных глав, основные расчетные данные, указывается рекомендуемый тип наиболее эффективного в данных условиях дренажа, местоположение на плане линий дренажных сооружений и ожидаемый эффект водопонижения.

К отчету прилагается программа работ второго года гидрогеологических изысканий (детальных изысканий).

В зависимости от выявленных причин подтопления программа работ должна носить целеустремленный характер на изучение это-

го основного фактора. Кроме того установление причин подтопления дает возможность наметить наиболее эффективную систему дренажа и ориентировочное местоположение дренажных сооружений в плане.

Все это должно служить отправным материалом к установлению характера дальнейших изысканий.

ГЛАВА VI

ВТОРОЙ ЭТАП ИЗЫСКАНИЙ (ДЕТАЛЬНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ)

Задача детальных изысканий была освещена выше (гл. IV). Там же перечислены необходимые виды работ, которые по наименованиям, а до известной степени и по существу, остаются теми же, что и для первого этапа исследований. Разница заключается в объеме работ и в том, что детальные исследования производятся в основном в пределах дренируемого участка, так как общее геологическое строение района и общие гидрогеологические условия уже известны в результате первого этапа исследований.

Одновременно с производством разведочных и опытных работ производится изучение режима подземных вод и выполняются лабораторные определения.

Все сказанное раньше об изучении литературных и архивных материалов для первого этапа гидрогеологических исследований остается в силе и для второго этапа. Поэтому если в первом этапе по каким-либо причинам оказался неучтенным или недостаточно изученным литературный и архивный материал, необходимо это закончить перед составлением программы второго этапа исследований. Кроме того изучаются материалы изысканий самого последнего времени.

Если за время работ первого этапа исследований не доставлялся метеорологический материал с местных метеорологических станций, а исследовательская организация не вела самостоятельных наблюдений, необходимо этот материал также получить.

1. Разведочные работы

Основной объем разведочных и опытных работ приурочивается к местам запроектированных водопонижающих установок: бурение ведется по трассам дренажей, опытные откачки производятся в точках намечаемого расположения дренажных сооружений и в других важных пунктах, требующих освещения фильтрационных свойств пород.

Редкой сетью разведочных скважин уточняются мощность, площадь распространения и литологический характер пород «поглощающего» горизонта, если наличие такового было выявлено на первом этапе исследований.

Как и на первом этапе изысканий, часть разведочных скважин используется для изучения режима подземных вод; это в зна-

чительной степени сокращает общие расходы по изысканиям. Поэтому размещение разведочных выработок по участку производится в том порядке, как это требуется для режимной сети.

При бурении разведочных и режимных скважин необходимо вести тщательные наблюдения за водоносным горизонтом, подтопляющим площадку.

При вскрытии водоносного горизонта отмечается глубина появления воды. После углубления в водоносный горизонт на 0,5—1,0 *м* бурение приостанавливается до полного восстановления постоянного уровня, причем уровень считается установившимся, если два-три последовательных замера дают одинаковые результаты.

После установления постоянного уровня воды водоносный горизонт вскрывается на полную мощность, после чего уровень воды вновь замеряется.

Наблюдения за колебанием уровня воды в скважине в процессе бурения производятся:

а) систематически в начале и в конце каждой смены;

б) при резких изменениях уровня воды в скважине;

в) в начале и в конце работы желонкой (при этом отмечаются объем выкаченной воды и продолжительность работы желонкой).

Все замеры на скважине в процессе бурения производятся от одной постоянной (занивелированной) «нулевой точки». Такой точкой может служить верхний обрез обсадной трубы.

Для проверки высоты нулевой точки рядом с буровой вышкой устанавливается временный репер; от последнего производится периодическая проверка отметки нулевой точки.

Все измерения и наблюдения за уровнем воды заносятся в соответствующие графы сменного рапорта, переписываются в буровой журнал и по ним составляется график колебания уровня воды по мере проходки скважины.

Замеры уровней должны производиться приборами, обеспечивающими точность до 1 *см*.

После восстановления статического уровня воды вскрытого скважиной водоносного горизонта производится одновременное измерение температуры воды и воздуха.

Для измерения температуры воды в скважину примерно на глубину 0,5 *м* от забоя опускается специальный («ленивый» или чернательный) термометр в металлической обойме.

Термометр выдерживается в скважине не менее 5 мин., после чего осторожно (без толчков!) извлекается на поверхность, где немедленно производится отсчет температуры с точностью до 0,2°. Температура воздуха замеряется обычным термометром — пращем.

В результате детальной разведки и использования всего разведочного материала составляется ряд карт, более уточненных по сравнению с картами первого этапа исследований:

1) карта фактического материала, 2) геологическая карта, 3) геоморфологическая карта, 4) гидрогеологическая карта, 5) карта физико-геологических явлений.

Кроме карт составляются геолого-гидрогеологические профили.

2. Опытные работы

Целевым назначением опытных работ является определение основных величин, необходимых для гидрогеологического расчета дренажных сооружений.

Основными моментами гидрогеологического расчета дренажных сооружений являются:

а) определение количества (Q) дренируемых вод, обеспечивающего необходимое понижение (S) уровня грунтовых вод на дренируемой территории;

б) определение числа и размеров дренажных сооружений, а также динамических уровней в них, необходимых для достижения требуемого понижения (S) на дренируемой территории;

в) уточнение глубины заложения дренажных сооружений;

г) окончательный выбор наивыгоднейшего размещения дренажных сооружений в плане.

Для всех поименованных расчетов опытными работами определяются: направление подземного потока и его скорости, коэфициент фильтрации пород (K), дебит буровых (или шахтных) колодцев (Q_1) при различных понижениях уровня и радиус влияния (R).

А) Положение подземных вод и уклон их поверхности легко можно определить по карте гидроизогипс, а также по любым трем скважинам, расположенным по вершинам треугольника.

Б) Для определения естественных скоростей подземного потока наиболее часто применяется один из следующих трех способов: химический, с красящими веществами и электролитический.

Химический метод применим в условиях небольшой минерализации подземных вод, но при некоторых предосторожностях может дать удовлетворительные результаты и в минерализованных водах. В качестве индикатора применяется обычно хлористый натрий или хлористый кальций.

Красящие вещества больше применяются там, где пути потоков неясны (трещиноватые породы, оползневые участки). В качестве индикаторов применяются флюоресцеин, уранин и всякая другая краска, не абсорбируемая породой.

Электролитический способ (способ Слихтера) определения скоростей подземных потоков в последнее время получил довольно большое применение. Это объясняется простотой самого способа, точностью получаемых результатов и некоторой механизацией процесса наблюдения за передвижением индикатора. Правда, поскольку индикатором-электролитом является хлористый натрий или хлористый аммоний, этот способ применим лишь в пресных водах [1].

При этом в опытном узле рекомендуется иметь 4, а иногда и 7 скважин, из которых одна загрузочная (опытная), а остальные — наблюдательные.

Расположение этих выработок должно быть согласовано с на-

---

[1] Проф. Г. Н. Каменский, Основы динамики подземных вод, ч. II, ОНТИ 1935.

правлением подземного потока. Надо заметить, что в естественных условиях подземные воды имеют совершенно ничтожный уклон (порядка 0,001—0,0001), поэтому при определении уклона и скоростей потока на небольших участках требуется нивелировка высокой точности с участием в этой работе гидрогеолога.

Для ориентировки укажем, что в среднем естественная скорость подземного потока для разных пород выражается примерно следующими величинами:

1) для песчано-глинистых пород 1—3 *м* в сутки,
2) для галечников 5—10 *м* в сутки и выше,
3) для трещиноватых пород 10 *м* в сутки и выше.

В) Производство опытных работ. Узлы для определения естественной скорости потока целесообразно использовать после некоторых дополнений наблюдательными скважинами также и для опытных откачек.

При опытных откачках определяются следующие расчетные величины: коэфициент фильтрации пород (*K*), дебит буровых (или шахтных) колодцев (*Q*) при различных понижениях уровня и радиус влияния (*R*).

Определение фильтрационных свойств пород является особенно важным моментом гидрогеологических исследований. Коэфициент фильтрации рыхлых песчаных пород определяется несколькими способами: 1) подсчетом по формулам на основании результатов анализа гранулометрического состава пород, 2) лабораторным путем при помощи наблюдений над фильтрацией воды через образец грунта в особых приборах (Тима, Дарси, Каменского и др.), 3) при помощи опытных откачек и нагнетаний.

Для глин существует лишь один способ — определение *K* на приборе Терцаги, так как опытные откачки или нагнетания для глин неприменимы, если только глины не обладают водоносностью, связанной с трещиноватостью породы.

Наоборот, для трещиноватых «скальных» пород применимы лишь опытные откачки и нагнетания, рекомендуемые и для неоднородных водоносных толщ.

Таким образом в зависимости от природных условий применяются те или другие методы определения коэфициентов фильтрации, причем наиболее достоверным из них является метод откачек.

Откачки разделяются на пробные и опытные.

Пробные откачки производятся из одиночного колодца (скважины, шурфа) на одно понижение и преследуют цель получения предварительной характеристики водоносного горизонта.

Для них могут быть использованы также и не специальные скважины (шурфы), а например разведочные или режимные. Пробную откачку обычно производят без оборудования скважин фильтрами.

Опытные откачки (одиночные и групповые) производятся на несколько понижений (не менее трех) на наиболее типичных в гидрогеологическом отношении участках. Выбор последних производится с учетом местоположения запроектированных дренажных сооружений.

Количество опытных участков и их размещение определяются в зависимости от выдержанности гидрогеологических условий исследуемого района, выявленных ранее произведенными исследованиями, и размеров дренируемой площади [1].

Подготовка к откачкам, заключающаяся в выборе диаметра скважин, системы фильтров, типа насосной установки, расположения наблюдательных скважин, числа понижений и т. д., производится с учетом характеристик водоносного горизонта, полученных в результате первого этапа исследований.

В практике большинства гидрогеологических работ обычно применяется откачка из трех скважин на опытном участке: центральной (опытной) и двух наблюдательных (контрольных). Последние располагаются по направлению простирания потока на расстоянии примерно 5 и 10 *м* от центральной (по одному лучу).

Расстояние наблюдательных скважин от центральной (опытной) назначается в зависимости от водопроницаемости водосодержащих пород: большее при хорошей водопроницаемости, меньшее — при плохой.

Поскольку для дренажа большое значение имеет величина радиуса влияния, часто применяют другое расположение скважин в узле и их количество. Иногда наблюдательные скважины узла располагают по двум лучам: по простиранию потока и вверх по потоку. На каждом луче размещается не менее двух наблюдательных скважин. Дальние по лучу скважины в зависимости от водопроводимости породы располагают на расстоянии 100 *м* и более от опытной скважины.

Часто откачка производится одновременно из двух (или группы) взаимно влияющих опытных скважин. В узле из двух опытных скважин последние закладываются на расстоянии 100—200 *м* одна от другой по простиранию потока. На половине расстояния между ними закладывается одна наблюдательная скважина.

Материал одновременной откачки из двух взаимодействующих скважин при нескольких понижениях позволит выявить характер интерференции воронок депрессии и дать проектантам основные расчетные установки для достижения требуемого понижения на дренируемой площади (количество эксплоатационных скважин, их взаимное положение, величина понижения уровня в каждой скважине).

Замеры понижений уровней воды в центральной скважине производятся в специальной наблюдательной затрубной скважине, закладываемой смежно или в расстоянии около 0,2 *м* от центральной.

Как указывалось выше, опытная откачка обычно производится на 3—4 понижения. Величина понижений назначается в зависимости от ряда условий: мощности и типа имеющегося насосного оборудования, производительности водоносного горизонта, необходимой для дренажа величины понижения грунтовых вод и т. п. Обычно первое понижение берут не менее 1 *м*, последующие — увеличивают соответственно в 2, 3... раза.

[1] Для территории площадью в 50 *га* в среднем принимается около 3 опытных систем, не считая участков пробных откачек (из одиночных скважин).

При производстве групповых откачек (после одиночных) рекомендуется выдерживать те же понижения, что и при одиночных откачках.

Поскольку данные опытных откачек имеют основное значение для расчета дренажа, коснемся некоторых методических указаний, которые должны учитываться при полевых опытах.

В результате каждой откачки должна быть установлена зависимость дебита от понижения, проведены наблюдения за понижением уровня воды в наблюдательных скважинах и за восстановлением его в опытной и в наблюдательных скважинах, определена температура и химический состав воды.

Опытная откачка производится из зернистых пород с фильтром, установленным на всю опробуемую толщу, а из трещиноватых пород — при открытых стенках скважины.

Откачку на каждое понижение необходимо продолжать 1—2 суток после установления постоянного дебита и постоянного уровня в наблюдательных скважинах. При этом общая продолжительность откачки на одно понижение будет тем больше, чем менее водопроницаемы породы и чем больше величина понижения.

Ориентировочная продолжительность откачки из одиночных скважин на каждое понижение обычно колеблется: а) при повышенной водопроницаемости пород (трещиноватые и раскарстованные породы, галечники без примеси глинистых и мелкозернистых пород и т. д.) от 2 до 4 суток; б) при средней водопроницаемости (крупнозернистые и гравелистые пески, трещиноватые — нераскарствовачные породы и пр.) от 3 до 5 суток: в) при пониженной водопроницаемости (средне- и мелкозернистые пески) от 4 до 6 суток.

Продолжительность откачки из опытных узлов на каждое понижение обычно принимается:

а) при повышенной водопроницаемости от 3 до 5 суток,

б) при средней водопроницаемости от 5 до 7 суток,

в) при пониженной водопроницаемости от 7 до 10 суток.

Продолжительность откачки из мелкозернистых илистых песков не может быть указана заранее.

Перед откачкой необходимо провести предварительную прокачку скважины до полного осветления воды. Прокачку скважины в зернистых породах рекомендуется начинать с небольших понижений, постепенно переходя к большим.

Опытная откачка производится в следующем порядке. После осветления скважины замеряются установившиеся статические уровни во всех скважинах (опытной и наблюдательных). Фиксируется время начала откачки.

Количество откачиваемой воды измеряется один раз через каждые 1—2 часа. Одновременно с этим замеряются уровни во всех наблюдательных скважинах.

По достижении постоянного дебита и постоянства динамических уровней переходят к следующему понижению, фиксируя время перехода. После прекращения откачки на последнее понижение производятся наблюдения за восстановлением уровня. Перерывы между этими замерами и их продолжительность устанавливаются

гидрогеологом в зависимости от скорости восстановления уровня. Во время производства откачки примерно один раз в течение 8 час. необходимо измерять температуру воды непосредственно у выхода ее из насоса. В процессе откачек отмечается продолжительность всякого рода остановок и продолжительность откачки «мутной» воды.

В конце откачки (до разбора насосной установки) определяется зависимость удельного дебита от понижения и в зависимости от полученных результатов решается вопрос о прекращении или о частичном (или полном) повторении откачки, об увеличении ее продолжительности.

Данные откачки следует считать достаточными, если удельный дебит по мере увеличения понижения остается постоянным или же уменьшается.

Все результативные данные по опытной (или пробной) откачке заносятся в специальный сводный журнал.

В процессе откачки вычерчиваются графики колебания уровня воды во всех наблюдательных скважинах (по оси ординат откладывается уровень воды, а по оси абсцисс — время).

В конце опытной откачки в совершенно чистую стеклянную посуду с притертыми (или корковыми) пробками отбирается проба воды (не менее 2 *л*) для химического анализа. К бутылям с водой прикрепляются этикетки по форме.

Отобранные пробы воды немедленно передаются в лабораторию для производства анализа.

Если по местным условиям доставка проб воды в лабораторию не может быть выполнена немедленно, необходимо сделать консервацию воды.

В буровом журнале и в коллекторской книжке относительно каждой взятой пробы воды записываются следующие данные: цвет, запах, прозрачность, мутность, осадок и опалесценция в момент взятия пробы.

Обработка материалов опытных откачек в зернистых породах производится по расчетным формулам Дюпюи-Тима.

В трещиноватых породах и в крупнозернистых песчаногалечных грунтах следует пользоваться соответственно формулами Шези-Краснопольского и Смрекера.

Для применения формулы Смрекера необходимо иметь данные двух откачек при разных понижениях, так как коэфициент фильтрации K может быть вычислен по крайней мере из двух уравнений, составленных для двух разных понижений.

Поскольку расчет взаимодействующих колодцев является довольно сложным, существующие методы расчета недостаточно надежны, поэтому опытные спареные (или групповые) откачки следует стремиться проводить при таком понижении, которое давало бы требуемое снижение уровня на дренируемой площади. В этом случае фактически фиксированные при опытных откачках расходы могут являться расчетными.

Если же опытные понижения будут меньше проектируемых при дренаже, расчеты окажутся неизбежными.

Расчеты взаимодействующих скважин в напорных водах рекомендуется производить по методу кривых дебита, разработанного Альтовским [1]: метод суммарного коэфициента снижения дебита и метод суммарной срезки. Для расчетов по методу Альтовского производство групповых откачек не является обязательным.

Для параллельных, а также для предварительных расчетов взаимодействующих артезианских скважин можно пользоваться методами Форхгеймера и Слихтера — Лейбензона.

Для расчета взаимодействующих скважин, работающих в безнапорных условиях, рекомендуется применять метод Форхгеймера или метод подобных установок Кирилейса.

Г) Определение радиуса влияния. Радиус влияния, входящий в расчетные формулы дебита вертикальных и горизонтальных водозаборов, определяется или непосредственным наблюдением по контрольным скважинам (колодцам) или же приближенно — по имеющимся эмпирическим формулам (по Кусакину и Зихардту). Однако при пользовании эмпирическими формулами необходимо оценить их применимость сравнением с опытными данными.

Для дренажных целей величина радиуса влияния колодца является особенно важной, поэтому ее рекомендуется определять экспериментальным путем. Для этого при откачке определяется расстояние от центрального (опытного) колодца до точки кривой депрессии, где понижение уровня воды достигло требуемой величины.

Д) Определение расхода подземного потока. После разведки водоносного горизонта на глубину и по площади распространения, а также получения основных характеристик водоносности водосодержащей толщи определяется расход подземного потока (формулы Дарси, Смрекера, Шези-Краснопольского).

Е) Нагнетание. При затруднительности или невозможности проведения опытных откачек для получения характеристики водопроводимости пород их иногда заменяют наливом или нагнетанием воды в выработки. Налив воды является кроме того единственным полевым способом получения характеристики водопроводимости сухих пород на участках ожидаемого подпора подземных вод; в этом случае наливом опробуются породы, залегающие выше существующего водоносного горизонта на величину ожидаемого подъема уровня воды.

Нагнетание (или налив) воды является также способом опробования «поглощающих» горизонтов [2].

Так же как и откачку, нагнетание рекомендуется производить в опытную скважину с наблюдением в контрольных скважинах. Нагнетание в трещиноватые породы часто производится с применением тампона, ограничивающего исследуемую зону (тампон Днепростроя или его модификации).

---

[1] Альтовский М. Е., Методы обработки материалов опытной откачки, „Разведка недр" № 4—5 и 6, 1939.

[2] Бобков Н. В., Инженерно-геологические исследования в связи с проектировкой различных инженерных сооружений, 1939.

В результате изучения «поглощающего» горизонта откачками (или наливом) должна быть установлена зависимость дебита от понижения.

3. Изучение режима подземных вод

На втором этапе исследований режимные наблюдения продолжаются на сгущенной сети наблюдательных пунктов, закладываемых специально для этой цели непосредственно на территории, нуждающейся в дренаже.

Количество наблюдательных пунктов должно быть таким, чтобы в результате проведенного цикла наблюдений за уровнями подземных вод для всей площадки были составлены карты гидроизогипс.

Наблюдательные пункты необходимо располагать (или подбирать, если используются существующие выработки) по поперечникам, направленным по потоку подземных вод с расположением их в шахматном порядке.

Расстояние между соседними поперечниками принимается различным в зависимости от размеров дренируемой площади и ее ценности. На промплощадках это расстояние обычно колеблется от 50 до 250 *м*.

Расстояние между поперечниками и отдельными наблюдательными точками при пологом уклоне подземных вод может быть принято более или менее равномерным; вблизи же оврагов и речных понижений, а также вблизи поверхностных водоемов и водотоков наблюдательные точки поперечников необходимо сгущать, дабы выявить характерные особенности влияния различных факторов на изменение уровня подземных вод. В этом последнем случае вблизи водоемов располагается не менее трех наблюдательных точек по поперечнику на расстоянии примерно 10—50 *м* от уреза воды.

При пересечении поперечником водотоков в их руслах закладываются особые наблюдательные скважины для выявления связи поверхностных вод с подземными.

Требования к технике проходки, оборудованию и охране наблюдательных пунктов достаточно освещены в литературе, поэтому здесь мы их касаться не будем.

Основными наблюдениями остаются, как и на первом этапе исследований, замеры уровней подземных вод, фиксация их температуры и определение химизма.

Частота замеров уровня воды может колебаться в зависимости от сезона наблюдений и природных условий исследуемого района.

Ежедневные замеры необходимы в периоды паводков и весеннего снеготаяния, а для участков, грунтовые воды которых связаны с поверхностными водотоками, также и в период ледостава.

В течение зимы и лета можно производить замеры один раз в 2—3 дня и реже.

Замеры уровней подземных вод должны производиться одновременно с замерами на водомерном посту ближайшего водотока или водоема.

Измерение температуры воды производится в порядке, указанном выше.

Одновременно по другому термометру (с пращем) фиксируется температура воздуха.

Для производства химического анализа воды изучаемого водоносного горизонта из него систематически отбираются пробы. Отбору пробы должен предшествовать достаточно интенсивный отлив воды из скважины (шурфа) для удаления грязной или застоявшейся воды. Как правило, пробы должны быть отобраны: перед весенним снеготаянием, в период снеготаяния и половодья, после спада полой воды, в меженний период, во время осеннего подъема воды и зимой.

Для выявления связи подземных вод с поверхностными водотоками (водоемами) и метеорологическими факторами продолжаются соответствующие наблюдения в порядке и объеме, указанном для первого этапа изысканий.

4. Лабораторные работы

На втором этапе исследований проводятся детальные лабораторные работы. При этом определяются: 1) гранулометрический состав пород; 2) пористость; 3) объемный и удельный вес; 4) естественная влажность; 5) пластические свойства (по Аттербергу); 6) капиллярное поднятие; 7) коэфициент фильтрации и 8) водоотдача. Кроме того в отдельных случаях могут потребоваться определения углов трения и усадки грунтов. При исследованиях химизма воды производятся стандартные анализы, а в ряде случаев необходимо дополнительно определять агрессивность[1]. Анализ на агрессивность должен содержать следующие данные[2]: 1) цвет и осадок; 2) сухой и плотный осадок; 3) сернокислый остаток; 4) pH; 5) окисляемость; 6) временную жесткость (в градусах Боме); 7) свободную углекислоту; 8) бикарбонатную углекислоту; 9) карбонатную углекислоту; 10) сульфаты SO_4; 11) хлориды Cl; 12) азотную кислоту (в кислых водах); 13) сероводород; 14) окиси кальция, магния, натрия.

Необходимо отметить, что в отдельных случаях перечень лабораторных работ изменяется по усмотрению гидрогеолога в зависимости от природных условий и требований проектирующей дренаж организации.

5. Содержание отчета

Объем и содержание отчета, так же как и объем исследований, зависят от целевого назначения изысканий и сложности гидрогеологических условий района.

---

[1] Лаптев Ф. Ф., Агрессивное действие воды на карбонатные породы, гипсы и бетон, 1939.

[2] ЦНИПС, Инструкция по защите бетона от коррозии, 1939.

Материал крупных исследований рекомендуется располагать в отчете в следующем порядке:

1. Введение.
2. Орография и гидрография.
3. Климатический очерк района.
4. Геоморфология и физико-геологические явления.
5. Геология.
6. Гидрогеология.
7. Опытные работы.
8. Опытно-стационарные работы (изучение режима подземных вод).
9. Лабораторные работы.
10. Выводы и заключение.
11. Приложения.

Примерное содержание отдельных частей (глав) отчета нами указывалось выше. Здесь коснемся лишь некоторых вопросов, требующих более глубокой проработки: литологической характеристики участка (по площади и в глубину) и фильтрационной способности водосодержащих пород. Первый вопрос получает удовлетворительное разрешение после тщательной обработки разведочных данных, для решения второго используются опытные данные.

Для литологической характеристики участка составляется ряд сводных профилей и карт. Если участок располагается на берегу водотока, профили составляются главным образом в направлении, перпендикулярном к урезу воды. На этих профилях должны быть четко выявлены геоморфологические элементы. Профили вычерчиваются также и по всем запроектированным трассам дренажа. На всех профилях отмечаются водоносные горизонты.

При описании опытных работ дается подробное изложение примененных методов определения направлений и скоростей подземных потоков, производства пробных откачек и нагнетаний воды. Указывается местоположение пунктов проведенных опытных работ и приводятся результативные данные. Особенное внимание уделяется обработке материалов опытных откачек. Фактические данные полевых работ сводятся в ведомости и таблицы специальной формы, в которые заносятся и данные теоретических подсчетов коэфициентов фильтрации пород и расходов.

В сводке фильтрационных характеристик пород необходимо приводить также материалы лабораторных определений с подробным описанием оборудования и методики выполнения.

Отчетные материалы опытных полевых и лабораторных работ иллюстрируются графическими материалами, перечисленными в соответствующих главах книги.

Изучение режима подземных вод является одной из основных глав отчета (опытно-стационарные работы). В этом разделе подробно описывается сеть наблюдательных выработок, их оборудование и указывается наименование изучаемых водоносных горизонтов. Приводится полная характеристика режима водоносного горизонта за все время наблюдений. Фиксированные колебания уровня воды должны получить соответствующее обоснование

(связь с метеорологическими и гидрологическими факторами и с другими водоносными горизонтами).

Одновременно приводится подробная химическая характеристика воды в разные сезоны года.

В этой же главе приводится проработанный материал по изучению режима родников и источников (дебиты, химизм и температура воды, суффозионные явления); указывается абсолютная отметка выхода воды или превышения его над рекой. Данные о химизме и температуре приводятся в таблицах и в виде графиков.

Если изучение режима подземных вод производилось для прогноза величины подъема (или спада) подземных вод в связи с предстоящим изменением уровня воды в сопряженном с ним водотоке (или водоеме), для запроектированного уровня последнего производится подсчет величины подпора (или спада) по существующим теоретическим формулам Павловского, Каменского, Малишевского и др. Поскольку эти формулы еще недостаточно проверены на практике, подсчет необходимо производить по нескольким формулам, применимым в данных гидрогеологических условиях. При получении разных величин подпора необходимо из осторожности рекомендовать ориентировку на максимально огибающую кривую.

Нужно заметить, что для подсчета следует брать уровни по скважинам расчетного поперечника и реки, соответствующие одному и тому же времени и притом для периода установившегося движения подземного потока (в межень).

При описании лабораторных работ указываются методика определений и анализов, принятая классификация пород по механическому составу и т. п.

Все данные гранулометрического состава, химических анализов воды и пород, водных свойств пород сводятся в отдельные таблицы.

В заключительной части главы особо отмечаются характер химизма вод и их агрессивность в отношении строительных материалов.

Для всесторонней характеристики участка исследований составляется ряд специальных карт: геоморфологическая, геологическая, гидрогеологическая и карта гидроизогипс. В зависимости от назначения и сложности гидрогеологических условий число и характер карт могут варьировать; иногда ограничиваются составлением всего двух карт: гидрогеологической и карты гидроизогипс. Этого бывает достаточно для проектирования небольших временных понижений уровня грунтовых вод. Нередко составляются карты поверхности коренных пород, карты литологического состава пород, на разных глубинах. Такая подробная иллюстрация обычно требуется при проектировании постоянно действующего горизонтального дренажа. В этом случае карты гидроизогипс составляются на разные сезоны года; как минимум таких карт должно быть не менее двух: повышенного и пониженного положения уровня грунтовых вод. При наличии напорного водоносного горизонта составляются карты гидроизопьез.

В последнее время получают большое применение карты-раз-

резы, составленные в аксонометрической проекции. Изготовление такого типа карт-разрезов необходимо рекомендовать, так как они позволяют наглядно судить о положении отдельных слоев в трех измерениях.

Все разведочные выработки, режимная сеть, места опытных узлов и другие важные наблюдения наносятся на топографическую карту.

Отчет заканчивается подведением итогов работ. Здесь кратко повторяются основные данные исследований, особо важные для проектирования.

В заключении указываются рекомендуемая система дренажа или временного искусственного понижения уровня грунтовых вод, примерное местоположение водопонижающих установок, основные черты конструкции, их число (или протяженность) и ожидаемый эффект. Рекомендуется определенный водоприемник для сброса дренируемых вод.

К отчету (или в отдельно сброшированном томе) прилагаются все колонки буровых скважин (шурфов) с буровыми журналами.

Сводные таблицы разного рода определений, ведомости метеорологических и гидрологических наблюдений, ведомости замеров колебаний уровней по пунктам режимной сети и другой фактический материал обычно брошируются отдельно от текста отчета. На приложения составляется подробная опись.

III. ПРОЕКТИРОВАНИЕ

ГЛАВА VII

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Этапы проектирования дренажных сооружений определяются главным образом освоенностью территорий, подлежащих дренированию.

При освоении территории под новое строительство проектирование дренажных сооружений должно быть увязано со сроками и очередностью осуществления всего общестроительного комплекса и в особенности его подземного хозяйства. Во многих случаях представляется целесообразным проводить дренажные работы заранее, еще до начала развертывания строительства основных сооружений с тем, чтобы осуществление последних могло производиться в более благоприятных условиях (при пониженном уровне грунтовых вод).

Проектирование дренажных сооружений для целей защиты от подтопления существующих промышленных и городских сооружений в связи с ожидаемым повышением уровня грунтовых вод при гидротехническом строительстве (например при подпоре от плотины) должно проводиться с таким расчетом, чтобы строительство дренажа закончить к моменту ввода в эксплоатацию водоподпорного сооружения.

Сроки и очередность проектирования дренажных сооружений,

осуществляемых в целях борьбы с грунтовыми водами на эксплоатируемых уже промышленных и городских территориях, определяются главным образом финансовыми возможностями данного предприятия или хозяйства. В этом случае необходимо обращать особое внимание на увязку проектируемой дренажной сети с существующим подземным хозяйством, так как очень часто техническая документация подземных сооружений находится в недостаточно удовлетворительном состоянии.

Проектирование дренажных сооружений при городском и промышленном строительстве в соответствии с существующими законоположениями может быть разбито на следующие основные стадии: а) проектное задание, б) технический проект и в) рабочие чертежи.

Кроме того при составлении генеральных схем планировки городов и промпредприятий может возникнуть необходимость в разработке некоторой промежуточной стадии проектирования дренажных мероприятий на планируемой территории, не укладывающейся ни в одну из указанных.

Во многих случаях, когда проектируются относительно простые и небольшие по объему дренажные работы, нет необходимости отделять составление рабочих чертежей от технического проекта. При устройстве же небольших дренажей в хорошо изученных гидрогеологических условиях дренируемого участка представляется вполне целесообразным, минуя стадию проектного задания, непосредственно производить разработку технического проекта.

Проектное задание разрабатывается в соответствии с директивными указаниями заинтересованной организации на основе материалов, полученных в результате изыскательских работ.

В проектном задании должны быть разрешены следующие вопросы:

а) обоснование целесообразности и возможности дренирования данной территории;

б) выбор системы и типа дренажа (возможно в вариантах);

в) установление расположения в плане дренажной системы и глубины заложения дрен;

г) определение по укрупненным измерителям строительной стоимости дренажа, а в случае устройства дренажа с принудительной системой водоотвода также и эксплоатационных расходов;

д) выбор наиболее эффективного и экономичного варианта дренажа.

Технический проект разрабатывается на основе утвержденного соответствующими инстанциями проектного задания и материалов дополнительных изысканий.

В техническом проекте по принятому варианту разрабатывается:

а) расположение дренажной сети на плане и в профиле;

б) конструкции дренажа и его отдельных элементов;

в) организация и методы производства работ по осуществлению дренажа;

г) техническая смета на устройство дренажа (а в некоторых случаях и на эксплоатацию).

Содержание рабочих чертежей является очевидным, а потому в дополнительных пояснениях не нуждается.

При разработке генсхем освещаются следующие вопросы:

а) общие предпосылки к проведению дренажных работ;

б) общее направление дренажных мероприятий;

в) примерный подсчет объема работ и их стоимость.

Следует отметить, что намечаемые при этом дренажные работы должны быть теснейшим образом связаны с другими мероприятиями по инженерной подготовке планируемой территории и общей архитектурной композицией последней.

ГЛАВА VIII

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОМ ГОРИЗОНТЕ ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

При осушении городских или промышленных территорий горизонт понижения уровня грунтовых вод устанавливается применительно к общим гидрогеологическим условиям и конкретным особенностям существующей или проектируемой застройки. Решение вопроса должно быть поставлено в частности в зависимость от характера естественных или искусственных оснований под фундаментами существующих зданий и сооружений.

Наиболее полно специфические местные особенности того или иного участка названных территорий могут быть учтены при проектировании небольших дренажей. В этом случае горизонт понижения под теми зданиями и сооружениями, которым осадка в результате осушения не угрожает, устанавливается обычно, исходя из высотного положения наиболее заглубленных элементов подземных конструкций (фундаментов, полов, подвалов) и высоты капиллярного поднятия в подстилающих эти конструкции грунтах.

Высота капиллярного поднятия должна устанавливаться, как правило, путем лабораторных испытаний образцов грунта, извлеченных при бурении. Для ориентировки укажем, что по Г. Бескову [1] эта высота составляет: при крупнозернистых песках — 3,5—12 *см*, при среднезернистых — 12—35 *см*, при мелкозернистых 35—120 *см*. Для супесей, а особенно для суглинистых и глинистых грунтов высота капиллярного поднятия достигает значительно больших величин.

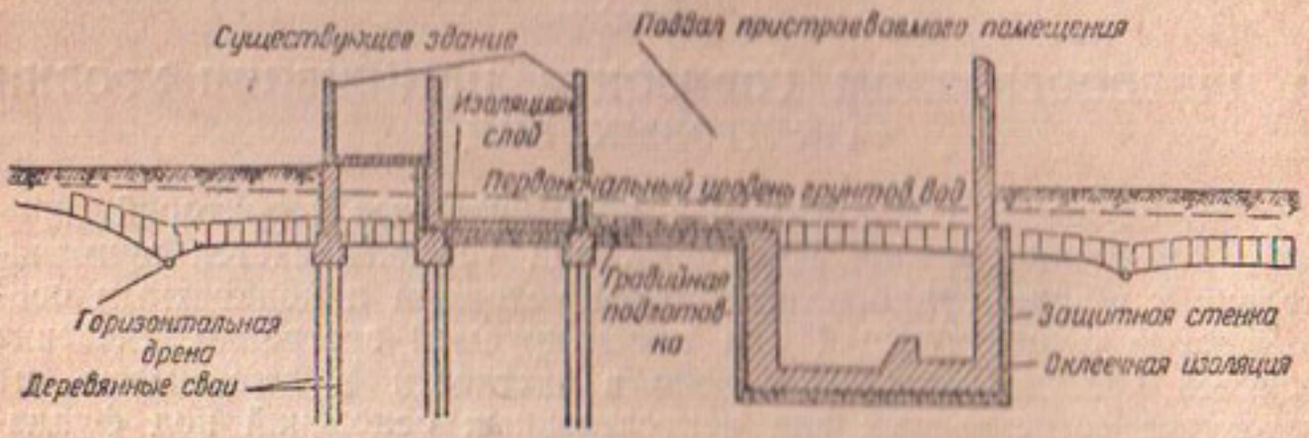
При известной высоте капиллярного поднятия проектную депрессионную поверхность всегда желательно расположить так, чтобы вся зона капиллярных вод оказалась ниже подземного контура сооружения. Если при большой высоте капиллярного поднятия такое решение оказывается экономически нецелесообразным или затруднительным, от него отступают, назначая менее интенсивное понижение, при котором часть наиболее заглубленных эле-

[1] Каменский Г. Н., Основы динамики грунтовых вод, ч. I, 1933.

ментов здания остается в пределах капиллярной зоны. В этом случае однако появляется необходимость в устройстве гидроизоляции облегченного типа, защищающей здание от капиллярных вод.

При назначении проектного понижения приходится считаться также с приближенностью проектных гидрогеологических расчетов. Поэтому расстояние от подземного контура сооружения до проектной депрессионной поверхности не назначается в охарактеризованных случаях менее 0,5 *м*.

С особой внимательностью должна устанавливаться величина понижения в том случае, когда характер основания, грунтового или свайного, заставляет опасаться осадки сооружения после проведения осушительных работ. В подобных случаях решением может явиться комбинированная защита сооружения, предусматри-



Фиг. 15. Схема частичного понижения уровня грунтовых вод при деревянном свайном основании под зданием

вающая частичное понижение уровня грунтовых вод и устройство гидроизоляции, подверженной несколько сниженному гидростатическому давлению (фиг. 15).

Вопрос об установлении целесообразной величины понижения становится более сложным при устройстве районных дренажных систем, охватывающих большие площади. Рассмотрим некоторые наиболее характерные случаи.

При дренировании слабообжитых районов, предназначенных под капитальную застройку, горизонт целесообразного понижения должен быть сообразован с вероятными глубинами заложения типовых перспективных подземных сооружений (фундаментов зданий, санитарно-технических сетей и пр.), соответствующих намеченному типу застройки.

Эти глубины в зависимости от вида сооружений, климатических, топографических и грунтовых условий варьируют в весьма широких пределах и всегда должны устанавливаться применительно к местным условиям.

В качестве наиболее характерных приведем некоторые данные по обычным глубинам заложения подземных сооружений в климатических условиях средней полосы СССР.

Для современной капитальной городской застройки характерными являются здания с числом этажей 4—6. Глубина заложения фундаментов подобных зданий, зависящая от глубины промерза-

ния, этажности, рода грунта, служащего основанием, наличия или отсутствия подвалов, колеблется, как правило, в пределах от 1,8 до 3,0 *м*.

Работы по благоустройству городских и промышленных территорий всегда оказываются связанными с прокладкой значительного количества подземных сетей различного назначения, закладываемых на разных глубинах. Кабельные прокладки и теплосеть требуют наименьшей глубины заложения и прокладываются обычно на глубинах 0,7—1,5 *м* от поверхности земли. Газопроводы прокладываются на глубинах 1,5—2,5 *м*. Глубина заложения водопроводных линий сообразуется с глубиной промерзания и составляет обычно 2,5—3,0 *м*. Наибольшее заглубление имеют канализационные (ливневая и хозяйственно-фекальная) сети; дворовые линии этих сетей имеют заложение до 2—2,5 *м*, уличные, как правило, — 2,5—4,0 *м* и более [1].

Из приведенных данных можно сделать вывод, что при обычных формах капитальной застройки, осуществляемой в климатических условиях средней полосы Европейской части СССР, основная масса подземных сооружений оказывается сосредоточенной, как правило, в ограниченной зоне глубиной около 3 *м*.

Эта глубина или аналогичная ей иная, установленная применительно к местным условиям, и должна служить критерием для установления желательного с точки зрения перспективного строительства горизонта понижения на вновь осваиваемых территориях.

Намеченное указанным образом понижение далеко не всегда однако может быть получено по экономическим или иным соображениям.

Следует вместе с тем иметь в виду, что с уменьшением понижения количество осложнений, вносимых грунтовыми водами в подземные строительные работы и эксплоатацию подземных сооружений, будет быстро нарастать. В климатических условиях средней полосы Европейской части СССР критическим горизонтом понижения следует считать горизонт, соответствующий глубине промерзания. При меньшем понижении проведенные осушительные работы не обеспечат сколь-либо удовлетворительных условий для городского и сходного с ним по типу возводимых зданий и сооружений промышленного строительства.

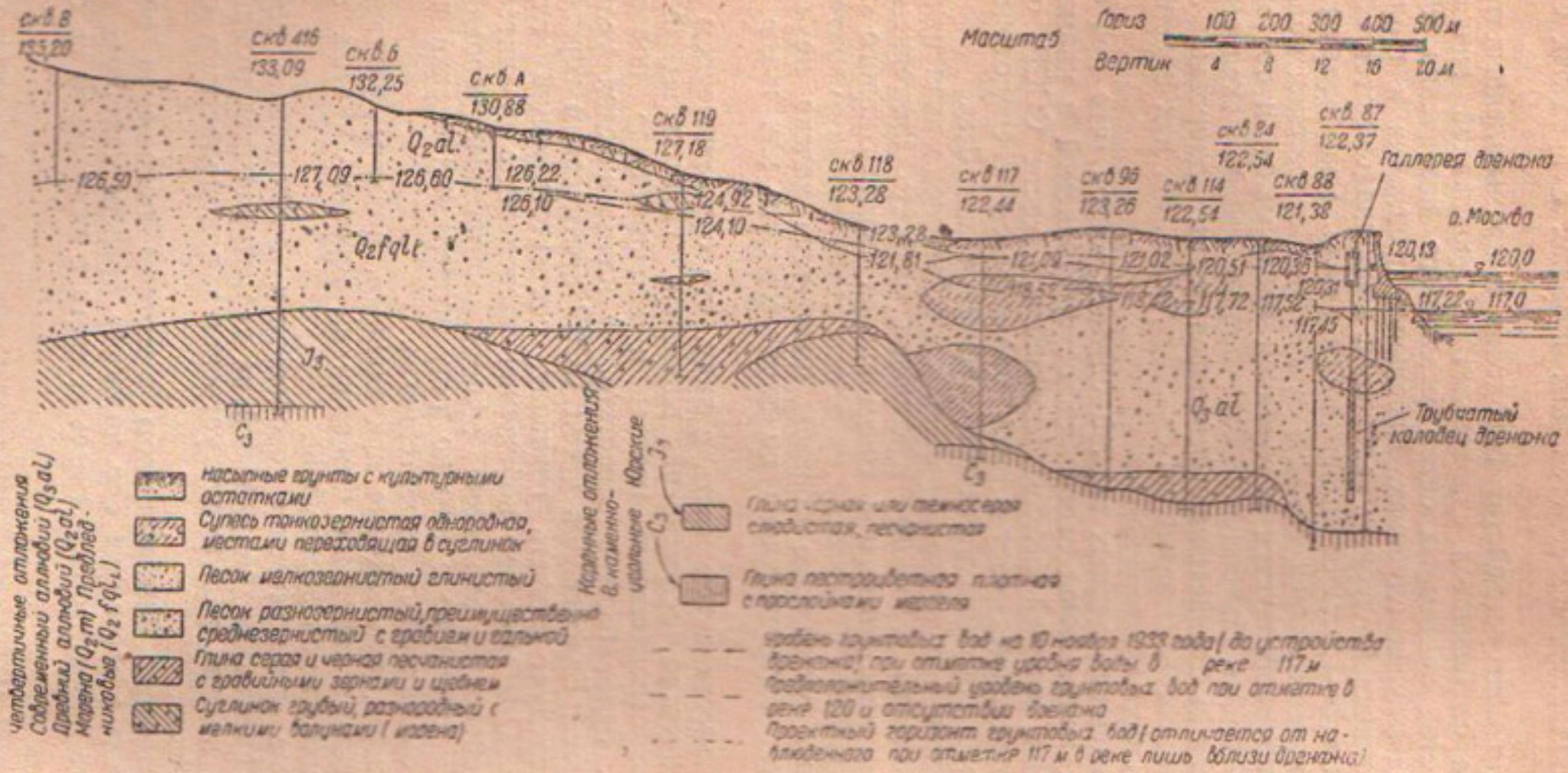
Соображения, аналогичные приведенным, должны учитываться и при устройстве районных дренажей на хорошо обжитых территориях с капитальной застройкой.

Некоторые специфические особенности свойственны случаям устройства дренажных сооружений на территориях, подтопляемых грунтовыми водами вследствие устройства водоподъемных сооружений на реках.

При достаточно благоприятном высотном положении зеркала грунтовых вод в состоянии «до подпора» дренаж подобных территорий может проектироваться весьма часто с установкой на сохра-

---

[1] Всюду даны глубины от поверхности земли до низа прокладок (блоков, каналов, труб и пр.).



Фиг. 16. Поперечный разрез по территории, дренированной береговым дренажем

нение этого зеркала после повышения уровня воды в реке. Подобное же решение может оказаться целесообразным и при относительно высоком стоянии естественного уровня грунтовых вод, а именно в тех случаях, когда избыточное понижение является опасным для устойчивости расположенных на территории зданий.

Примером дренажа, осуществленного с установкой на сохранение естественного уровня грунтовых вод, может служить, в частности, береговой дренаж, построенный в связи с подъемом уровня в реке. Проектная схема воздействия этого дренажа на горизонт грунтовых вод поясняется фиг. 16.

А. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

ГЛАВА IX

ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

Горизонтальные дренажи, применяемые при городском и промышленном строительстве, в конструктивном отношении могут быть разбиты на следующие основные виды:

1) открытые дренажи — без заполнения их поперечного сечения фильтрующим материалом — канавы и лотки;

2) закрытые дренажи — со сплошным заполнением их поперечного сечения фильтрующим материалом — хворостяные, фашинные и каменно-щебенчатые;

3) трубчатые дренажи — из гончарных, керамиковых, бетонных и деревянных труб;

4) галлерейные дренажи — устраиваемые открытым способом — дренажные галлереи или проходимые закрытым (подземным) способом — дренажные штольни;

5) дренажи специального назначения — например устраиваемые для дренирования оснований подвальных помещений, подземных коммуникаций и т. д.

1. Открытые дренажи — канавы и лотки

Открытые канавы в качестве дренажа при городском и промышленном строительстве применяются весьма редко, главным образом при дренировании небольших поселков или же пригородных местностей. Этот конструктивный тип дренажа может быть применен например в качестве головной дрены для перехвата грунтовых вод, притекающих на защищаемую территорию извне. Иногда открытые канавы могут найти себе применение и при систематическом дренаже, например при осушении заболоченных площадей под жилищное или парковое строительство в небольших рабочих или дачных поселках, а также при железнодорожном строительстве.

Такое ограниченное применение открытых канав для целей дренирования городских и промышленных территорий обусловлено рядом неудобств, связанных с их строительством и эксплоатацией:

значительными потерями полезных площадей под сами канавы, необходимостью устройства ряда переездов и мостиков и т. д. Кроме того открытые канавы довольно быстро зарастают или же разрушаются, теряя при этом свое дренирующие действие. Применение их ограничено также из-за невозможности придания им больших глубин (1,0—1,5 *м*).

Открытые канавы представляют собой простейший тип дренажа, часто не требующий каких-либо строительных материалов.

Следует также отметить, что открытые канавы в большинстве случаев одновременно являются и сооружениями для улавливания и отвода поверхностных вод с защищаемой территории. Правила устройства подобного рода сооружений общеизвестны, а потому в данной работе не освещаются.

При устройстве открытых канав в грунтах слабых, сильно насыщенных водой, для предохранения откосов канав от обрушения или оплывания они укрепляются; при этом, если откосы оплывают благодаря выносу мелких песчаных частиц, то рекомендуется делать сплошное замощение их без заполнения швов между камнями, но с обязательным устройством под ними слоя из мелкого щебня или тяжелых фашин. При сильном оплывании грунта от устройства канав следует отказаться, переходя к применению открытых лотков. В зимнее время канавы нередко покрываются наледью, препятствующей стоку воды, а застаивающиеся в ней воды способствуют повышению уровня грунтовых вод на защищаемой территории; для предупреждения такого рода явлений необходима своевременная очистка канав от наледей.

Лотки применяются для тех же случаев и условий, что и канавы. Глубина их обычно ограничена 1,5—3,0 *м*, так как при больших глубинах в стенках их возникают довольно значительные боковые усилия от распора грунта.

Наиболее распространенным материалом для устройства лотков служит дерево, но при наличии дешевого камня могут найти применение и каменные лотки. Железобетонные лотки хотя и прочнее других конструкций, но применяются редко, в связи с довольно высокой их стоимостью.

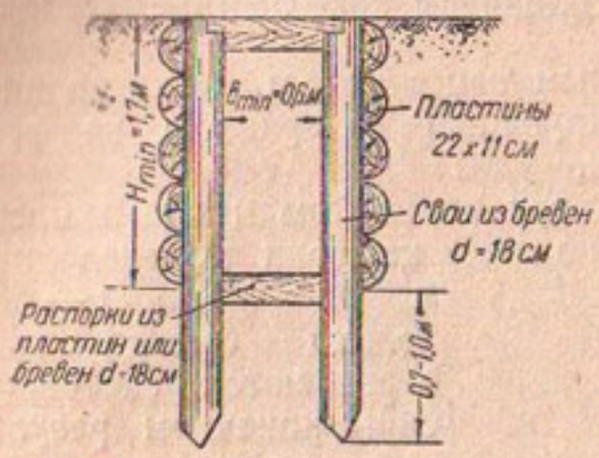
Деревянные лотки устраиваются обычно или свайного или рамного типа.

Лотки свайного типа состоят из распорок и свайных стенок. Свайные ряды, забитые в грунт, распираются с противолежащими по меньшей мере двумя распорками: вверху лотка и на дне его (фиг. 17); при большой глубине и наличии сильного бокового давления система распорок еще усиливается диагональными связями (фиг. 18).

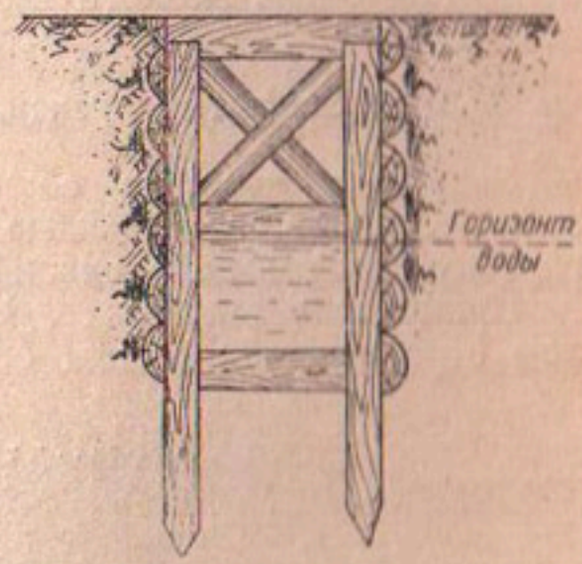
Стенки лотка забираются горизонтальными рядами пластин или досок, закладываемых со стороны грунта. В случае, если лоток, проходит через слой плывуна, сильно затрудняющий работу, горизонтальные заборки заменяются вертикальными. Последние выполняются из круглого леса, пластин или досок, схваченных сверху направляющими схватками, а внизу и посредине — полусхватками для упора поперечных горизонтальных распорок. В этом случае

для облегчения поступления грунтовых вод в лоток не рекомендуется добиваться плотного примыкания вертикальных заборок друг к другу.

Рамные лотки отличаются от свайных тем, что опорой стенкам служат не сваи, а трапецоидальные рамы (фиг. 19). Рамные лотки обходятся дешевле, работа по их выполнению может быть произведена более тщательно, и они легко ремонтируются, но при значительном боковом давлении или глубине свыше 2 *м* недостаточно прочны.



Фиг. 17. Дренажный лоток свайного типа



Фиг. 18. Дренажный лоток свайного типа усиленной конструкции

Дно всех открытых лотков независимо от того или иного конструктивного типа должно быть укреплено во избежание размыва и просачивания воды в грунт и придания большей гладкости, предпятствующей заилению; поверхность крепления при этом подгоняется заподлицо с поверхностью нижних распорок.



Фиг. 19. Дренажный лоток рамного типа

Наиболее простым и технически совершенным видом крепления дна является покрытие слоем бетона толщиной 10—25 *см*. Нижние распорки можно делать втопленными в него с приданием профилю очертания по круговому сегменту со стрелой 5—10 *см*. В некоторых случаях может найти известное применение укрепление дна лотка мостовой на мху или же деревянным желобом.

Каменные лотки обычно имеют дно из каменной кладки на растворе, а стенки — из сухой кладки; при сильном боковом давлении стенки делаются из кладки на растворе с устройством отдельных вертикальных окон, заполняемых сухой кладкой; в промежутках между окнами поперек лотка у его верха можно устраивать сводики, служащие распорными арками.

Железобетонные лотки по принципу своей конструкции аналогичны деревянным рамным, т. е. за железобетонные

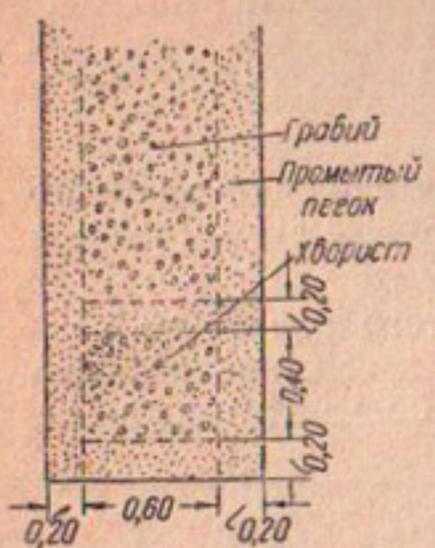
рамы закладываются железобетонные же доски с пробитыми в них круглыми отверстиями $d = 1—3$ *см*.

Все описанные открытые лотки работают как дренажи лишь при наличии в стенках их соответствующих щелей, окон и отверстий; в противном же случае дренирующее действие их прекращается. Ввиду возможной закупорки этих отверстий мелкими частицами, выносимыми из осушаемых слоев грунта, необходимо позади стенок лотков делать засыпку из гравия, крупного чистого песка или очень мелкого щебня.

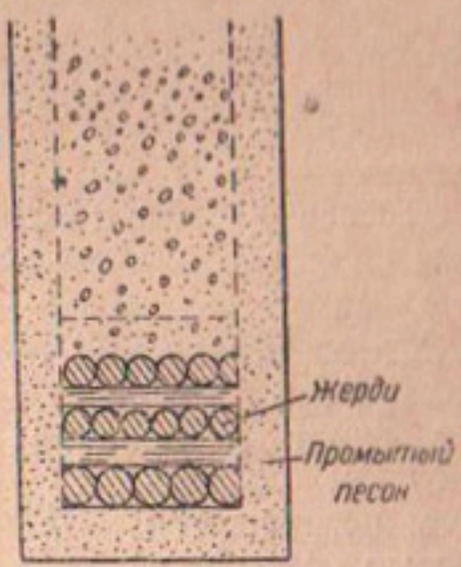
2. Закрытые дренажи со сплошным заполнением

Закрытые дренажи со сплошным заполнением представляют собой траншеи, заполненные дренирующим материалом, на всю глубину или только в нижней части.

Применение закрытых дренажей при городском и промышленном строительстве весьма ограничено, так как они малонадежны в эксплоатации — довольно быстро расстраиваются, засоряются и в конечном результате перестают работать. Кроме того глубина заложения их обычно не превышает 2—3 *м* и следовательно применять эти дренажи для больших понижений не представляется возможным. Обычно подобного рода дренажи следует допускать лишь в качестве временных дренажных сооружений или же при отсутствии возможности осуществления дренажей других более совершенных типов, а также при дренировании отдельных, ограниченных по своим размерам участков строительства.



Фиг. 20. Хворостяной дренаж



Фиг. 21. Жердиевой дренаж

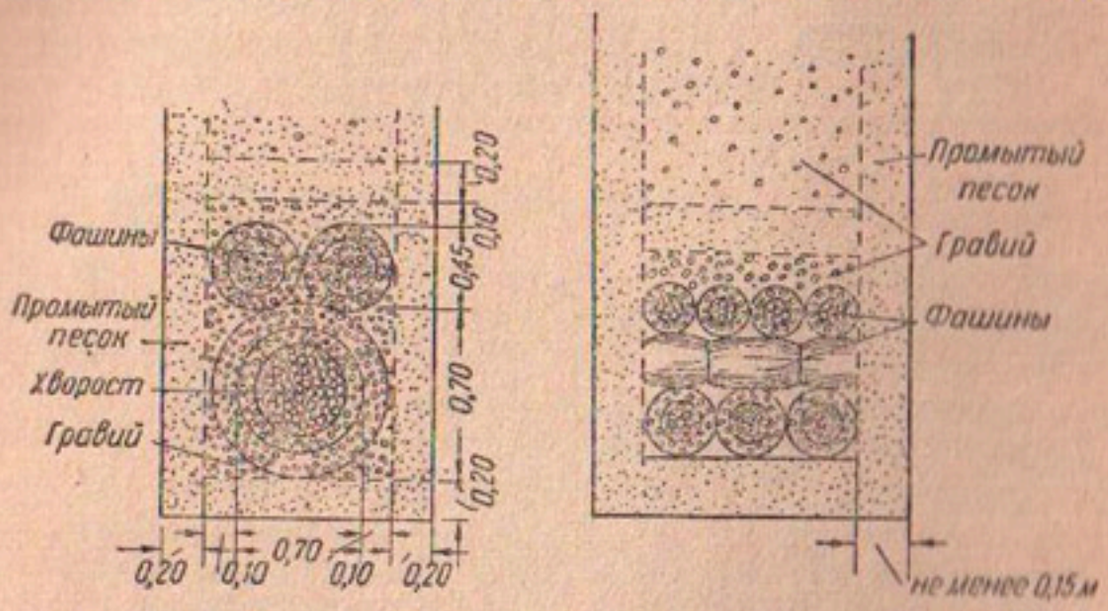
По роду материала, употребляемого на заполнение, закрытые дренажи могут быть разделены на: а) хворостяные, б) фашинные и в) каменно-щебенчатые.

Хворостяные дренажи представляют собой траншею, заполненную в нижней своей части хворостом (фиг. 20) или жердями смолистых пород (фиг. 21). Хворостяное или жердевое заполнение траншеи является как бы водоотводящей частью дрены; дренирующей же ее частью служит фильтрующее заполнение из песка и гравия, насыпаемого с боков траншеи и поверх ее хворостяного или жердевого заполнения. Хворост и жерди могут работать более или менее длительное время в условиях постоянной влажности; в других же случаях, когда действие дренажа является пере-

межающим (например при дренировании исчезающей в отдельные периоды года верховодки), хворост или жерди быстро сгнивают и дренаж перестает работать.

Хворостяные дрены обладают сравнительно большой водопропускной способностью. Особый интерес они представляют при дренировании минеральных почв, когда в дренажах из других материалов может происходить интенсивное отложение солей.

Фашинные дренажи представляют собой траншею, заполненную в нижней своей части одной или несколькими фашинами (фиг. 22). Поверх фашин укладывается хворост, а затем фильтрующая засыпка из гравия и песка. Фашинные дренажи применяются обычно в легко оплывающих грунтах, когда дренирующее



Фиг. 22. Фашинные дренажи

заполнение в траншею должно быть опущено возможно быстрее. Так как заполнение фашин состоит из тех же щебенчатых материалов, то назначение их заключается преимущественно в том, чтобы создать готовую оболочку для дренирующего заполнения в целях обеспечения возможности быстрого опускания этой оболочки вместе с содержимым в сильно заплывающие траншеи.

Основным типом фашин, применяемых для указанных целей, служат тяжелые фашины, заполненные щебнем и гравием. Главным достоинством фашин является возможность укладывать их в заплывающую траншею, не боясь засорения ее грунтом; слабое место фашинного дренажа — его многочисленные стыки, которые должны быть обсыпаны песком или гравием. Применение фашинного дренажа также ограничено; он может заменять собой щебенчатые дренажи при наличии главным образом сильно оплывающих грунтов.

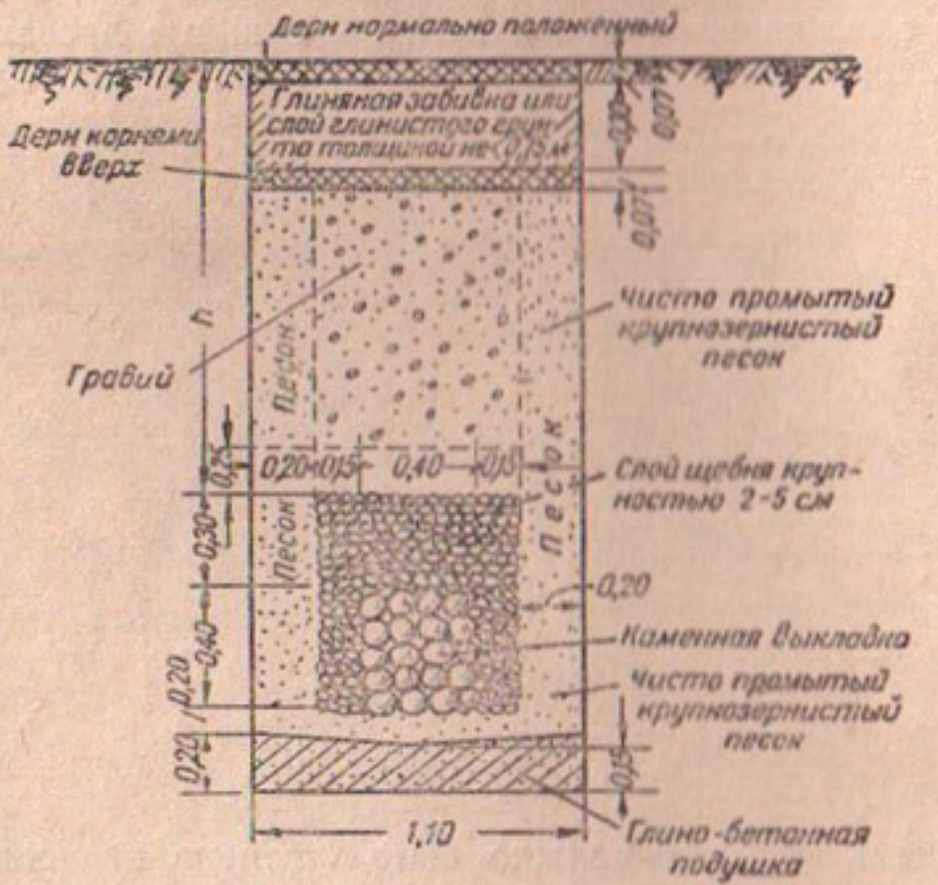
Каменно-щебенчатые дренажи (фиг 23) представляют собой траншею, заполненную в своей нижней части щебнем или рваным камнем, по промежуткам которых и отводится вода. Каменное заполнение в подобного рода дренажах должно удовлетворять двум основным условиям:

а) быстро пропускать воду и

б) не допускать выноса мелких частиц прилегающего к дренажу грунта.

Первое требование удовлетворяется тем лучше, чем крупнее отдельные куски заполнения и чем однороднее их величина.

Для удовлетворения второго требования, наоборот, лучше всего заполнение некрупными частицами. Однако они не должны быть и чрезмерно мелкими, чтобы грунт не мог выноситься из самого дренажа, расстраивая его, вызывая неравномерность работы и закупорку в отдельных местах.



Фиг. 23. Каменно-щебенчатый дренаж

Из сказанного само собой напрашивается вывод, что всем указанным требованиям лучше всего удовлетворяет дренаж, состоящий из нескольких концентрических слоев, диаметр зерен которых постепенно увеличивается к середине.

Применение подобного типа фильтрующей засыпки хотя и затруднительно из-за сложности и дороговизны выполнения, может все же в ответственных случаях оказаться необходимым.

В практике заполнение довольно часто делается из однородного по всему сечению материала, причем наилучшими следует считать: гравий, мелкий щебень, речную гальку, мелкораздробленный шлак и крупнозернистый чистый песок. Перед укладкой все эти материалы должны быть пропущены через грохоты для отсева чрезмерно мелких частиц, а щебень, галька и шлак еще и через грохоты для отсева чрезмерно крупных кусков. При наличии в гравии, а особенно в песке, примеси илистых, глинистых или пылевидных частиц применяется предварительная промывка их водой. Следует также отметить, что щебенистое заполнение дренажей не должно

растворяться под действием воды, а потому меловые и гипсоносные породы для этой цели непригодны.

Чтобы защитить дренаж от засорения, следует сверх щебня класть дерпины корнями вверх, а затем уже зарывать траншеи местным грунтом. Не следует допускать устройства над дренажной линией открытых водосборных канав, так как иначе благодаря просачиванию отводимых ими вод будет происходить засорение дренажей.

При устройстве дренажей в плывучих грунтах большей частью не представляется возможным обойтись без применения крепей, а иногда даже и шпунтов, причем в процессе выемки потребуется водоотлив.

Чтобы не разжижать нижележащий слой грунта, здесь требуется предотвратить проникновение воды в дно дренажа, что достигается выкладкой дна бетоном или кирпичом.

3. Трубчатые дренажи

Трубчатые дренажи отличаются от описанных выше закрытых дренажей только тем, что внизу дренажной траншеи, заполненной дренирующим материалом, для свободного стока воды укладываются трубы. Здесь назначение дренирующего заполнения ограничивается сбором воды из прилегающего грунта, тогда как в дренаже со сплошным заполнением (без труб) оно служит и для пропуска воды.

Это разделение функций между отдельными элементами трубчатого дренажа составляет огромное его достоинство, так как позволяет придавать ему малый уклон (до 0,005—0,002), обеспечивает непрерывный сток воде, предупреждает засорение весьма ответственного элемента дренажа — его сточной части и чрезвычайно облегчает осмотр и прочистку последней. Благодаря этим достоинствам трубчатым дренажам возможно придавать значительную длину.

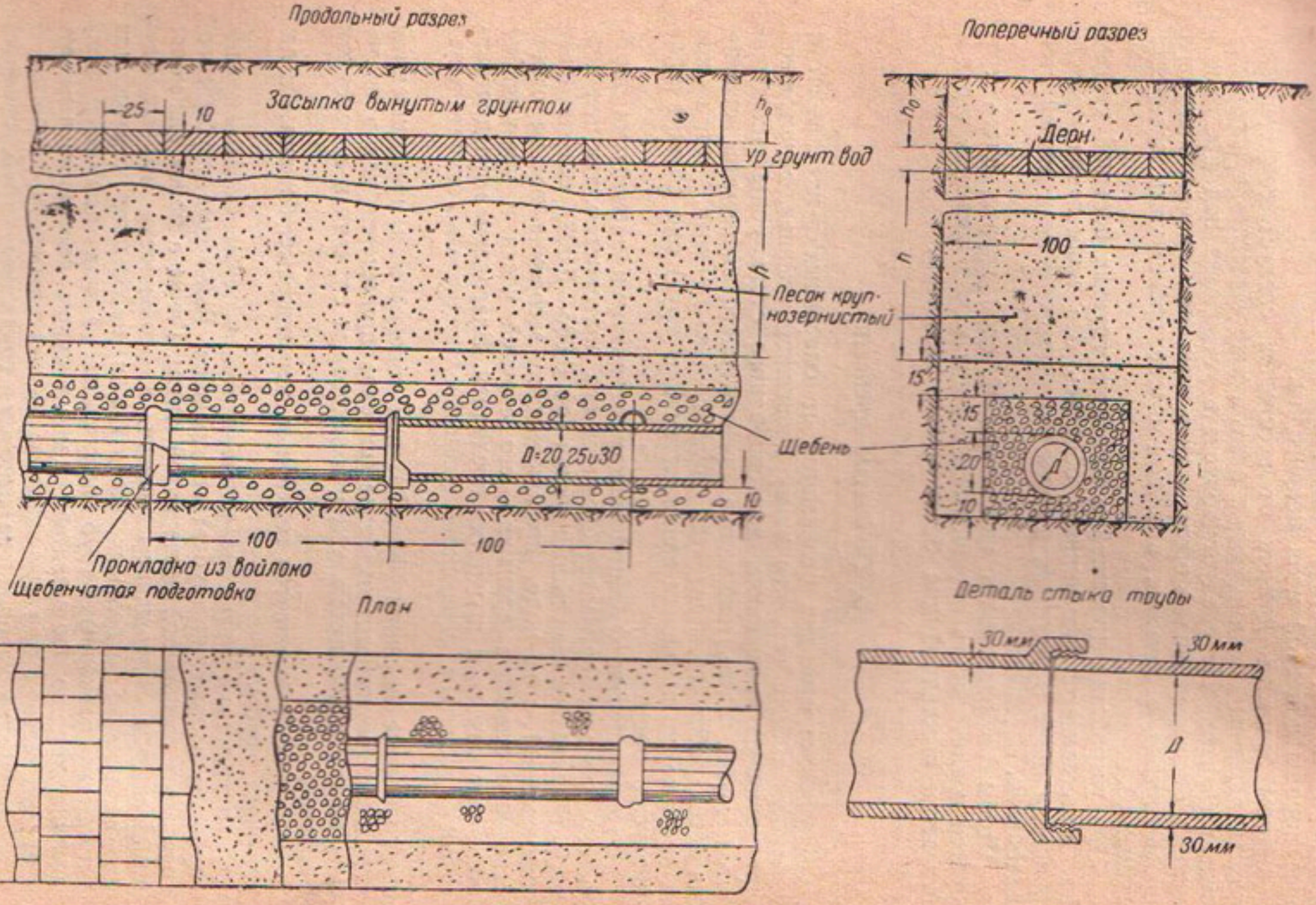
Трубчатые дренажи (фиг. 24) при городском и промышленном строительстве находят наиболее широкое применение как в систематическом и кольцевом, так и в некоторых случаях и в головном дренажах.

При этом применяются гончарные, керамиковые, бетонные и деревянные трубы.

Гончарные трубы применяются главным образом при неглубоком заложении трубчатого дренажа. Гончарные трубы изготовляются из обычной песчанистой глины. Глина с более или менее значительным содержанием извести, в особенности при вкраплении ее в виде отдельных, хотя бы и небольших комков, для устройства гончарных труб непригодна. Глина для этой цели должна хорошо формоваться даже в сухом состоянии и давать твердый черепок при сравнительно низкой температуре обжига.

Технические условия на приемку гончарных труб сводятся к следующему:

а) хорошие трубы характеризуются темнокрасным цветом; блед-



Фиг. 24. Трубчатый дренаж

нокрасный цвет служит признаком слабого обжига, при котором получаются непрочные трубы;

б) нужно следить за правильным обрезом торцов труб и их перпендикулярностью к осям последних;

в) внутренняя поверхность труб должна быть гладкой;

г) наличие трещин и неровно обрезанных концов должно служить основанием для браковки труб.

На гончарные трубы, выпускаемые нашей промышленностью, стандарта пока не установлено. По американскому же стандарту наиболее распространенными являются следующие размеры гончарных труб (табл. 1).

Таблица 1

Размеры гончарных труб

Диаметр в *см*	10	13	16	20	25	30	38
Длина труб в *см*	30	30	30	45	45	60	60
Толщина труб в *см*	1,2	1,4	1,6	2,0	2,5	3,0	3,8
Вес 100 *пог. м* труб в *т* . . .	1,1	1,75	3,3	3,8	4,6	5,7	7,1

Гончарные трубы работают обычно своими стыками, но при относительно крупных (свыше 15 *см*) диаметрах должны быть снабжены специальными дырчатыми отверстиями.

По условиям прочистки дренажа во время эксплоатации применение гончарных труб диаметром менее 10 *см* в городском и промышленном строительстве не может быть допущено.

Керамиковые трубы при дренировании городских и промышленных площадок находят наиболее широкое применение, так как выдерживают значительную глубину заложения. Эти трубы изготовляются из специальных керамических глин и подвергаются сильному обжигу и медленному охлаждению; чем больше эти трубы спекаются при обжиге, тем большую приобретают они твердость и сопротивление сжатию и тем меньше подвергаются износу.

Поверхность труб покрывается глазурью. В практике дренирования городских и промышленных площадок применяются обычно керамиковые трубы диаметром от 125 до 200—300 *мм*, снабженные специальными дырчатыми отверстиями, лучше в форме щелей.

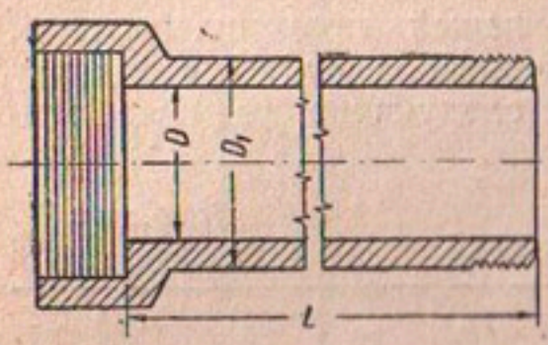
Керамиковые трубы отличаются простотой укладки; соединение их в стыках обычно делается с помощью муфт, насаживаемых неплотно, чтобы принимать воду из грунта. В некоторых случаях при осушении мелкозернистых грунтов во избежание суффозионных выносов рекомендуется муфты керамиковых труб частично сбивать, а соединения на стыках прокладывать войлоком (фиг. 24). В нижних частях трубчатого дренажа там, где он выполняет водоотводящую роль, насадка муфт на стыках должна делаться плотно с проконопаткой.

Размеры керамиковых труб (фиг. 25), изготовляемых нашей промышленностью, приводим в табл. 2.

Бетонные трубы, несмотря на простоту их изготовления, применяются сравнительно редко, так как при наличии агрессивных вод довольно быстро изнашиваются и даже разрушаются. Для придания бетону большей прочности при изготовлении этих труб применяются стойкие сорта цементов; кроме того внутренняя поверхность труб покрывается специальными обмазками, употребляемыми при гидроизоляционных работах.

Таблица 2

Внутренний диаметр D в *мм*	Толщина трубы в *мм*	Наружный диаметр D_1 в *мм*	Длина звена трубы l в *мм*
125	18	161	800—1 000
150	19	188	800—1 000
200	22	244	800—1 000
250	25	300	800—1 000
300	28	356	800—1 000
350	30	410	800—1 000
400	32	464	800
450	35	520	800
500	38	576	800
550	40	630	800
600	43	686	800

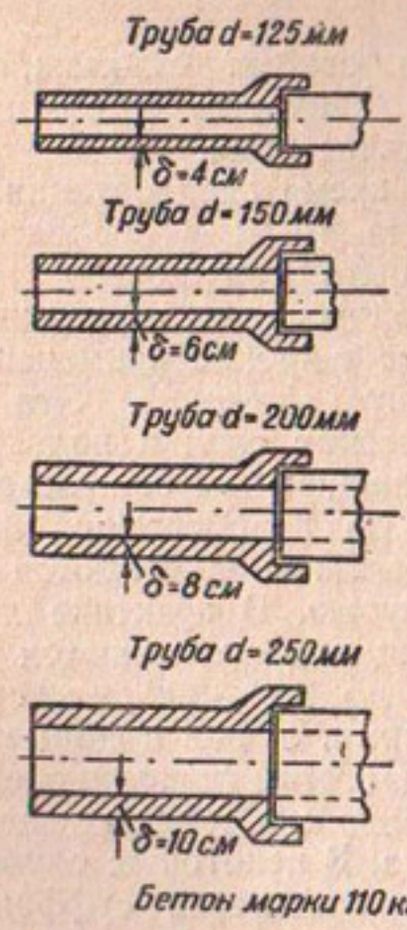


Фиг. 25. Керамиковые дренажные трубы

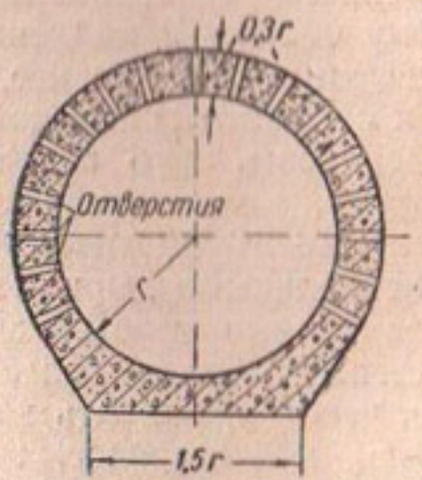
По своим размерам и форме бетонные трубы могут быть:

а) круглые диаметром в свету от 7,5 до 30 *см* (фиг. 26);

б) круглые с плоским основанием при диаметре в свету от 35 до 100 *см* (фиг. 27);



Фиг. 26. Бетонные дренажные трубы малых размеров



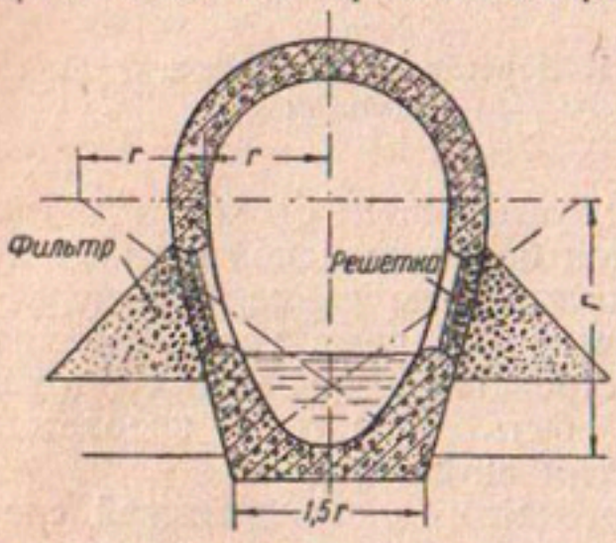
Фиг. 27. Бетонные дренажные трубы с плоским основанием

в) овоидальные с плоским основанием, обычно более крупных размеров (фиг. 28).

Для приема воды из окружающего грунта бетонные трубы

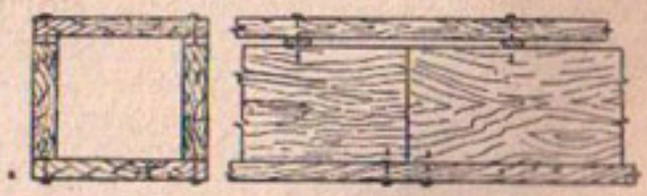
в верхней своей части снабжаются дырчатыми отверстиями, располагаемыми по поверхности трубы в шахматном порядке через 20—50 *см*. Образование подобного рода отверстий в трубе достигается оставлением при набивке бетона в формы в соответствующих местах деревянных пробок сечением 3 × 3 *см*. В этих местах при укладке труб в пробках высверливаются дыры диаметром около 1 *см*. Укладка бетонных труб производится впритык с оставлением зазоров в 1—2 *мм*. В последнее время в подземном хозяйстве городов и промышленных предприятий начинают применяться также и асбоцементные трубы.

Эти трубы могут в отдельных случаях, повидимому, найти себе применение и в дренажной практике.



Фиг. 28. Бетонные дренажные трубы овоидальной формы

Деревянные трубы. Деревянные трубы для дренажей при городском и промышленном строительстве применяются сравнительно редко (главным образом для временных дренажей),

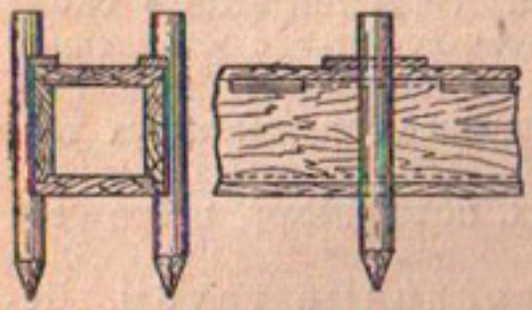


Фиг. 29. Деревянные дренажные трубы из досок на гвоздях

так как в минеральных грунтах они довольно быстро сгнивают. В торфяных же грунтах деревянные трубы могут сохраняться десятки лет, так как торф является хорошим антисептиком.

Деревянные трубы применяются квадратного сечения и часто делаются из четырех досок так, что размер их не превышает 15 × × 15 *см* в свету. Сборка таких труб производится на краю траншей в виде непрерывной целой трубы, что достигается укладкой досок отдельных граней вразбежку; при этом для придания трубе большей жесткости необходимо следить за тем, чтобы стыки каждой грани заходили на длину, равную не менее четверти доски. Между верхними кромками боковых досок и верхней доски трубы должны оставляться продольные щели (фиг. 29), имеющие своим назначением обеспечить поступление в трубу воды из окружающего грунта. Эти щели шириной около 4 *мм* образуются путем подкладывания обрезков досок под верхнюю крышку доски в местах сшивки гвоздями. Непрерывность деревянных труб описываемой конструкции делает их более устойчивыми в отношении деформации при осадке. Однако быстрое ржавление гвоздей, при помощи которых производится сшивка труб, приводит к расстройству последних. Во избежание этого часто применяется конструкция деревянных труб без применения гвоздей, показанная на фиг. 30. Соединение отдельных граней трубы в этой конструкции дости-

гается применением хомутов с клиньями. При больших сечениях деревянных труб последние выполняются из пластин (фиг. 31). Конструкция описываемой трубы состоит из трех щитов, обхватываемых хомутами. По верху трубы поперек ее укладываются коротыши также из пластин или накатника. Продольная жесткость



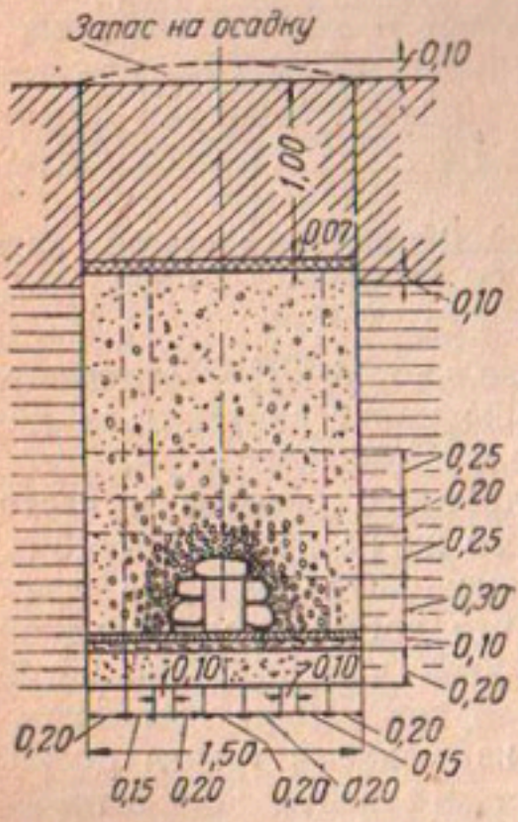
Фиг. 30. Деревянные дренажные трубы из досок на хомутах



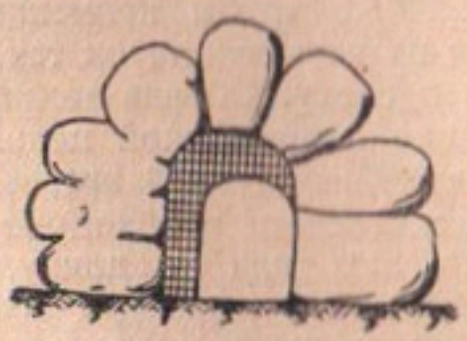
Фиг. 31. Деревянные дренажные трубы из пластин

трубы и в этом случае достигается установкой стыков пластин вразбежку. Эта конструкция является более солидной и испытанной, может допускать довольно значительные размеры поперечного сечения. Дерево, употребляемое для устройства дренажных труб, должно быть пропитано креозотом или другим антисептиком.

К трубчатому типу дренажей следует также отнести применяемые иногда трубы из сухой кладки, отличающиеся простотой и удобством эксплоатации, но требующие больше времени и места при укладке, нежели дренажные трубы. Такие трубы имеют обычно прямоугольное сечение разме-



Фиг. 32. Дренажные трубы из каменной кладки прямоугольного сечения



Фиг. 33. Дренажные трубы из каменной кладки сводчатой формы

ром от 0,20 × 0,20 *м* до 0,40 × 0,40 *м* (фиг. 32) или сводчатое от 0,30 до 0,50 *м* (фиг. 33).

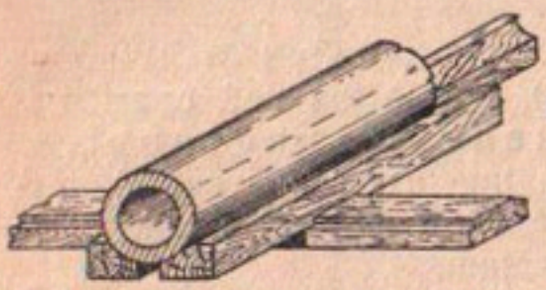
Поперечное сечение дренирующего заполнения дренажа при любом типе труб может быть крайне разнообразным. Указания, сделанные нами выше в отношении подбора фильтрующего материала, должны быть отнесены к этому типу дренажа еще в большей мере.

Дренирующее заполнение должно превышать верхнюю границу водоносных слоев на 0,1—0,2 *м* и сверху перекрываться дерном корнями вверх либо рядом тонких досок или горбылей; остальная часть засыпается вынутым местным грунтом с плотной утрамбовкой.

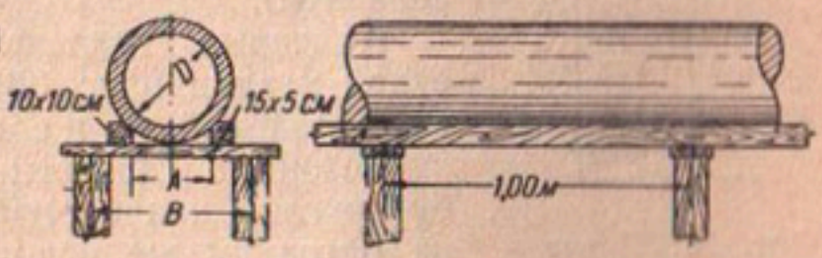
Дренажные трубы укладываются в траншеи на специальное основание.

Основанием для дренажных труб обычно служат стеллажи или продольные деревянные подставки, конструкции и размеры которых определяются характером грунта и весом труб. Деревянные стеллажи во избежание гниения пропитываются креозотом или другими антисептиками; при отсутствии таковых может быть допущена тщательная их осмолка.

Для сравнительно плотных грунтов при укладке легких дренажных труб применяются стеллажи, состоящие из двух деревян-



Фиг. 34. Брусчатые стеллажи для дрен



Фиг. 35. Брусчатые стеллажи на сваях

ных фасонных брусков (фиг. 34), соединяемых между собой через каждые 1—2 *м* поперечными шпонками.

При работе в слабых разжиженных грунтах применяются стеллажи на коротких сваях (фиг. 35), забиваемых в траншее попарно через каждые 1,0 *м* на глубину не менее 1,0 *м* и схватываемых вверху насадками. Дренажные трубы в этом случае укладываются на бруски, пришиваемые к насадкам с помощью дубовых нагелей.

При укладке тяжелых дренажных труб в слабых грунтах в некоторых случаях применяют основания из тощего бетона.

4. Галлерейные дренажи

Галлерейные дренажи представляют собой деревянную, каменную или бетонную галлерею, закрытую сверху, в которой человек может проползти или стоять, хотя бы несколько согнувшись. Очевидно, что трубчатые дренажи из бетонных труб большего сечения, описанные нами выше, являются переходной ступенью от трубчатых дренажей к галлерейным.

Галлерейные дренажи в практике городского и промышленного строительства выполняют назначение головных или береговых дрен. При других дренажных системах этот тип дренажей не применяется вовсе (систематический дренаж) или же применяется только в редких случаях (кольцевой дренаж).

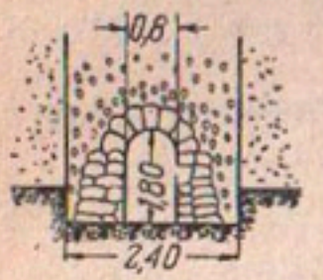
Если галлерея устраивается открытым способом, то сооружение и будет собственно «дренажной галлереей». Если же она устраи-

вается туннельным способом, то называется «дренажной штольней».

Последние могут найти себе самостоятельное применение лишь на отдельных участках дренажной системы, где по условиям застройки или уличного движения невозможна проходка галлереи открытым способом. Более широкое применение дренажные штольни могут иметь при устройстве дренажей комбинированного типа (см. ниже гл. XVIII).

Галлерейные дренажи отличаются высокой стоимостью по сравнению с описанными выше типами дренажей, что значительно ограничивает область их применения.

Дренажные галлереи представляют собой траншею с раскрепленными обычно на время производства работ стенками, в нижней части которой воздвигается галлерея из каменной кладки или бетона (иногда с армированием).



Фиг. 36. Дренажная галлерея из каменной кладки

Каменные галлереи возводятся обычно из сухой кладки (фиг. 36), кроме нижней своей части, делаемой на цементном растворе.

Бетонные галлереи представляют собой трубу круглой или овоидальной формы, уложенную на бетонном же основании.

При слабых грунтах основанием для каменной или бетонной галлереи служат свайные ростверки.

Для образования в кладке на растворе или в бетоне дренажных отверстий укладываются деревянные конические пробки, обернутые промасленной бумагой, которые вынимаются по окончании сооружения.

В некоторых случаях при наличии сильно агрессивных вод могут найти себе известное применение и галлереи из кирпичной кладки.

В этих условиях для бетонных галлерей должны применяться устойчивые сорта цемента.

Деревянные галлереи при городском и промышленном строительстве (фиг. 37) применяются довольно редко по причинам, изложенным выше.

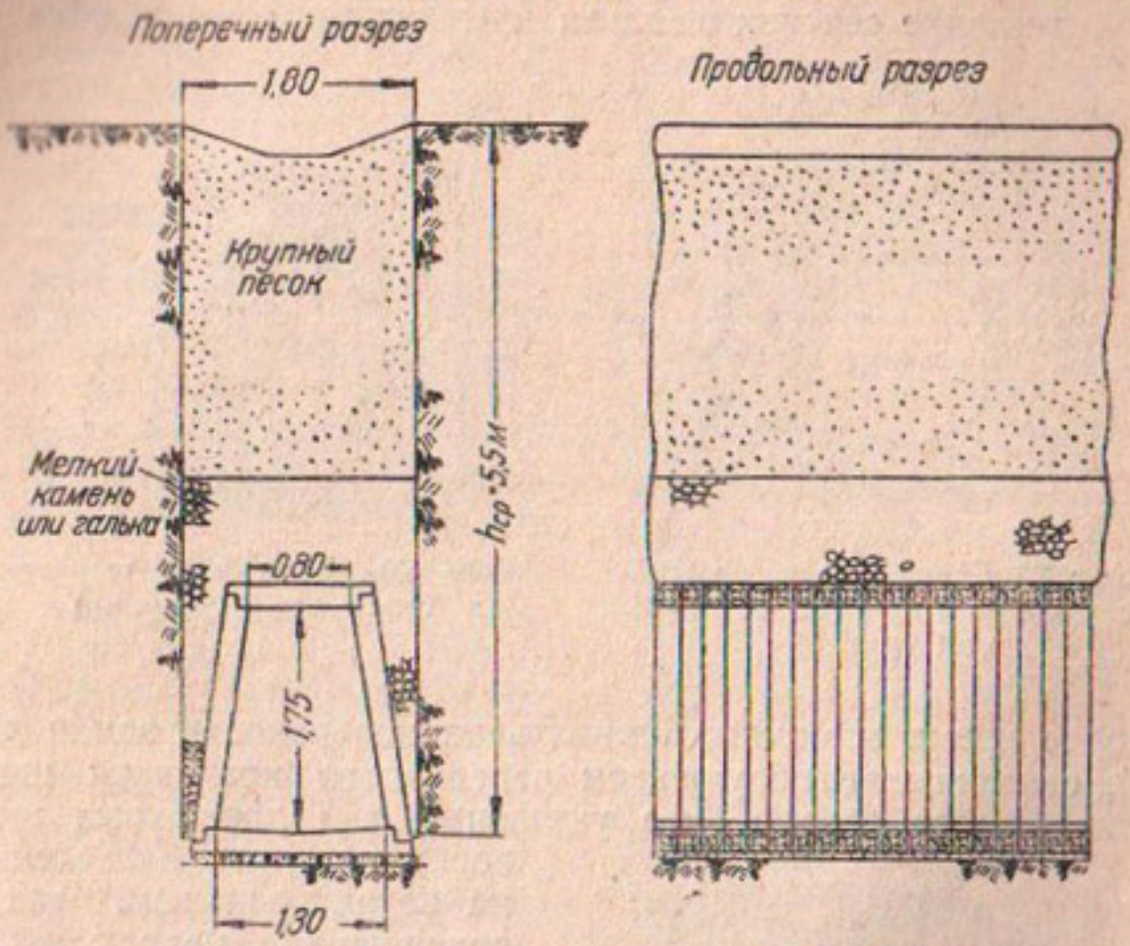
Независимо от того или иного конструктивного типа галлереи должно быть предусмотрено устройство фильтрующего заполнения. Принцип подбора фильтрующих засыпок остается и для этого дренажа тем же (см. стр. 64), причем в этом случае особо рекомендуется применение многослойных фильтров.

При устройстве галлерей для головных дренажей в целях более полного перехвата грунтового потока и недопущения пропуска его на защищаемую территорию в некоторых случаях применяется устройство с низовой стороны траншеи (сбоку) глиняного экрана (фиг. 38).

Дренажные штольни. Особенностью дренажных штолен является отсутствие фильтрующего заполнения вне пределов ее крепления; в силу этого сама штольня может дренировать только

тот водоносный слой, в котором она проходит или же с которым она соприкасается.

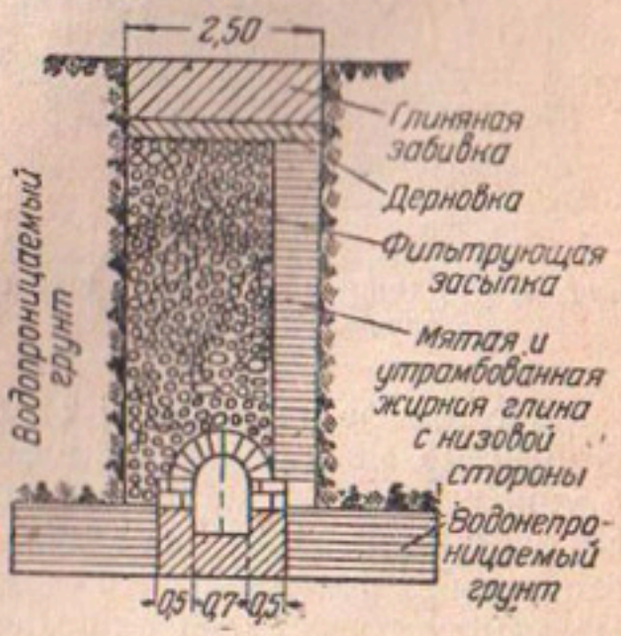
Проходка штолен в мягких малоустойчивых породах требует первоначального (обычно деревянного) крепления. В дальнейшем



Фиг. 37. Деревянная дренажная галлерея

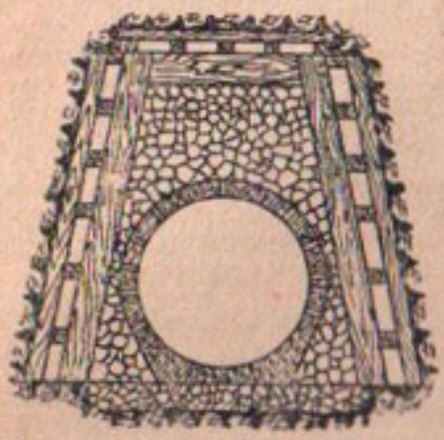
под защитой временного деревянного крепления устраивается постоянная обделка из каменной кладки или бетона (иногда армированного). В некоторых случаях деревянное крепление никакими другими обделками не заменяется и сохраняется на все время эксплоатации дренажа. Очевидно, что постоянное деревянное крепление требует более толстого и главное пропитанного леса с тем, чтобы оно могло воспринимать давление грунта в течение довольно длительного времени. Временное крепление после возведения постоянной обделки галлереи утрачивает всякое значение и обычно предоставляется естественному разрушению, а потому к нему предъявляются сравнительно невысокие требования.

В некоторых случаях обычно когда сооружение рассчитано на сравнительно короткий срок службы, устройство постоянной об-



Фиг. 38. Дренажная галлерея с экраном

делки не предусматривается, а все внутреннее сечение ее заполняется дренирующим материалом, подобранным по вышеуказанному принципу, часто с укладкой по дну штольни дренажной трубы. Следует отметить, что в этом случае, даже при самой тщательной закладке сечения штольни дренирующим материалом, через

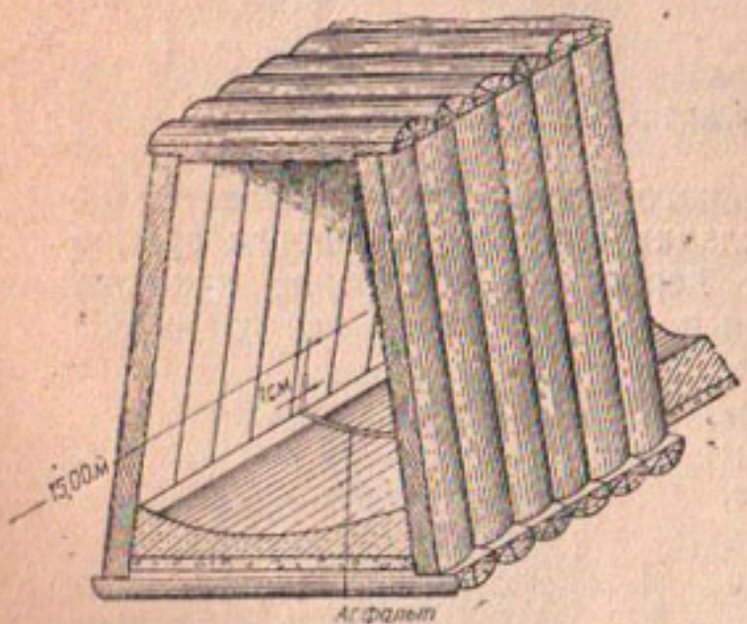


Фиг. 39. Дренажная штольня с обделкой в виде бетонной трубы

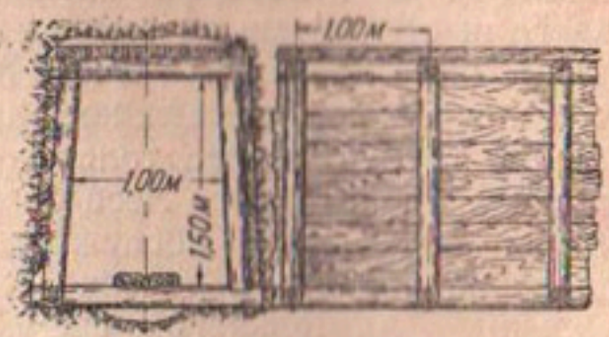


Фиг. 40. Дренажная штольня с каменной обделкой

некоторое время возможно ожидать на поверхности земли деформаций, связанных с обрушением деревянного крепления при его гниении. Нужно сказать, что указанный тип дренажных штолен, вообще говоря, является весьма нерациональным, так как совершенно недоступен для осмотра и ремонта, а потому поддержание такой дрены в действующем состоянии весьма затруднительно.



Фиг. 41. Сплошное крепление штольни вязаными рамами



Фиг. 42. Временное крепление штольни облегченного типа

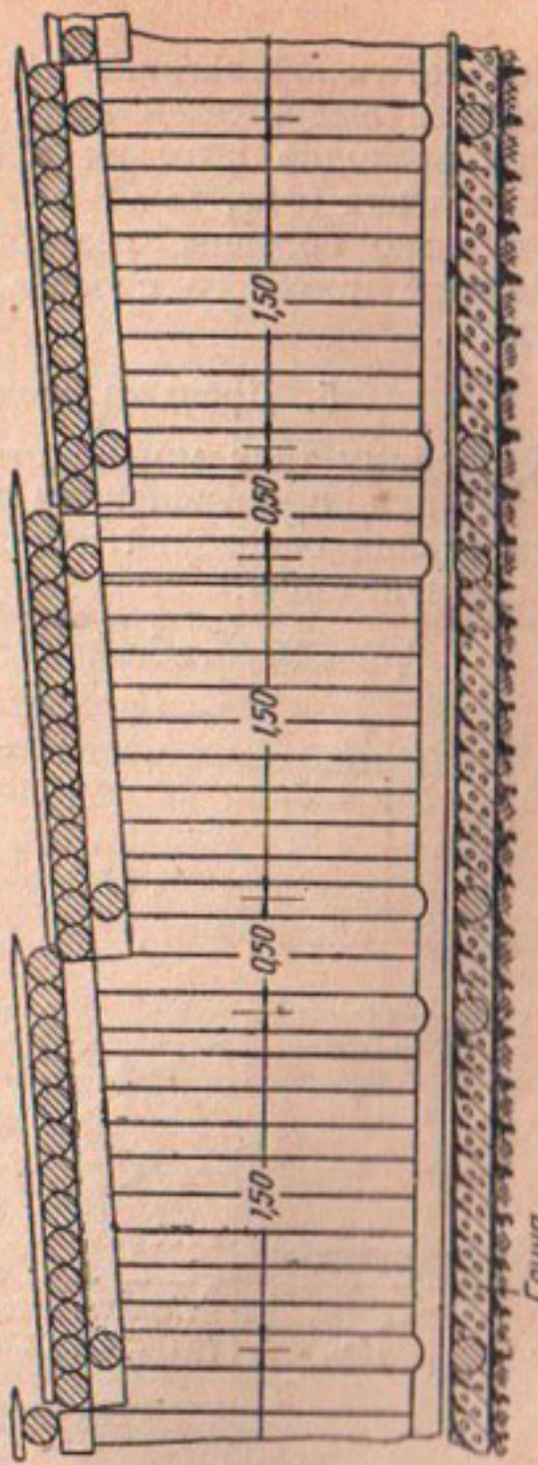
Дренажные штольни с свободным сечением представляют несомненные преимущества, главнейшее из которых состоит в доступности их для осмотра, прочистки и ремонта. Большими недостатками штолен с постоянным деревянным креплением являются отсутствие фильтрующего заполнения, предохраняющего вынос мельчайших частиц из окружающего штольню грунта, а также необходимость довольно частого ремонта и даже смены деревянного крепления.

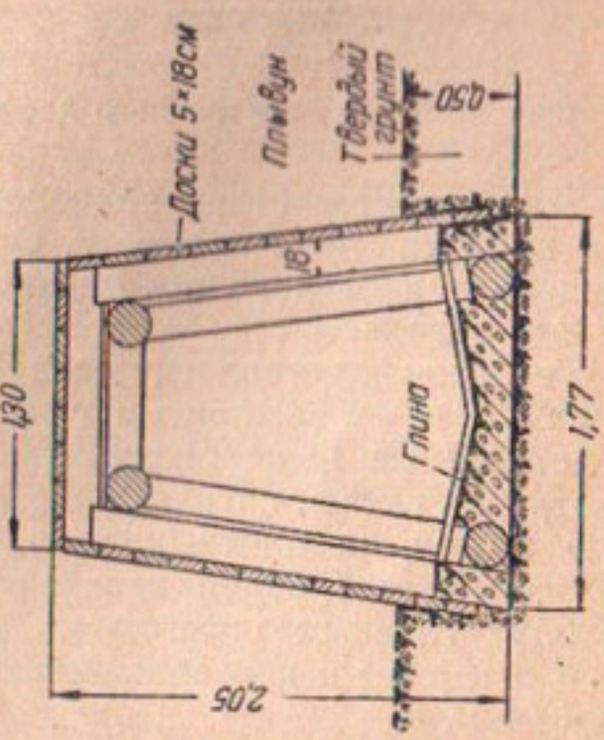
Более совершенным типом дренажной галлереи является следующая конструкция. Штольня с временным креплением проходится несколько большим сечением с таким расчетом, чтобы в нем смогли разместиться водоотводная галлерея и фильтрующее заполнение вокруг нее.

Конструкции водоотводных галлерей могут быть весьма разнообразными, начиная от бетонных или железобетонных труб (фиг. 39) и кончая галлереями из каменной кладки (фиг. 40). В общем типы постоянных обделок дренажных штолен довольно близки к описанным выше типам, применяемым при устройстве дренажных галлерей.

Постоянные деревянные штольни со свободным сечением обычно устраиваются со сплошным креплением (фиг. 41). Наиболее простой тип сплошного крепления состоит из прислоненных друг к другу брусчатых или пластинчатых рам, врубленных в углах в полдерева или в лапу. Часто крепление состоит лишь из двух боковых стоек и верхнего переклада: боковые стойки упираются в продольные брусья, лежащие по одному с каждой стороны штольни; брусья расперты между собой деревянными распорками. Следует отметить, что последний способ крепления может оказаться непригодным при сильном боковом давлении, которому полная замкнутая рама сопротивляется несравненно лучше.

Временное крепление дренажных штолен, довольно часто применяемое в нашей практике, показано на фиг. 42. При постановке такого крепления короткие продольные доски или пластины загоняются в грунт горизонтально и составляют непрерывную обшивку штольни. Работа состоит в





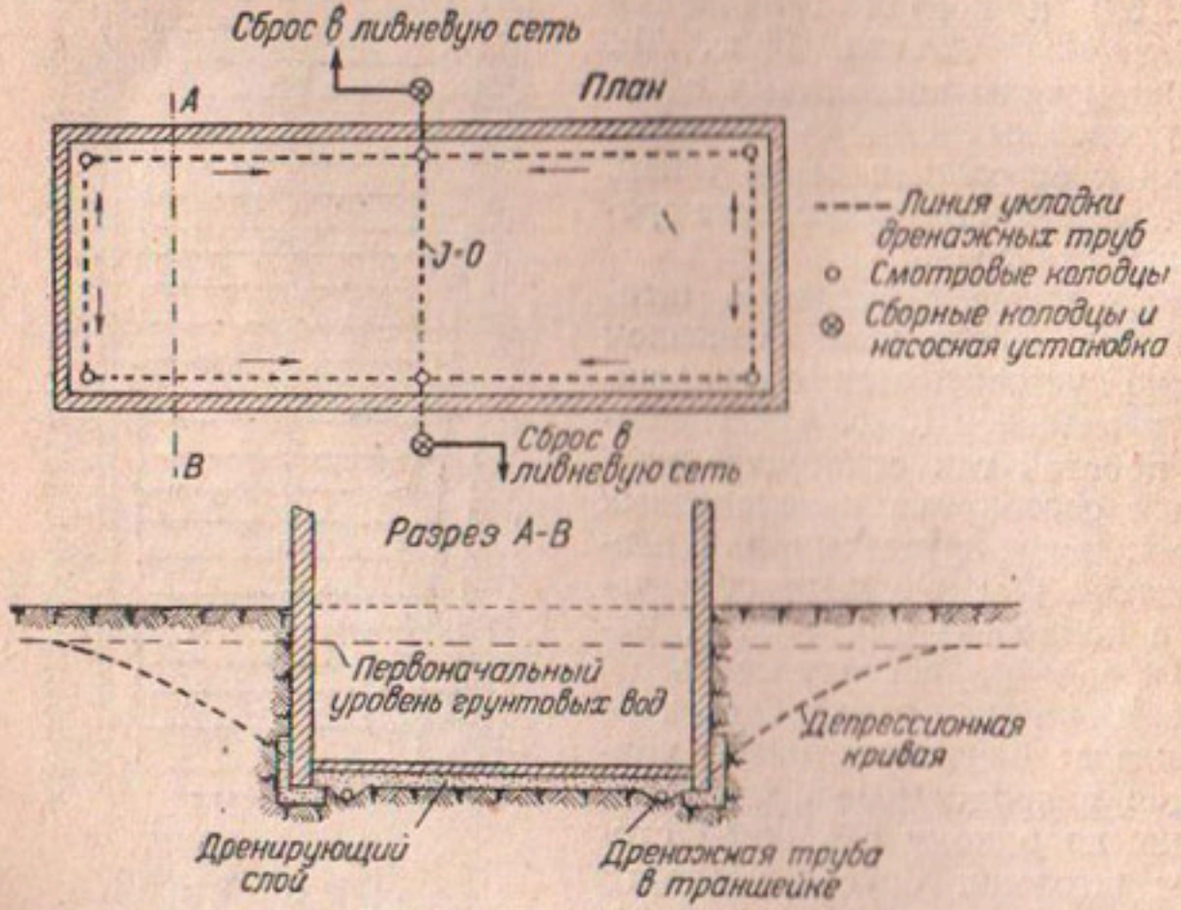
Фиг. 43. Временное крепление штольни в плывунах

последовательной загонке в грунт рам, постановке между ними распорок и выдвижении вперед досок обшивки.

При проходке штольни в плывунах применяется специальный тип крепления (фиг. 43). В особо тяжелых условиях проходки, при сравнительно больших размерах штольни, может потребоваться применение щитового способа, широко используемого в туннельном деле.

5. Дренажи спецкального назначения

К особому типу можно отнести «пластовые» дренажи, применяемые при промышленном и гражданском строительстве для дренирования оснований подвальных помещений и путей подземной коммуникации.



Фиг. 44. Схема внутреннего дренирования заглубленных сооружений

Для характеристики подобного типа дренажей дадим их описание на конкретных примерах. Опишем случай дренирования заглубленного подвального помещения при осуществлении строительства одного завода.

Геолого-гидрогеологическая обстановка в описываемом случае такова. Сверху залегают суглинки и супеси мощностью около 12 *м*, подстилаемые ниже песками мощностью около 6 *м*, а еще ниже плотными глинами; грунтовые воды насыщают почти всю указанную толщу до плотных глин, имея общий статический уровень, причем питание водой верхней толщи (суглинков и супесей) происходит главным образом из водоносного горизонта, приуроченного к пескам и непосредственно связанного с близрасположенным водоемом.

Применение в этом случае кольцевого дренажа не могло дать надлежащего эффекта ввиду наличия подпитывания толщи суглинков снизу; вскрытие же дренажем песков было связано с устройством очень глубокой траншеи. Поэтому борьба с грунтовыми водами была осуществлена путем укладки в основании пола подвального помещения при рытье котлована фильтрующего слоя из чистого крупнозернистого песка толщиной 0,3—0,5 *м*, выполняющего роль дрены (водопроницаемость его во много раз больше, чем у водонасыщенной толщи). Вдоль стен подвала с внутренней стороны с небольшим заглублением в грунт были уложены дренажные трубы, имеющие уклон в сторону водоприемника (фиг. 44). Предназначались они для принятия воды из фильтрующей засыпки и отвода их к сборному колодцу, из которого осуществлялась перекачка в ливневую сеть завода. Для предохранения от влажности стен фильтрующая засыпка укладывалась под подошвой их фундамента, а также на некоторую высоту и с внешней стороны стен подвала и таким образом была гидравлически связана со всей дренажной системой. Этот способ дренирования представляет значительный практический интерес, так как отличается простотой выполнения и относительной дешевизной, вполне обеспечивая надлежащий эффект.

ГЛАВА X

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

1. Общие замечания

Под гидрогеологическими расчетами дренажных сооружений понимаются расчеты, связанные: а) с определением их дебита, б) с построением депрессионных кривых уровня грунтовых вод, пониженного в результате действия дренажа, и в) с выбором расстояний между дренами.

Гидрогеологические расчеты всех систем горизонтальных дренажей, применяемых при дренировании городских и промышленных площадок, можно свести к следующим основным схемам:

а) система горизонтальных дрен, работающих в условиях бассейна грунтовых вод и расположенных на равном расстоянии друг от друга;

б) одиночная дрена или дренажная траншея, работающая в условиях потока грунтовых вод (головной дренаж) или бассейна (кольцевой дренаж);

в) одиночная горизонтальная дрена, работающая в условиях потока грунтовых вод и расположенная вблизи водоема.

Кроме того в зависимости от условий заложения дрен по отношению к водоупору различают: дрены „совершенные“ („полные“), доходящие своим основанием до водоупора или лежащие на нем, и дрены „несовершенные“ („неполные“) или, как их часто называют, „подвешенные“, не достигающие своим основанием водоупора.

В горизонтальных дренажах следует также различать дрены незатопленные и затопленные (с нависанием). Затопление получается благодаря недостаточной водоотводящей способности дрены или, что чаще всего, недостаточной водозахватной ее способности. При условии обсыпки дрен хорошо фильтрующим материалом водозахватная способность их обычно настолько велика, что не может служить причиной затопления дрены.

Нависание над дреной или, иначе, остаточный напор над ней, обусловливающий затопление дрены, следует отличать от разрыва уровней воды в дрене и в грунте, т. е. явления так называемого „прыжка", который образуется независимо от пропускной или водозахватной способности дрены. „Прыжок" имеет особо большое значение в головных и береговых дренах и отчасти в кольцевых. При расчетах же систематического дренажа „прыжком" ввиду его малости возможно пренебрегать.

2. Расчет систематического дренажа

Расчет системы горизонтальных дрен сводится в основном к определению расстояний между дренами и подсчету их дебита.

Вопросу определения расстояний между дренами посвящена весьма обширная литература, содержащая многочисленные формулы и нормы, полученные как эмпирическим, так и аналитическим путем. Однако на сегодняшний день достаточно удовлетворительного решения указанного вопроса мы не имеем. Трудность разрешения его объясняется главным образом слабым развитием самой теории движения грунтовых вод, в особенности в условиях неустановившегося режима. Вся эта литература возникла главным образом для удовлетворения требований сельского хозяйства, а потому носит специфический оттенок. Вопрос о выборе расстояний между дренами при дренировании городских и промышленных территорий в существующей литературе почти совсем не освещен. В практике же проектирования систематического дренажа для указанных целей обычно применяются методы расчета, заимствованные из сельскохозяйственной литературы и практики.

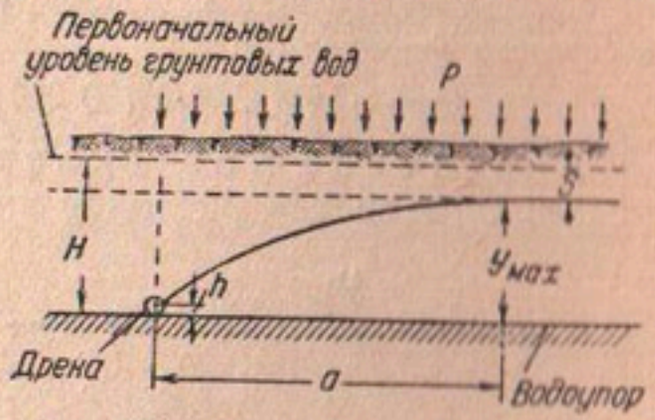
Из всех существующих весьма многочисленных формул различных авторов для определения междудренных расстояний приведем только формулу проф. Ротэ, выведенную им для условий заложения дрены на водоупоре, и формулу акад. А. Н. Костякова для дрен, заложенных в самом водоносном грунте, при глубоком залегании водоупора.

Обе эти формулы выведены из условия, что количество воды, притекающей к дрене, равно количеству атмосферных осадков, просочившихся в грунт на междудренном пространстве. Другие формулы (Эркина, Ивицкого, Козлова и др.) исходят из условий неустановившегося движения грунтовых вод, отличаются значительной громоздкостью и содержат ряд весьма неопределенных, в особенности для рассматриваемых целей, расчетных констант. Потому в отношении обоснованности получаемых результатов

эти формулы не имеют никаких преимуществ перед более простыми формулами Ротэ и Костякова.

Следует отметить, что в опубликованных в последнее время работах В. И. Аравина[1] и В. В. Ведерникова[2] даются более точные (гидромеханические) решения для расчета систематического дренажа, но для практических целей эти решения не могут быть пока рекомендованы.

Уравнения Ротэ. Проф. Ротэ, исходя из того, что количество воды, поступающее в дрену на единицу ее длины, должно быть равно количеству воды, просачивающейся с поверхности земли в пределах междудренного пространства, дает уравнение депрессионной кривой между двумя соседними дренами, уложенными на водоупоре (фиг. 45). Воспользовавшись уравнением Ротэ, можно получить формулу для определения величины максимального понижения уровня грунтовых вод в зависимости от расстояний между дренами:



Фиг. 45. Схема притока воды к дрене, заложенной на водоупоре

$$y_{max} = \sqrt{\frac{p}{k} a^2 + h^2}, \qquad (1)$$

где y_{max} — максимальная высота пониженного уровня грунтовых вод над уровнем воды в дрене;

k — коэфициент фильтрации;

p — интенсивность просачивания атмосферных осадков в грунт, выраженная толщиной слоя воды в единицу времени (в тех же единицах, что и коэфициент фильтрации). Эта величина принимается для расчета максимально возможной для конкретных гидрогеологических условий дренируемой площадки и определяется опытным путем;

a — половина расстояния между дренами;

h — глубина наполнения дрены водой.

Так как величина h обычно весьма мала (в особенности при систематическом дренаже), то ею можно пренебречь. Решив уравнение (1) относительно a и заменив в нем $2a = L$ и $y_{max} = H - S$ (где H — первоначальная высота уровня грунтовых вод и S — требуемое понижение этого уровня в междудренном пространстве), приведем его к следующему виду:

$$L = 2a = 2(H - S)\sqrt{\frac{k}{p}}. \qquad (2)$$

---

[1] Аравин В. И., Приток грунтовых вод к водосборам, Известия НИИГ № 18, 1936.

[2] Ведерников В. В., Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа, 1939.

Дебит дрены на 1 *пог. м* ее длины составит:

$$q = pL \tag{3}$$

и всей дрены

$$Q = q \cdot l = p \cdot L \cdot l. \tag{3а}$$

Пример. Требуется найти расстояние между дренами и расход дрены при заданных:

$S = 1{,}0$ *м*; $H = 2{,}0$ *м*; $k = 5$ *м/сутки*;
$p = 0{,}005$ *м/сутки*; $l =$ длина дрены $= 200$ *м*.

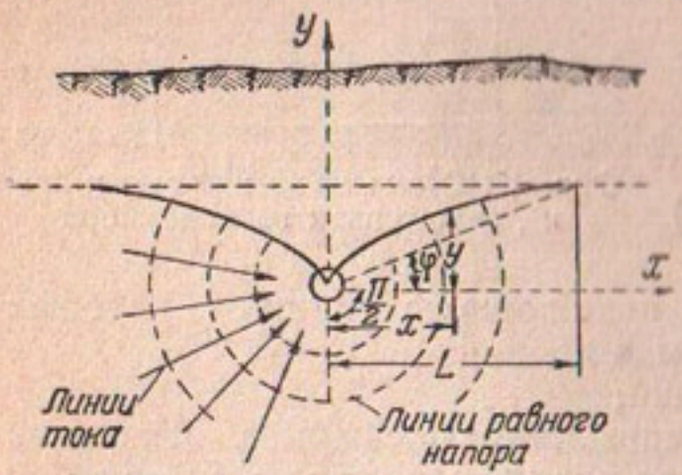
По формуле (2):

$$L = 2(2{,}0 - 1{,}0) \cdot \sqrt{\frac{5}{0{,}005}} = 63{,}24 \text{ м}$$

и согласно формуле (3):

$$Q = q \cdot l = (0{,}005 \cdot 63{,}24) \cdot 200 = 63{,}40 \text{ м}^3\text{/сутки} = 0{,}73 \text{ л/сек}.$$

Уравнение Костякова. Акад. А. Н. Костяков, исходя из условий равенства расходов просачивающихся в грунт атмосферных осадков и подсчитанного умножением площади живого сечения грунтового потока на гидравлический градиент, выводит уравнение притока воды к дрене, заложенной в самом водоносном слое. Предполагая глубокое залегание водоупора, он считает, что поступление воды в дрену происходит по всему смоченному периметру ее, по концентрическим поверхностям равного напора, уходящим в глубину и принимаемым за окружности (фиг. 46). В соответствии с этим полученное акад. Костяковым уравнение имеет следующий вид:



Фиг. 46. Схема притока воды к дрене при глубоком залегании водоупора

$$q = p\left(\frac{L}{2} - x\right) = \alpha x k \frac{dy}{dx}, \tag{4}$$

где p и L — по предыдущему;
α — мера длины дуги.

Интегрируя далее это уравнение в пределах от $x = a$ до $x = x$ и от $y = 0$ до $y = y$ (где a — половина ширины дренажной траншеи), автор получает следующее выражение:

$$p\frac{L}{2}\ln\frac{x}{a} - p(x - a) = k\alpha y \tag{5}$$

или

$$q = \ln\frac{x}{a} = k\alpha y. \tag{5а}$$

Последнее уравнение является основным уравнением акад. Костякова для притока воды к дренам систематического дренажа при глубоком залегании водоупора.

При притоке воды к дрене с двух сторон $\alpha = \pi$, тогда выражение для притока воды к дрене получит следующий вид:

$$q = \frac{\pi k h}{\ln \frac{L}{d}}, \qquad (7)$$

где

$$q = \frac{pL}{2};$$

h — глубина погружения дрены в водоносный слой;
d — диаметр дрены ($d = 2a$).

Формула акад. Костякова нашла довольно широкое применение в практике.

Пример. Требуется определить расстояния между дренами и расход дрены при заданных:

$k = 3{,}85$ *м/сутки*; $p = 0{,}05$ *м/сутки*; $h = 1{,}0$ *м*; $d = 0{,}20$ *м*; $l = 100$ *м*.

Задаемся $L = 80$ *м*.
Тогда по формуле (7) будем иметь:

$$0{,}05 \cdot \frac{80}{2} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}85 \cdot 1{,}0}{\ln \frac{80}{0{,}20}} \approx 2{,}0$$

и

$$Q = ql = p\frac{L}{2}l = 2{,}0 \cdot 100 = 200 м^3/сутки = 2{,}31\ л/сек.$$

Для той же схемы гидрогеологических условий в указанной выше работе В. В. Ведерникова предлагается довольно простая формула для определения расстояний между дренами в систематическом дренаже:

$$L = -\pi \frac{1 - q_s}{q_s \ln q_s} h, \qquad (8)$$

где q_s — расход воды, просачивающейся на единицу дренируемой площади;
h — превышение кривой депрессии над дреной посредине между дренами.

Формула (8) получена гидромеханическим путем.

Следует отметить, что эта формула выведена из условия, что принятый размер дрены равен или больше критического, т. е. такого размера, при котором над дреной по условиям ее водопропускной и водозахватной способности остаточного напора (нависания) не образуется и таким образом дрена является „незатопленной", что обычно и бывает в действительности. Нужно также сказать, что указанные условия должны быть соблюдены и для предыдущих формул; иначе в расчет должны быть введены соответствующие поправки (см. ниже стр. 87).

Пример. Определить расстояние между дренами, если известно, что расход воды, просачивающейся в грунт, $q_s = 0{,}05$ и максимальное допустимое превышение депрессионной кривой над дреной $h = 1{,}0$ *м*.

По уравнению (8):

$$L = -3{,}14\frac{1-0{,}05}{0{,}05\ln 0{,}05}\cdot 1{,}0 = -3{,}14\frac{0{,}95}{0{,}05\lg 0{,}05\cdot 2{,}3} =$$

$$= -3{,}14\frac{0{,}95}{0{,}05(2\cdot 70\cdot 2{,}3)} = -3{,}14\frac{0{,}95}{0{,}05(-1{,}3\cdot 2{,}3)} =$$

$$= -3{,}14\frac{0{,}95}{0{,}05(-2{,}9)} = \frac{-2{,}98}{-0{,}15} \approx 20\ м$$

и расход дрены при длине ее $l = 100\ м$:

$$Q = q_s \cdot L \cdot l = 0{,}05\cdot 20\cdot 100 = 100\ м^3/сутки = 1{,}16\ л/сек.$$

3. Расчет одиночных горизонтальных дрен

Совершенные горизонтальные дрены

Дебит горизонтальной совершенной дрены при притоке воды с одной стороны может быть определен по формуле Тима, предложенной им для расчета горизонтальных водосборов:

$$Q = l \cdot k\frac{H^2 - h^2}{2R}, \qquad (1)$$

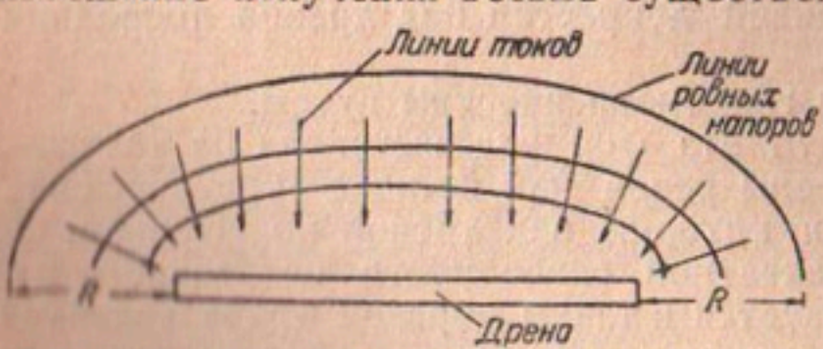
где l — длина дрены;
k — коэфициент фильтрации;
H — мощность водоносного слоя;
h — глубина заполнения дрены водой;
R — радиус влияния дрены.

Формула (1) предусматривает достаточно большую длину дрены. Но так как дрена работает не только по всей длине, но и в головах, где имеют место как бы полуколодцы с каждой стороны (фиг. 47), то полный расход дрены будет:

$$Q = l \cdot k\frac{H^2 - h^2}{2R} + \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r},$$

где r — радиус дрены.

При большой длине дрены вторым членом можно пренебречь, но при относительно небольшой длине следует оставлять во избежание получения весьма существенных ошибок.



Фиг. 47. Схема притока воды к короткой дрене

Формула (1) аналогична по сути дела аналитическому выражению движения грунтовых вод к открытым водоемам, выведенному Дюпюи еще в 1863 г., а поэтому часто называется формулой Дюпюи-Тима.

В случае поступления воды в дрену с двух сторон ее дебит, определяемый по формуле (1), удваивается, и тогда последняя принимает следующий вид:

$$Q = l \cdot k \cdot \frac{H^2 - h^2}{R}. \qquad (2)$$

Разложив в формуле (1) разность квадратов на сумму и разность, приводим ее к несколько иному виду:

$$Q = l \cdot k \cdot \frac{H+h}{2} \cdot \frac{H-h}{R} = l \cdot k \frac{H+h}{2} I_0, \qquad (3)$$

где $I_0 = \frac{H-h}{R}$ есть не что иное, как средний уклон линии депрессии.

Величина I_0 зависит главным образом от степени водопроницаемости грунта и определяется опытным путем. Для приближенных же расчетов при проектировании дренажей проф. Г. Н. Каменский[1] рекомендует принимать следующие значения I_0:

1)	для наиболее проницаемых грунтов	0,003—0,006
2)	„ песков	0,006—0,020
3)	„ песчаных почв	0,020—0,050
4)	„ суглинистых грунтов	0,050—0,100
5)	„ тяжелых глин	0,150—0,200

Формула (3) могла бы представлять интерес для практики, так как не содержит в себе величины радиуса влияния, для определения которой более или менее надежных способов пока не имеется (см. ниже стр. 102). Однако входящая в нее расчетная константа I_0 также является трудно определимой.

Пример 1. Требуется определить дебит дрены, заложенной на водоупоре при притоке к ней воды с двух сторон, если дано: $H = 3{,}0$ *м*; $h = 0{,}20$ *м*; $k = 5$ *м/сутки*; $R = 50$ *м*; $l = 200$ *м*.

По формуле (2):

$$Q = 200 \cdot 5 \frac{3{,}0^2 - 0{,}20^2}{50} \; 179{,}2 \; м^3/сутки = 2{,}08 \; л/сек.$$

Пример 2. Требуется определить дебит дрены, заложенной на водоупоре при притоке к ней воды с одной стороны, если дано: грунт—песок; $H = 4{,}0$ *м*; $h = 0{,}20$ *м*; $k = 15$ *м/сутки*; $l = 100$ *м*; I_0 согласно данным Г. Н. Каменского примем равным 0,013.

По формуле (3):

$$Q = 100 \cdot 15 \frac{4+0{,}2}{2} \cdot 0{,}013 = 40{,}95 \; м^3/сутки = 0{,}46 \; л/сек.$$

Для построения депрессионных кривых пониженного уровня грунтовых вод в районе действия дренажа может быть применено уравнение параболы, имеющее следующий вид:

$$y^2 = \frac{2q}{k} x + h^2, \qquad (4)$$

где q — удельный дебит дренажа на 1 *пог. м* его длины;

y — высота уровня грунтовых вод над дном дрены в районе ее действия на расстоянии x.

Необходимо отметить, что приведенные выше формулы выведены, исходя из условий горизонтального залегания водоупора. Что касается случаев наклонного залегания водоупора, то для них в настоящее время достаточно удовлетворительных решений тех же задач не имеется.

---

[1] Каменский Г. Н., Динамика подземных вод, ч. II, 1936.

Поэтому в практике проектирования дренажей при расположении последних в условиях негоризонтального залегания водоупора применяют те же формулы, что и для горизонтального его залегания.

Приведенные выше расчетные формулы основаны на законе Дарси (т. е. в предположении ламинарного потока), который в большинстве случаев гидрогеологической практики (все мелкозернистые грунты) вполне применим.

Однако могут быть такие случаи, когда при движении грунтовых вод к дрене имеет место не ламинарный, а смешанный режим в потоке (например при заложении дрены в крупнообломочных породах). В этих случаях применение вышеприведенных уравнений для расчета дрен может привести к весьма существенным ошибкам.

Скорость движения воды при смешанном режиме может быть определена по Смрекеру:

$$v = \left(\frac{I}{c}\right)^{\frac{1}{m}}, \tag{5}$$

где m — величина, зависящая от характера движения воды (колеблется в пределах от 1 до 2);

c — коэфициент, зависящий от свойств пород.

В этом случае дебит горизонтальной совершенной дрены при притоке воды к ней с одной стороны может быть определен по формуле:

$$q = \sqrt[m]{\frac{H^{m+1} - h^{m+1}}{cR(m+1)}}, \tag{6}$$

где

$$c = \frac{H^{m+1} - h^{m+1}}{(m+1)Rq^m}.$$

Уравнение кривой депрессии в этом случае будет иметь вид:

$$y = \sqrt[m+1]{h^{m+1} + cq^m(m+1)x} \tag{7}$$

(значения коэфициента m определяются по данным откачек).

При этом для подсчета его в случае свободных вод пользуются формулой:

$$\left(\frac{q_1}{q_2}\right)^m = \frac{H^{m+1} - y_1^{m+1}}{H^{m+1} - y_2^{m+1}}, \tag{8}$$

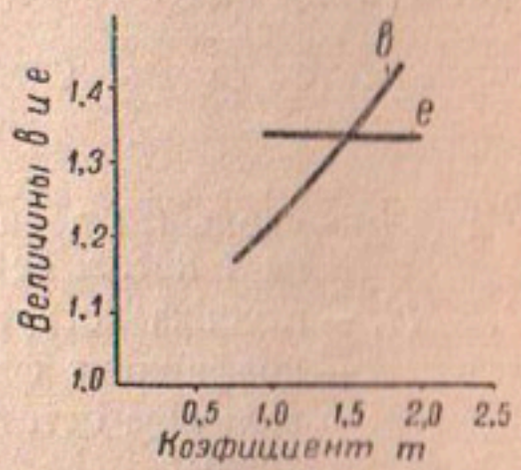
где q_1 и q_2 — дебиты опытной скважины при разных установившихся понижениях уровня;

y_1 и y_2 — соответствующие им ординаты высоты воды в наблюдательной скважине.

Уравнение (8) решается графически. Для этого приравнивают обе части уравнения к некоторым величинам:

$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{q_1}{q_2}\right)^m &= b;\\ \frac{H^{m+1}-y_1^{m+1}}{H^{m+1}-y_2^{m+1}} &= e,\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

после чего строят для каждого из полученных уравнений кривые (фиг. 48) в системе координат, по оси абсцисс которой откладывают в масштабе возможные значения величины m, т. е. 1,00; 1,25; 1,75; 2,00, а по оси ординат величины b и e при соответствующих значениях m. Полученные таким образом точки кривых b и e соединяют плавными линиями, пересечение которых, спроектированное на ось абсцисс, дает искомое значение m.



Фиг. 48. График для определения величины m в формуле Смрекера

Несовершенные горизонтальные дрены

Расчет несовершенных горизонтальных дрен представляет исключительно сложную задачу, до сих пор неразрешенную удовлетворительно.

Первые исследования движения грунтовых вод к несовершенным водосборам (дренам) в условиях бассейна и потока приведены в труде проф. Люгера „Водоснабжение городов". Однако полученные им уравнения практического применения не получили ввиду недоведения их до расчетного вида.

До конца прошлого столетия принималось согласно теории Шпетле, что грунтовые воды поступают под действием силы тяжести и уклона депрессионной кривой в осушительные канавы исключительно через откосы. Теоретическими исследованиями проф. Н. Е. Жуковского у нас и независимо от него проф. Форхгеймером в Германии, а также опытами инж. Пенинка в Голландии, было установлено, что поступление воды происходит и через дно, т. е. по всему смоченному периметру канавы, в том случае, если канава не доходит своим дном до водоупора.

Инж. Пенинк (1907 г.), опуская в грунт пьезометрические трубки на различные глубины и на различных расстояниях от канавы, изучал изменение напоров грунтовых вод в сфере действия дренажа.

Опыты инж. Пенинка показали, что кривые поверхностей равного напора располагаются по концентрическим поверхностям вокруг смоченного периметра канавы, пересекая ее откосы, так, что наиболее удаленные от канавы поверхности являются поверхностями наибольшего напора и что напор уменьшается по мере приближения к смоченному периметру.

Далее опыты показали, что движение грунтовых вод происходит по нормалям к поверхностям равного напора в сторону его уменьшения. Это движение обусловлено гидростатическим давлением, создаваемым депрессией грунтовых вод в канаве или дрене, которое, как это установлено Жуковским и Форхгеймером, распределяется в водоносном слое по закону эквипотенциалей или поверхностей равного напора.

Н. Е. Жуковский[1] помимо вывода диференциальных уравнений и уравнения неразрывности для движения грунтовых вод в песках впервые решил задачу определения притока воды к горизонтальной дрене диаметром d, расположенной в водоносном слое на расстоянии ρ от водоупора. Полученное им уравнение путем замены d радиусом r_0 приводится к следующему расчетному виду:

$$q = \frac{2\pi k (H_1 - h_0)}{\ln\left(\operatorname{ctg}\frac{\pi\rho}{2H}\operatorname{ctg}\frac{\pi r_0}{2H}\right)}, \qquad (10)$$

где q — удельный дебит дрены при притоке с двух сторон на 1 *пог. м* ее длины, т. е. в условиях бассейна;

H_1 — глубина погружения дрены в водоносный грунт;

k — коэфициент фильтрации;

h_0 — величина остаточного напора (нависания) над центром дрены;

ρ — расстояние центра дрены от водоупора;

H — мощность водоносного слоя;

r_0 — радиус дрены.

Уравнение (10) получено автором, исходя из условия вертикальной фильтрации воды в грунте, что несомненно ограничивает возможности его практического применения (например подрусловые водозаборы, дренаж поливных участков и т. п.).

Проф. Л. С. Лейбензон[2] дает приближенное решение, вводя при этом величину радиуса влияния R.

Уравнение дебита галлереи по Лейбензону имеет следующий вид:

$$q = \frac{\pi k \left[H^2 - h_0^2\right]}{\ln \dfrac{\left[R^2 + (H-\rho)^2\right]\left[R^2 + (H+\rho)^2\right]}{2\rho r_0}}. \qquad (11)$$

При неглубоком залегании водоупора или небольшой мощности водоносного слоя, т. е. когда $\frac{H}{R}$ представляет собой не-

---

[1] Жуковский Н. Е., Теоретические исследования о движении подпочвенных вод, Журнал Русского физико-химического о-ва при С. П. Университете, т. XXI, Физический отдел, вып. 1, 1889.

[2] Лейбензон Л. С., Нефтепромысловая механика, ч. II, 1934.

большую величину, из уравнения (11) может быть получена упрощенная формула для расчета дебита галлереи:

$$q = \frac{\pi k \left(H^2 - h_0^2\right)}{\ln \frac{R^2}{2\rho r_0}}, \qquad (11а)$$

где обозначения те же, что и в уравнении (10).

Формулы Лейбензона (11) и (11а) не могут быть рекомендованы для практического использования вследствие их ошибочной структуры. Анализ их показывает, что при расположении галлереи на уровне непониженного горизонта грунтовых вод (т. е. при $h_0 = 0$), когда явно не будет притока воды в галлерею, по формулам Лейбензона дебит не равен нулю.

Акад. А. Н. Костяков (стр. 80) рассматривает приток воды к дренам при глубоком залегании водоупора, принимая, что поверхности равного напора приближаются к окружностям.

Из выведенных акад. Костяковым уравнений может быть получена формула двухстороннего притока воды и к одиночной дрене.

В более общем виде с учетом величины нависания h_0 она может быть представлена в следующем виде:

$$q = \frac{2\alpha k \left(H_1 + h_0\right)}{\ln \frac{R}{r_0}}. \qquad (12)$$

При поступлении воды только с одной стороны

$$q' = \frac{\alpha k \left(H_1 - h_0\right)}{\ln \frac{R}{r_0}}, \qquad (12а)$$

где $\alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{H_1 - h_0}{R}$. Остальные обозначения приведены выше.

В. С. Козлов[1], подвергая критике предыдущих исследователей, выводит свою формулу притока воды к дрене:

а) без учета величины остаточного напора:

$$q = \frac{2\pi k H_1}{\ln \frac{\left[R^2 + H^2\right]\left[R^2 + (H + \rho)^2\right]}{8 r_0 \rho H_1 H}}; \qquad (13)$$

б) с учетом величины остаточного напора:

$$q = \frac{2\pi k \left(H_1 - h_0\right)}{\ln \frac{\left[R^2 + H_1^2\right]\left[R^2 + (H + \rho)^2\right]}{h_0 \left(2\rho + h_0\right)\left(2H_1 - h_0\right)\left(2H + h_0\right)}}. \qquad (13а)$$

[1] Козлов В. С., Розрахунок дренажных споруд, 1936.

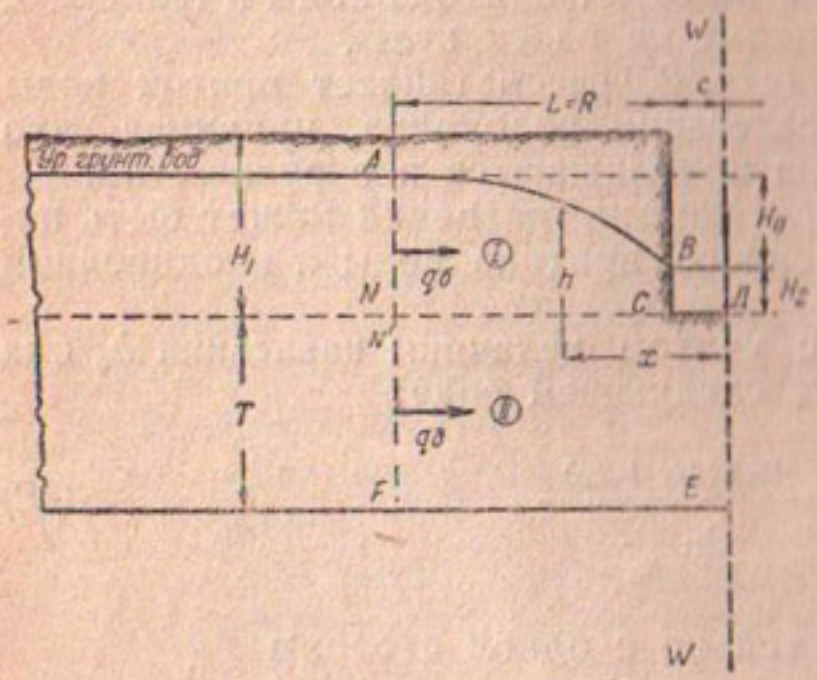
В формулах (13) и (13а) сохраняем прежние обозначения.

Из приближенных способов расчета несовершенных горизонтальных дрен следует упомянуть метод, разработанный Р. Р. Чугаевым[1], который заключается в следующем.

Поток грунтовых вод, дренируемых траншеей или горизонтальной дреной, заложенной выше водоупорного слоя, разбивается на две зоны (фиг. 49).

Первая зона (фиг. *ABCN*) представляет собой безнапорный поток. Сверху она ограничена депрессионной кривой *AB*, а снизу линией *NC*, условно принимаемой за водоупор.

Вторая зона (фиг. *NCDEF*) представляет собой напорный поток, фильтрующийся в траншею или дрену под действием напора (H_0).



Фиг. 49. Схема притока воды к горизонтальной дрене по Чугаеву

В соответствии с принятым делением потока дебит траншеи или дрены слагается из:

„бокового" притока (с одной стороны), определяемого по формуле Дюпюи:

$$q_б = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L} k \quad (14)$$

и „донного" притока (с половины дна траншеи), условно рассматриваемого как напорный поток, определяемого по формуле:

$$q_д = H_0 \cdot q_r \cdot k, \quad (15)$$

где q_r — „приведенный" расход напорного потока.

Тогда общий дебит траншеи или дрены равен:

а) при притоке с одной стороны:

$$q_0 = q_б + q_д = \left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{2L} + H_0 q_r\right] k; \quad (16)$$

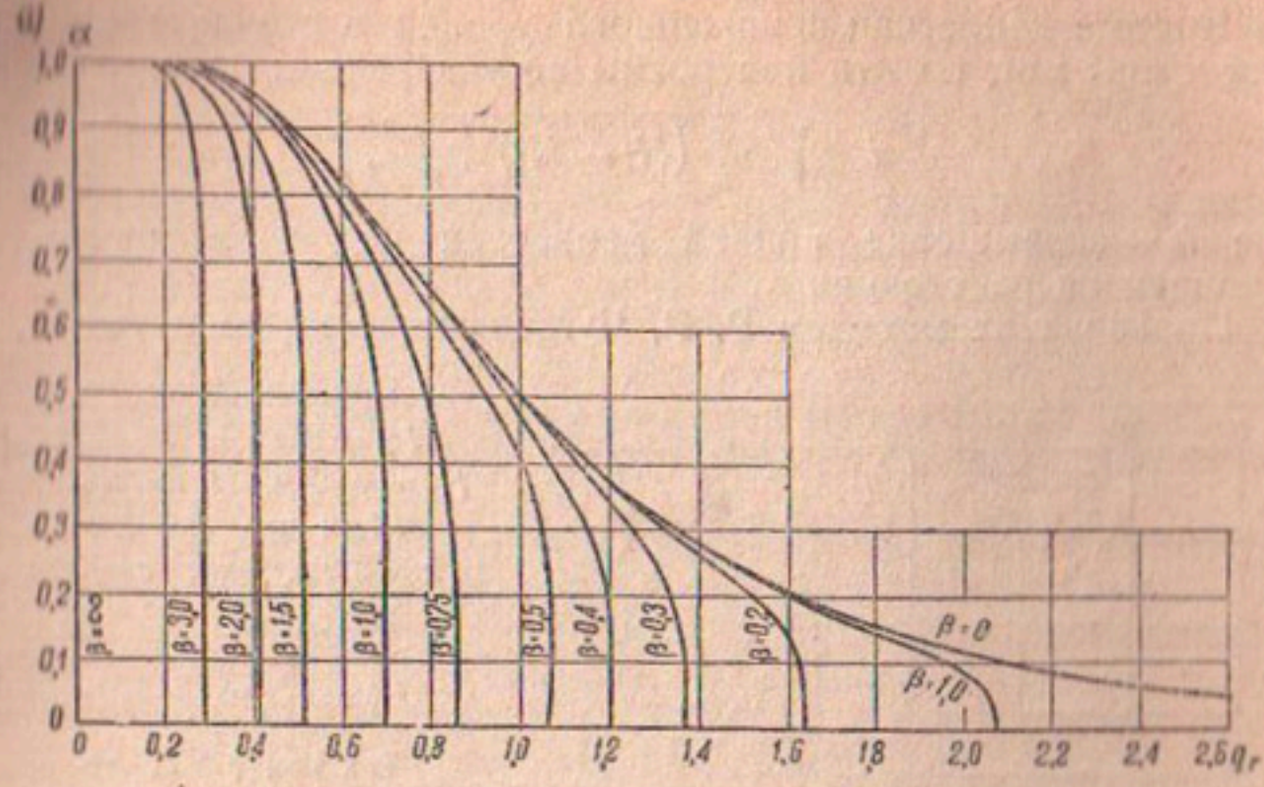
2) при притоке с двух сторон:

$$q_0' = \left[\frac{H_1^2 - H_2^2}{L} + 2H_0 q_r\right] k. \quad (16а)$$

Все величины, входящие в формулы (16) и (16а), ясны из фиг. 49 (за исключением q_r) и получение их при проектировании не представляет затруднений.

---

[1] Чугаев Р. Р., Приток грунтовой воды к траншеям и горизонтальным водосборам, заложенным выше водонепроницаемого слоя (Известия НИИГ № 22, 1938).



Для нахождения величины q_r Р. Р. Чугаевым построены специальные графики (фиг. 50, *а* и *б*), выражающие функциональную зависимость:

$$q_r = f(\alpha, \beta),$$

где

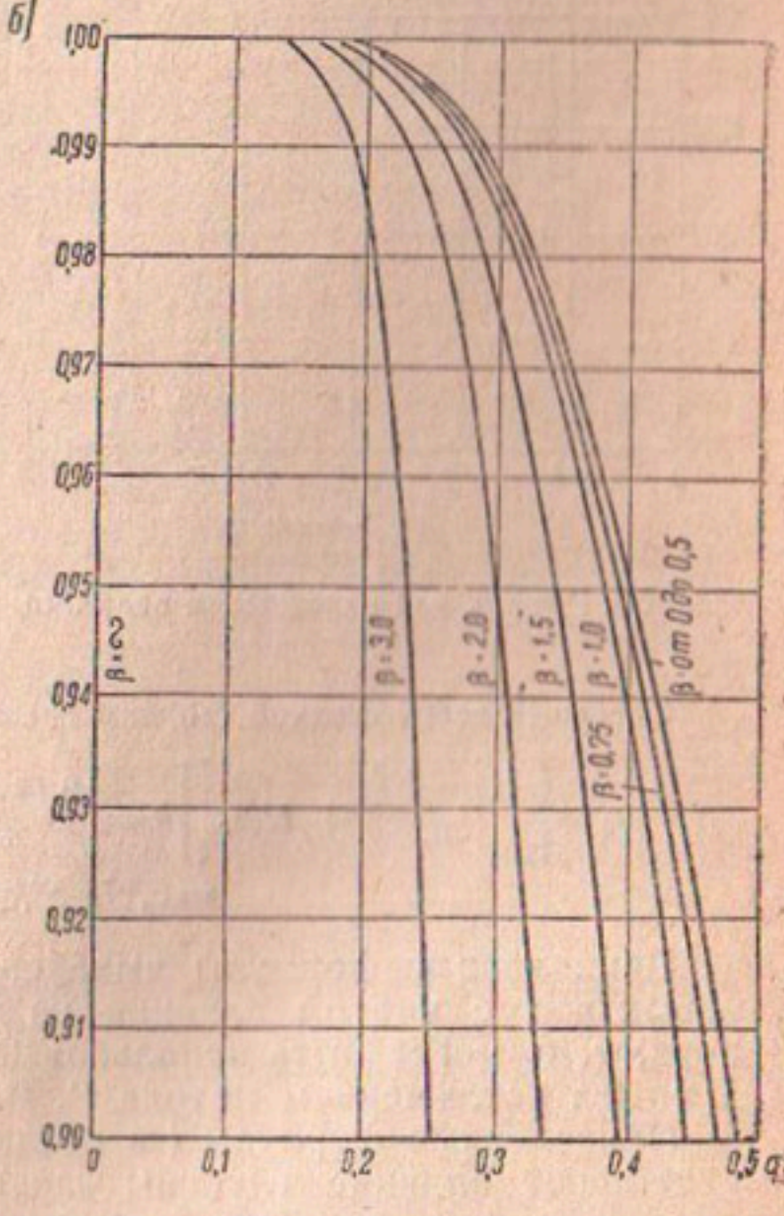
$$\alpha = \frac{L}{L+c} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{L}{T},$$

где L — радиус влияния дрены (R), а c — половина ширины дренажной траншеи. Когда $\beta > 3$ (для этих значений на приведенных графиках кривые отсутствуют), величина „приведенного" расхода напорного потока может быть определена по формуле:

$$q_r = \frac{q'_r}{(\beta - 3)q'_r + 1}. \qquad (17)$$

Значение q'_r определяется по графику (фиг. 51). Величина α_0 равна:

$$\alpha_0 = \frac{T}{T + \frac{1}{3}c}.$$



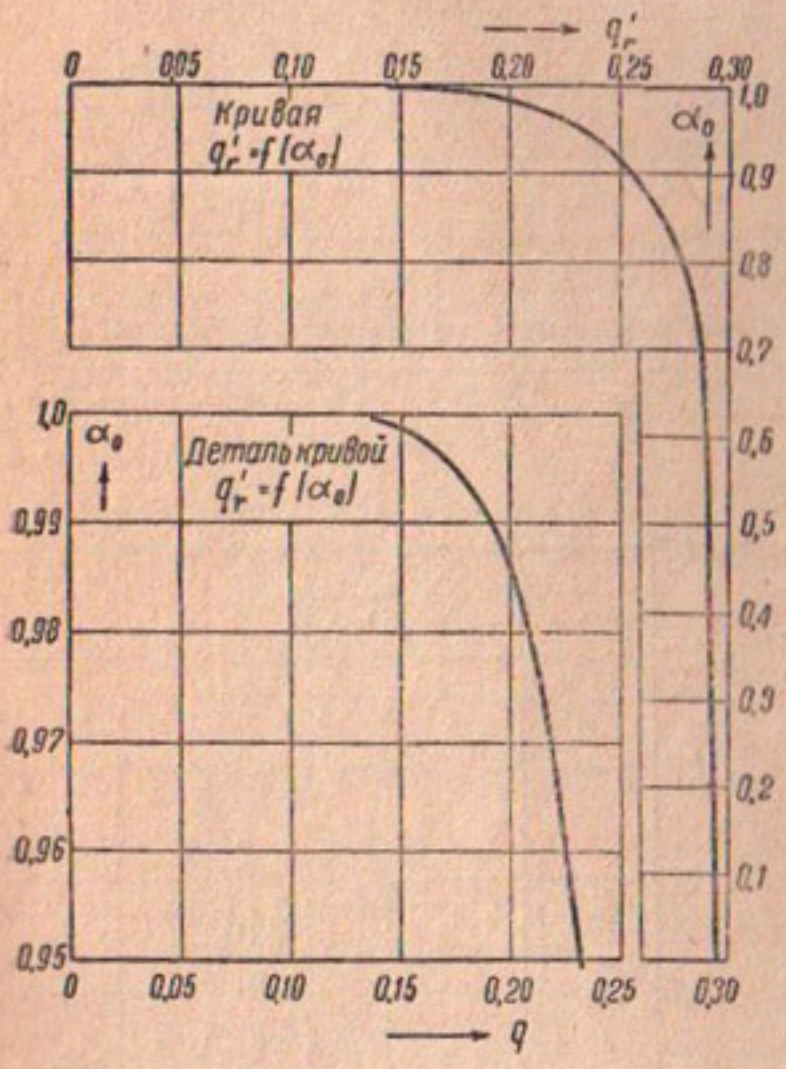
Фиг. 50. Графики для нахождения величины q_r

Кривые депрессии пониженного уровня в результате действия дрены могут быть построены по уравнению:

$$h=\sqrt{\frac{x}{L}(H_1^2-H_2^2)+H_2^2}, \qquad (18)$$

где h — возвышение кривой депрессии над дном дренажной траншеи на расстоянии x.

Пользование методом Р. Р. Чугаева поясним на примере.



Фиг. 51. График для нахождения величины q'_r

Пример. Дано:

$H_1=2{,}00$ *м*; $T=5{,}0$ *м*;
$H_2=0{,}20$ *м*; $H_0=H_1-H_2=$
$=1{,}80$ *м*; $R=L=50$ *м*;
$k=5$ *м/сутки*; $c=0{,}50$ *м*.

Находим:

$$\beta=\frac{L}{T}=\frac{50}{5}=10.$$

Так как $\beta>3$, то значение q_r может быть найдено по формуле (17). Предварительно определим:

$$\alpha_0=\frac{T}{T+\frac{1}{3}c}=$$

$$=\frac{5}{5+\frac{1}{3}\cdot 0{,}5}=0{,}97;$$

по графику (фиг. 51) получим:

$$q'_r=0{,}218$$

и

$$q_r=\frac{q'_r}{(\beta-3)\,q'_r+1}=$$

$$=\frac{0{,}218}{(10-3)\cdot 0{,}218+1}=0{,}086.$$

Удельный дебит с одной стороны дрены на 1 *пог. м* равен:

$$q_0=\left[\frac{H_1^2-H_2^2}{2L}+H_0q_r\right]k=\left[\frac{2{,}0^2-0{,}20^2}{2\cdot 50}+1{,}8\cdot 0{,}086\right]\cdot 5{,}0=$$

$$=0{,}972\ м^3/сутки.$$

Приведенные формулы выведены из условий бассейна грунтовых вод с учетом влияния на дебит дрены остаточного напора, т. е. могут быть использованы и при расчете затопленных дрен (за исключением метода Р. Р. Чугаева).

Приведенные формулы (за исключением формулы Костякова) учитывают влияние глубины залегания водоупора (случай конечного его залегания). Формула акад. Костякова, выведенная из условий бесконечно глубокого залегания водоупора, не учи-

тывает влияния остаточного напора. Образование остаточного напора над дренами для предлагаемых выше конструктивных типов дренажей (с фильтрующей обсыпкой) при соблюдении условий, указанных ниже (см. стр. 101), мало вероятно.

Все приведенные выше решения определения притока воды к несовершенным дренам являются приближенными.

Рассмотрим также новые, разработанные в последние годы гидромеханические методы расчета несовершенных дрен (работы В. И. Аравина, В. В. Ведерникова и С. Ф. Аверьянова).

Решения В. И. Аравина[1] основаны на работах акад. Н. Н. Павловского и имеют в виду работу дрен в условиях грунтового бассейна.

В. И. Аравин при решении поставленной задачи не учитывал высоты выклинивания грунтовых вод (разрыва уровней—так называемого „прыжка") у дрены; последняя же при работе одиночных дрен (в особенности в головном дренаже) может иметь весьма существенное значение.

В. В. Ведерников[2] для решения задач по притоку воды к осушительным канавам и дренам при очень глубоком залегании водоупора применил свой метод (видоизменение метода Кирхгоффа), который дает возможность определить величину участка выхода (прыжка).

С. Ф. Аверьянов[3], используя указанный метод Ведерникова—Кирхгоффа, выводит уравнение кривой депрессии при работе головной „висячей" дрены в условиях бассейна:

$$y=\frac{Q}{k\pi}\left[\ln 2+\ln\left(1+\frac{xk}{Q}\right)+\frac{xk}{Q}\ln\left(1+\frac{Q}{kx}\right)\right], \qquad (19)$$

где y — превышение точки кривой депрессии над дном дрены;

x — расстояние от дрены до рассматриваемой точки;

Q — расход дрены с двух сторон на 1 *пог. м* ее длины.

Уравнение (19) выведено с учетом величины участка выхода h_0. Величина участка выхода определяется по формуле:

$$h_0=0{,}221\,\frac{Q}{k}. \qquad (20)$$

Если учесть расход лишь с одной стороны, то:

$$h_0=0{,}441\,\frac{Q'}{k}, \qquad (20а)$$

где Q' — расход с одной стороны.

---

[1] Аравин В. И., Приток грунтовых вод к водосборам, Известия НИИГ № 18, 1936.

[2] Ведерников В. В., Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа, 1939.

[3] Аверьянов С. Ф., Подтопление при крупном гидротехническом строительстве и борьба с его последствиями, диссерт. работа 1937—1938 гг., Московский гидромелиоративный институт.

Формула (19) для $\frac{xk}{Q} > 10$ может быть упрощена:

$$y = 0{,}733 \cdot \frac{Q}{k} \lg 5{,}436 \frac{xk}{Q}. \qquad (21)$$

По формуле (19) и (21), зная из четырех переменных три (y; x и k), можно методом подбора определить дебит дрены Q.

Пользование этими формулами поясним на примере.

Пример. Требуется определить дебит дрены на 1 *пог. м* ее длины при притоке с двух сторон, если дано: $x = 100$; $y = 3{,}10$; $k = 23{,}50$ *м/сутки*.

Задаемся $\frac{Q}{k} = 1{,}70$;

$$\frac{Q}{k\pi} = 0{,}54; \quad \ln 2 = 0{,}69; \quad \ln\left(1 + \frac{xk}{Q}\right) = 4{,}08; \quad \left[\frac{xk}{Q} \ln\left(1 + \frac{Q}{kx}\right)\right] = 1{,}048;$$

$$\left[\ln 2 + \ln\left(1 + \frac{xk}{Q}\right) + \frac{xk}{Q} \ln\left(1 + \frac{Q}{kx}\right)\right] = 0{,}69 + 4{,}08 + 1{,}048 = 5{,}82.$$

Тогда по уравнению (19)

$$y = 3{,}14 \approx 3{,}10$$

и

$$Q = 1{,}70 \cdot 23{,}50 = 17{,}00 \text{ м}^3\text{/сутки} = 0{,}20 \text{ л/сек}.$$

Так как $\frac{xk}{Q} = \frac{100 \cdot 23{,}5}{17{,}00} = 138 > 10$,

то в данном случае возможно пользование упрощенным уравнением (21).

При пересчете по уравнению (21) получаем:

$$\frac{Q}{k} = 1{,}70; \quad \lg 5{,}436 \frac{xk}{Q} = 319{,}7;$$

$$y = 0{,}733 \cdot 1{,}7 \cdot 319{,}7 = 3{,}10$$

и

$$Q = 17{,}00 \text{ м}^3\text{/сутки}.$$

Приведенные формулы выведены, исходя из условий работы одиночной дрены в бассейне грунтовых вод.

Поэтому для расчета головных дренажей, т. е. несовершенных одиночных дрен, работающих в условиях грунтового потока, указанные уравнения не вполне пригодны.

Первая попытка решения этой задачи была сделана Хопфом и Треффцом [1], которые, пользуясь методом конформных отображений, получили настолько сложные уравнения кривой депрессии грунтовых вод, что пользование ими при расчетах почти невозможно.

Однако полученная ими формула для определения величины расхода потока, перехватываемого головной дреной, весьма проста:

$$Q = Q_1 \cdot \frac{h}{H}, \qquad (22)$$

где Q_1 — полный расход грунтового потока до работы дренажа;
h — пониженный уровень грунтовых вод у дрены;
H — мощность грунтового потока;
Q — расход дрены.

[1] Hopf u. Treffitz, Grundwasserströmung in einem abfallenden Gelände mit Ablaufgraben, ZAMM — 1921, H. 4.

Формула (22) не учитывает участка выхода. Пользование формулой (22) осложняется тем, что определение величины Q_1 требует проведения довольно подробных и дорогих изыскательских работ, которые в случае сложных гидрогеологических условий могут и не дать достаточно надежных данных для расчета.

Расчет притока воды к дренам может быть произведен и по гидродинамическим сеткам движения, построенным графическим методом. Этот метод, предложенный проф. Е. А. Замариным [1], в настоящее время широко применяется при изучении характера фильтрации через земляные плотины и определении размера фильтрационных расходов.

В последнее время делаются попытки применить этот метод и для расчета притока воды к дренам. Экспериментальные исследования, произведенные автором настоящей главы в 1939 г. в Институте Водгео, показали, что точность графического метода расчета одиночных дрен по сеткам движения при известном навыке исполнителя является вполне приемлемой для практических целей. Описание общих правил построения сеток движения довольно подробно изложено в работах Е. А. Замарина (см. цитированный выше труд) и Н. К. Гиринского [2].

В практике расчета дебита одиночных горизонтальных дрен нашли применение главным образом формулы Дюпюи-Тима и Костякова.

Проведенные в Институте Водгео экспериментальные работы позволили автору настоящей главы произвести проверку на опытном материале существующих формул расчета горизонтальных дрен и выяснить эффективность работы головных дрен в зависимости от высоты заложения их над водоупором.

Проверке были подвергнуты:

1) Для условий бассейна—формулы: Дюпюи-Тима (2), акад. Костякова (12), проф. Лейбензона (11) и (11а), доц. Козлова (13) и (13а), инж. Аверьянова (19) и метод доц. Чугаева.

2) Для условий потока—формулы: Дюпюи-Тима (1), акад. Костякова (12а), Хопф-Треффца (22) и метод доц. Чугаева.

Полученные результаты сведены в табл. 3 для условий бассейна и в табл. 4 для условий потока и изображены на графиках в виде кривых дебита дрен в зависимости от их положения над водоупором и величины нависания.

На фиг. 52 изображены кривые дебитов незатопленных одиночных дрен для условий бассейна, а на фиг. 53—для условий потока.

На фиг. 54 изображены кривые дебитов одиночных дрен в зависимости от величины нависания (остаточного напора) для условий бассейна, а на фиг. 55—для условий потока.

---

[1] Замарин Е. А., Гидродинамические сетки движения, Научные записки МИИВ, 1937.

[2] Гиринский Н. К., Графическое построение гидродинамических сеток для случая фильтрации в однородных грунтах, 1939.

Таблица 3

Результаты сравнительного подсчета дебита одиночных дрен по различным формулам для условий бассейна грунтовых вод

№ дрен	№ опытов	Расстояние центра дрены от водоупора t	Мощность водоносного слоя H в $м$	Величина нависания (остаточного напора) над центром дрены h_0 в $м$	Радиус дрены r_0 в $м$	Коэффициент фильтрации k $м/сутки$	Дебиты одиночных дрен, подсчитанные по различным формулам, и их отклонения от фактически наблюденных (в %)							
							формула Дюпюи-Тима		формула Костякова		формула Лейбензона			
											полная		упрощенная	
							$л/м$	%	$л/м$	%	$л/м$	%	$л/м$	%
I/II	1	0,008 (на водоупоре)	0,80	0,05	0,008	23,5	3,422	−33,0	7,448	+45,9	2,904	−43,1	2,917	−42,9
	2			0,19			3,246	−29,6	5,883	+27,8	2,760	−40,3	2,772	−40,1
	3			0,35			2,748	−23,7	4,134	+14,6	2,355	−34,6	2,364	−34,2
	4			0,55			1,775	−13,6	2,207	+ 7,7	1,549	−24,6	1,555	−24,4
2/II	1	0,118	0,80	0,008 б/н	0,008	23,5	3,373	−30,3	6,650	+37,5	3,026	−37,5	3,865	−20,2
	2			0,100			3,182	−24,7	5,635	+33,5	2,964	−29,8	3,786	−10,5
	3			0,24			2,740	−18,8	4,134	+22,2	2,745	−19,0	3,506	+36,0
	4			0,44			1,738	−10,2	2,141	+10,1	2,075	+ 6,2	2,651	+36,4
3/II	1	0,263	0,80	0,008 б/н	0,008	23,5	3,064	−27,0	5,091	+21,0	3,274	−22,2	4,281	+ 2,1
	2			0,06			2,878	−24,5	4,556	+19,7	3,236	−15,1	4,229	+11,5
	3			0,15			2,434	−20,0	3,546	+16,1	3,120	+ 2,5	4,089	+34,2
4/II	1	0,463	0,80	0,008 б/н	0,008	23,5	2,247	−4,9	3,031	+28,5	3,43	+45,2	4,591	+ 94,0
	2			0,07			1,923	+3,4	2,446	+31,0	3,43	+84,3	4,579	+146,5
	3			0,18			1,232	−2,8	1,420	+13,3	3,27	+159,9	4,366	+249,0

(Продолжение табл. 3)

№ дрен	№ опытов	Дебиты одиночных дрен, подсчитанные по различным формулам, и их отклонения от фактически наблюденных (в %)									
		формула Козлова				формула Чугаева		формула Аверьянова (полное уравнение)		фактически наблюденные	
		полная		упрощенная							
		л/м	%	л/м	%	л/м	%	л/м	%	л/м	%
1/II	1	8,043	+ 57,5	10,441	+104,0	3,422	−32,9	11,91	+133,5	5,108	0
	2	8,971	+ 95,0	10,459	+126,5	3,237	−29,7	8,890	+ 92,8	4,612	0
	3	7,851	+118,0	10,459	+191,5	2,740	−23,8	5,875	+ 63,0	3,590	0
	4	5,045	+146,0	10,459	+411,5	1,773	−13,7	2,741	+ 33,7	2,050	0
2/II	1	6,866	+ 41,5	8,820	+ 82,4	3,306	−31,5	10,44	+116,1	4,830	0
	2	8,261	+ 99,2	8,794	+108,0	3,134	−25,9	8,47	+100,7	4,220	0
	3	7,481	+121,5	8,820	+129,0	2.704	−19,9	6,84	+ 72,5	3,385	0
	4	4,698	+142,0	8,794	+351,5	1,711	−11,8	2,61	+ 34,8	1,943	0
3/II	1	5,703	+ 35,7	6,732	+ 62,0	2,831	−32,3	7,507	+78,7	4,200	0
	2	6,544	+ 74,5	6,695	+ 75,5	2,672	−29,9	6,526	+71,7	3,810	0
	3	6,097	+100,1	6,765	+122,0	2,333	−23,4	4,732	+55,6	3,040	0
4/II	1	4,683	+ 98,0	3,951	+ 67,0	1,778	−24,8	4,00	+68,8	2,365	0
	2	4,752	+100,2	3,964	+112,5	1,550	−16,7	3,019	+62,3	1,860	0
	3	2,539	+100,3	3,951	+215,1	1,006	−20,3	1,632	+30,0	1,255	0

Таблица 4

Результаты сравнительного подсчета дебита одиночных дрен по различным формулам для условий потока грунтовых вод

№ дрен	№ опытов	Расстояние центра дрены от водоупора ρ в $м$	Мощность водоносного слоя H в $м$	Величина нависания (остаточного напора) над центром дрены h_o	Радиус дрены r_o	Коэффициент фильтрации k $м/сутки$	Дебиты одиночных дрен, подсчитанные по различным формулам, и их отклонения от фактически наблюденных (в %)									
							формула Дюпюи-Тима		формула Костякова		формула Чугаева		формула Хопф-Треффца		Фактически наблюденные	
							$л/м$	%	$л/м$	%	$л/м$	%	$л/м$	%	$л/м$	%
1/II	1	0,008	0,80	0,002	0,008	23,5	1,780	—45,1	4,022	+24,1	1,780	—45,1	3,224	— 0,6	3,247	0
	2			0,197			1,669	—34,7	2,925	+14,5	1,669	—34,7	2,416	— 5,3	2,550	0
	3			0,493			1,083	—23,9	1,383	— 2,9	1,090	—29,2	1,214	—14,6	1,425	0
2/II	1	0,118	0,80	—0,023	0,008	23,5	1,756	—41,2	3,532	+18,4	1,726	—42,2	2,857	— 4,3	2,983	0
	2			0,123			1,621	—33,5	2,723	+12,1	1,595	—34,4	2,272	— 6,5	2,430	0
	3			0,380			1,099	—24,7	1,407	+ 4,2	1,086	—19,4	1,233	— 8,7	1,350	0
3/II	1	0,263	0,80	—0,040	0,008	23,5	1,643	—38,9	2,821	+ 4,9	1,501	—44,3	2,340	—13,1	2,690	0
	2			0,109			1,401	—25,1	2,037	+ 7,5	1,295	—30,7	1,737	— 7,0	1,867	0
	3			0,317			0,845	—15,7	1,001	— 1,2	0,787	—22,0	0,893	—11,6	1,010	0
4/II	1	0,463	0,80	—0,038	0,008	23,5	1,277	—24,2	1,761	+ 4,7	0,995	—40,8	1,423	—15,3	1,680	0
	2			0,045			1,062	—13,9	1,349	+ 9,8	0,843	—31,4	1,185	— 3,7	1,230	0
	3			0,166			0,680	— 5,4	1,006	+39,8	0,553	—22,7	0,695	— 3,2	0,718	0

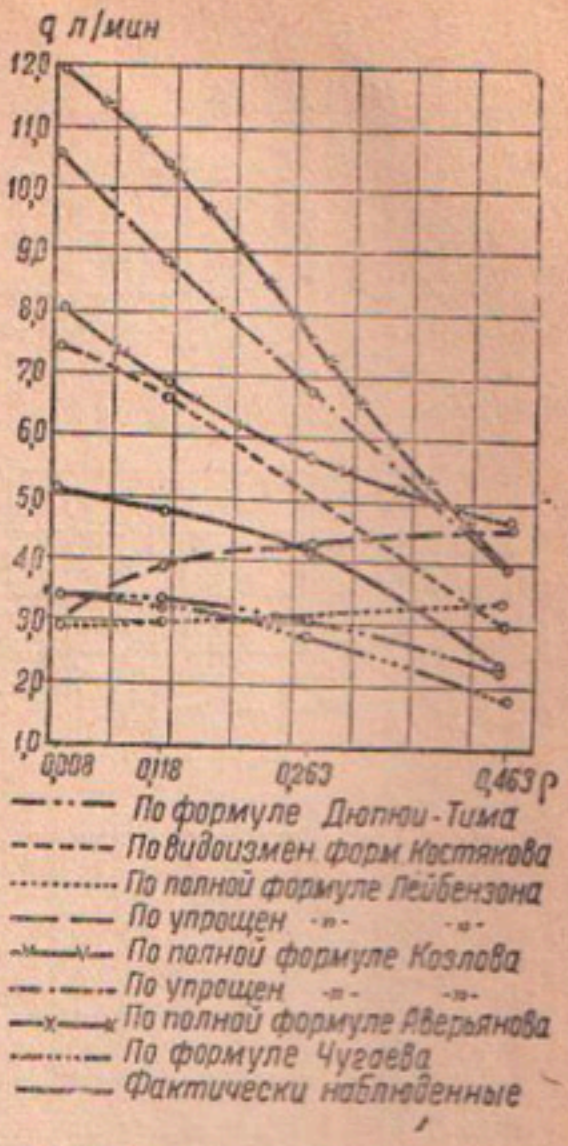
Для условий бассейна наиболее близкими к фактически наблюденным являются дебиты, подсчитанные по формулам Дюпюи-Тима, Чугаева и Костякова.

Подсчет по первым двум формулам дает обычно занижение, а подсчет по формуле Костякова — некоторое завышение дебитов.

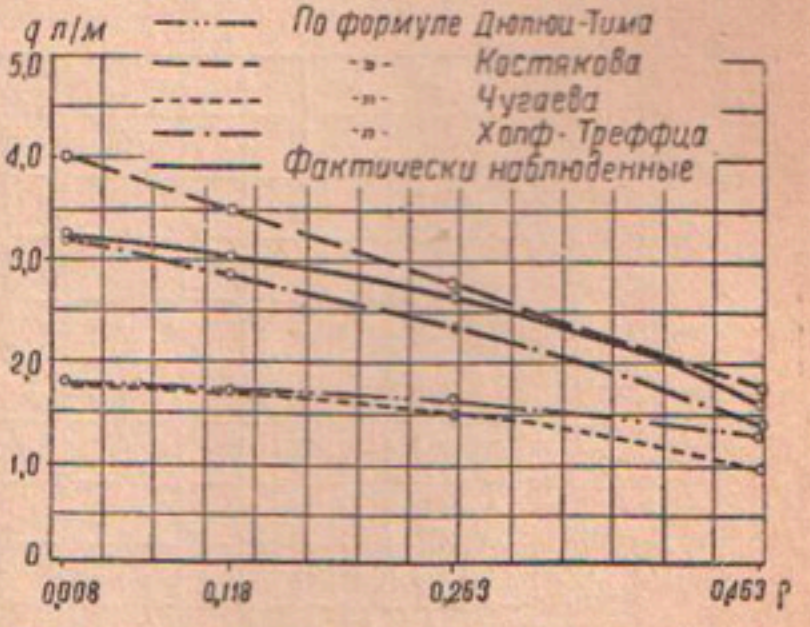
Формулы Дюпюи-Тима и Чугаева в условиях потока дают заниженные величины дебитов дрен. Подсчет дебита дрен по Хопфу-Треффцу при близком залегании водоупора дает величины, близкие к фактически наблюденным. При увеличении же расстояния дрены от водоупора эти величины приближаются к дебитам, подсчитанным по Костякову. Дебиты дрен, подсчитанные по Костякову, дают всюду, как и для случая бассейна, некоторое завышение дебита. С увеличением нависания это расхождение несколько сглаживается, и дебиты, подсчитанные по Костякову, сближаются с фактически наблюденными.

Дебиты, подсчитанные по формулам Лейбензона, вопреки общей закономерности уменьшения дебита с удалением дрены от водоупора обнаруживают их увеличение, что, как уже отмечалось выше, связано с неправильной структурой самих формул.

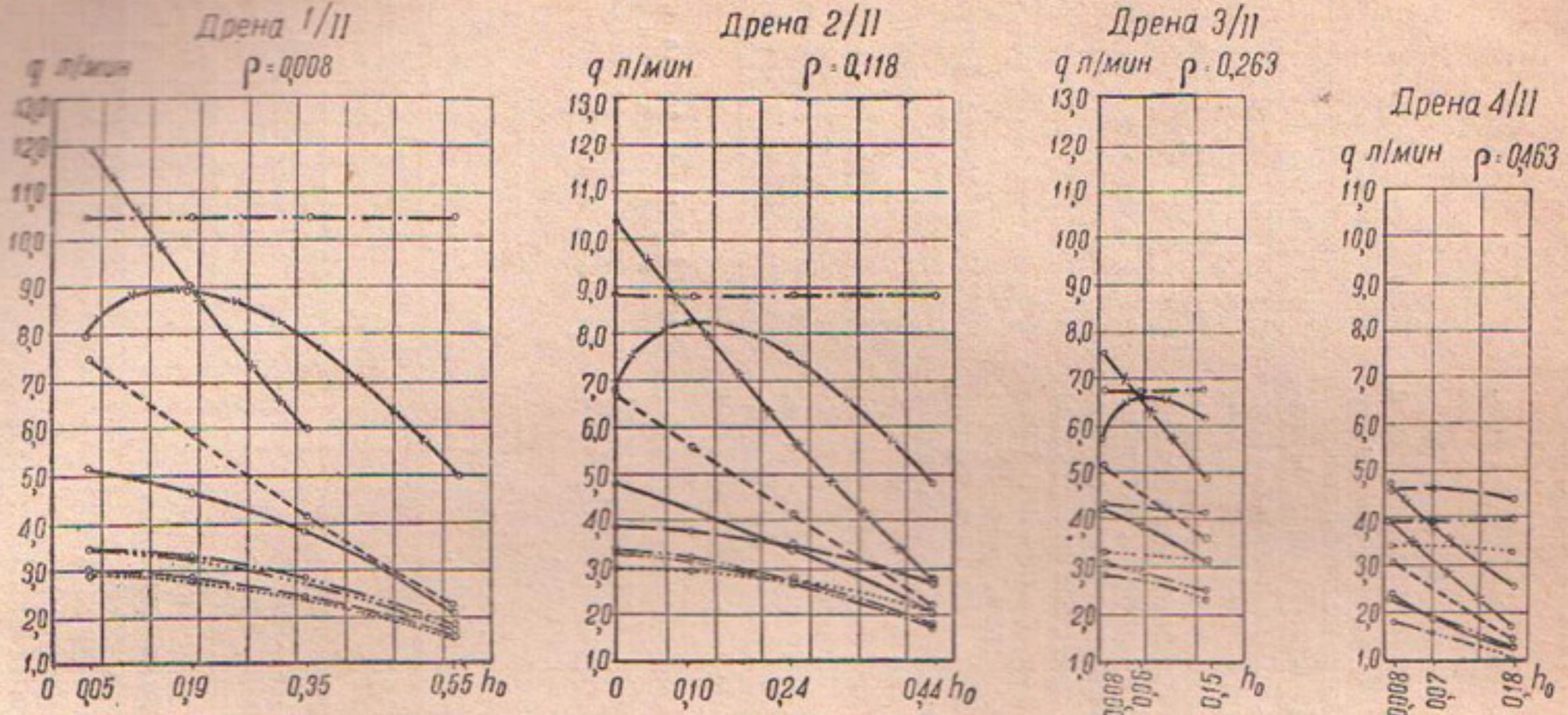
Для целей проектирования дренажных сооружений некоторое завышение дебита дрен вполне допустимо, так как дает запас „прочности" при построении кривых пониженного уровня грунтовых вод и при определении необходимого диаметра дрен. Поэтому формула Костякова яв-



Фиг. 52. Кривые дебита незатопленных одиночных дрен в зависимости от их положения над водоупором для условий бассейна



Фиг. 53. Кривые дебита незатопленных одиночных дрен в зависимости от их положения над водоупором для условий потока



Фиг. 54. Кривые дебита одиночных дрен в зависимости от величины нависания при различном положении их над водоупором для условий бассейна

ляется для практических целей более приемлемой, нежели формулы Дюпюи-Тима и Чугаева, дающие заниженные значения дебита. Преимущество формулы Костякова перед последними заключается и в том, что радиус влияния R входит в нее в логарифмическом виде, что при современных (весьма неточных) методах его определения приводит к меньшим ошибкам при практических расчетах дебита дрен. Формула Хопф-Треффца также дает достаточно хорошие результаты, но входящая в нее величина полного расхода не всегда легко может быть определена.

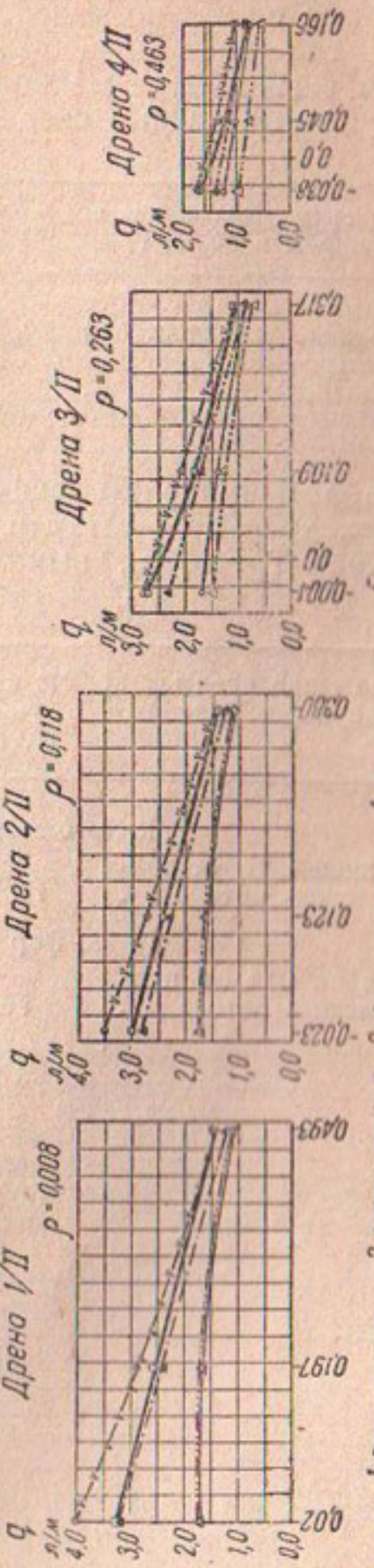
Для практических целей при подсчете дебита дрен возможно применять:

а) при расчете одиночных несовершенных горизонтальных дрен в условиях бассейна (например при проектировании кольцевого дренажа) формулу акад. А. Н. Костякова (12);

б) при расчете одиночных дрен в тех же условиях, но при расположении их вблизи водоема (например береговой дренаж) метод Чугаева;

в) при расчете одиночных несовершенных горизонтальных дрен в условиях потока (например при проектировании головного дренажа) формулы акад. А. Н. Костякова (12а) и Хопф-Треффца (22).

При построении депрессионных кривых при применении кольцевого или берегового дренажа следует пользоваться уравнением (18). При расчете понижения уровня грунтовых вод на защищаемой территории под действием „висячего" головного дренажа следует пользоваться уравнениями (19) и (21), вводя в них вместо расхода дрены Q величину $Q_1 - Q$ (Q_1 — полный расход грунтового потока до работы дренажа).



Фиг. 55. Кривые дебита одиночных дрен в зависимости от величины нависания при различном положении их над водоупором для условий потока

1—по формуле Дюпюи-Тима; *2*—по формуле Костякова; *3*—по формуле Чугаева; *4*—по формуле Хопф-Треффца; *5*—фактически наблюденные.

Эффективность работы несовершенных головных дрен определяется количеством перехватываемых ими грунтовых вод,

которыми определяется положение их уровня на защищаемой территории. Теоретическое решение данного вопроса было дано только Хопфом и Треффцем.

Впервые опыты по выяснению перехватывающей способности висячих головных дрен были проделаны покойным В. И. Морозовым в Институте мелиорации и гидротехники.

Полученные данные сведены в табл. 5.

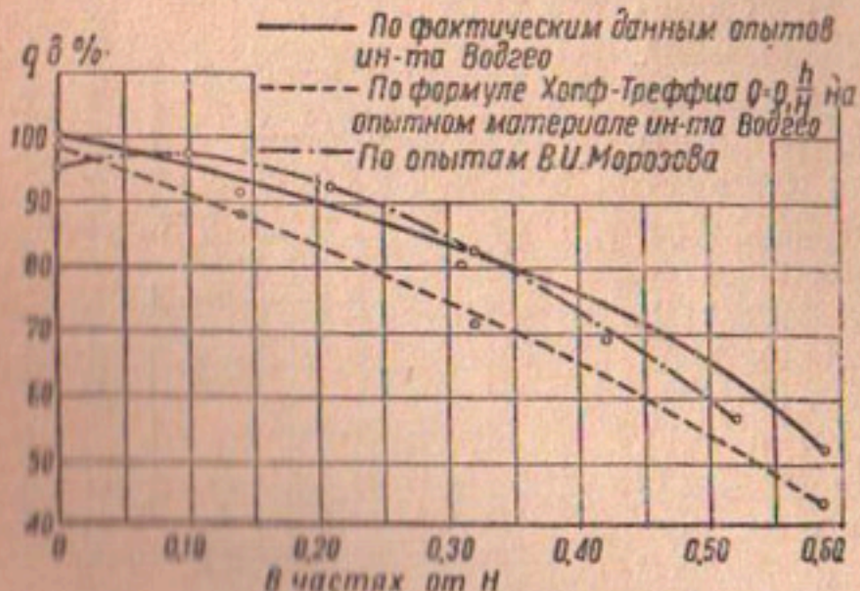
Таблица 5[1]

Положение дрены над водоупором в долях H	На водоупоре	$0,1H$	$0,21H$	$0,31H$	$0,42H$	$0,52H$
Относительное количество воды, перехватываемой дреной (в % от всего потока)	95,7	97,5	92,7	80,7	69,5	56,9

В табл. 6 приводим данные о перехватывающей способности головных дрен по опытам и теоретическим подсчетам (по формуле Хопф-Треффца), выполненным в Институте Водгео.

Таблица 6

Положение дрены над водоупором в долях H	На водоупоре ($0,01\ H$)	$0,14H$	$0,32H$	$0,58H$
I. По опытам института Водгео				
Дебиты дрен в % от полного расхода потока . .	100,0	91,7	83,1	51,7
II. По формуле Хопф-Треффца				
Дебиты дрен в % от полного расхода потока . .	99,3	88,3	72,1	43,8



Фиг. 56. Сравнительный график дебита головных дрен в зависимости от их положения над водоупором

Приводим сравнительный график дебита головных дрен в зависимости от их положения над водоупором, составленный по табл. 5 и 6 (фиг. 56). График показывает, что опытные данные Институтов мелиорации и гидротехники

[1] Заимствована нами из работы проф. А. Д. Брудастова „Осушение промышленных площадок и аэродромов, 1936 г.

и Института Водгео довольно близки, а теоретические подсчеты по формуле Хопф-Треффца дают отклонения в сторону снижения эффективности дрен. Таблицы и графики могут облегчить предварительную наметку головного дренажа и выбор глубины его заложения.

Некоторые указания к определению величины нависания в затопленных дренах

Явление нависания воды над дренами („остаточный напор") обусловливается либо недостаточной пропускной способностью дрен либо плохой проницаемостью ее стенок.

Остаточный напор может быть полностью уничтожен при выборе необходимых диаметров дрен и при большой пропускной способности их поверхностей.

В главе XI рассматриваются способы определения водопропускной способности и подбор необходимого диаметра дрен.

В настоящем разделе рассматривается лишь определение пропускной (водозахватной) способности поверхности дрены.

В рассмотренных выше конструктивных типах горизонтальных дренажей при применении фильтрующей обсыпки и больших диаметрах дрен, обеспечивающих как захват воды из грунта, так и отвод ее в водоприемники, остаточный напор обычно отсутствует и дрены работают как незатопленные.

Для проверки водозахватной способности дрен следует производить приближенные поверочные расчеты.

Ниже приводится пример поверочного расчета водозахватной способности дрены. Известно, что скорость течения струйки воды в грунте при подходе ее к фильтрующей засыпке равна:

$$v_{гр} = k_{гр} \cdot I,$$

где $k_{гр}$ — коэфициент фильтрации грунта;

I — гидравлический градиент.

Скорость течения воды в фильтрующей засыпке приближенно равна:

$$v_{ф} = k_{ф} \cdot I,$$

где $k_{ф}$ — коэфициент фильтрации фильтрующей засыпки;

I — для упрощения расчета принимаем равным единице.

Сравнивая расходы, получим:

$$\omega_{ф} v_{ф} = \omega_{гр} v_{гр}$$

и

$$\omega_{ф} = \frac{\omega_{гр} \cdot k_{гр}}{k_{ф}}.$$

Площадь пор грунта приближенно может быть принята равной его порозности, тогда на 1 $м^2$ поверхности дрены необходимо иметь площадь отверстий, равную:

$$\omega_{др} = \frac{n \cdot k_{гр}}{n_1 \cdot k_{ф}}, \qquad (23)$$

где n — порозность грунта;

n_1 — порозность фильтрующей засыпки;

$\omega_{др}$ — площадь отверстий на 1 $м^2$ поверхности дрены в $м^2$.

При переводе на 1 *пог. м* дрены необходимая площадь отверстий равна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot n \cdot k_{гр}}{n_1 \cdot k_{ф}}. \qquad (24)$$

Подобным же образом может быть определена необходимая площадь отверстий в дрене при наличии многослойной фильтрующей обсыпки. В этом случае ведутся последовательные расчеты, переходя от одного слоя обсыпки к другому (включая самую дрену).

Пример. Дано: $n = 0{,}40$; $n_1 = 0{,}20$; $k_{гр} = 2$ *м/сутки*; $k_{ф} = 20$ *м/сутки*; $d = 20$ *см*.

Требуется определить площадь отверстий дрены на 1 *пог. м* ее длины при однослойной фильтрующей обсыпке.

По формуле (24) имеем:

$$\omega_0 = \frac{3{,}14 \cdot 20 \cdot 0{,}40 \cdot 2}{0{,}20 \cdot 20} \approx 12{,}5 \text{ } см^2.$$

Имея данные о предельной водозахватной способности дрены, можно определить, пользуясь приведенными выше расчетными формулами, величину нависания воды над дреной.

Указанный метод определения величины остаточного напора является весьма приближенным, но для практических целей при отсутствии других более точных решений вполне допустим.

4. Радиусы влияния дренажных сооружений

Определение расчетных значений радиусов влияния дренажных сооружений представляет большие трудности. Они определяются непосредственными наблюдениями при опытных откачках в полевых условиях и по теоретическим и эмпирическим формулам, предложенным различными авторами. Определение радиусов влияния методом опытных откачек было рассмотрено выше (гл. VI, стр. 48).

Из предложенных эмпирических формул в практике искусственного понижения уровня грунтовых вод наибольшее распространение получили формулы Зихардта (25) и И. П. Кусакина (26):

$$R = 3000 \cdot S\sqrt{k}; \qquad (25)$$

$$R = 575 \cdot S\sqrt{kH}, \qquad (26)$$

где H — мощность водоносного слоя в $м$;

S — глубина понижения воды в колодце в $м$;

k — коэфициент фильтрации в *м/сек*.

Формула (26) выведена на основании германских данных по исполненным понижениям при помощи многоколодезных установок.

Формула (26) нашла довольно широкое применение в практике проектирования промышленных дренажей. Формулой (26) следует пользоваться при предварительных расчетах дренажных сооружений.

В рабочих и технических проектах величину радиуса влияния следует уточнять по данным опытных откачек.

8. Условия движения подземных вод в неоднородных грунтах. Понятие о среднем коэфициенте фильтрации

При рассмотрении движения грунтовых вод к дренажным сооружениям предполагалось, что эти сооружения работают в условиях однородного строения водоносных пластов. Обычно приходится иметь дело с неоднородным строением водоносных пластов.

В однородных пластах условия водопроницаемости одинаковы для всей рассматриваемой толщи; в неоднородных они могут изменяться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Поэтому величина водопроницаемости в отдельных частях пласта будет неодинаковой. Характер и форма движения грунтовых вод в неоднородных пластах будут отличны от движения в однородных пластах.

Уравнения движения грунтовых вод, выведенные для однородных пластов, не могут отвечать движению грунтовых вод в неоднородных пластах, так как коэфициент водопроводимости, входящий в эти уравнения, в этом случае становится переменной величиной.

Некоторые попытки теоретического освещения условий движения грунтовых вод в неоднородных пластах встречаются еще у Люгера и Шульце, а также в последней работе Дахлера и др., но общей, сложившейся теории движения грунтовых вод в неоднородных пластах, отвечающей практическим задачам, мы до последнего времени не имели. Лишь Г. Н. Каменский [1], базируясь на выведенном им значении среднего коэфициента фильтрации пласта, дает уравнения движения грунтовых вод для различных случаев залегания и чередования водоносных пластов.

Следует отметить, что понятие о среднем коэфициенте фильтрации водоносного пласта было введено еще Тимом, впервые применившим для исследования водоносности пласта откачки. Величина водопроводимости может быть определена путем откачки не только для однородных, но и для неоднородных пластов, и представляет собой средний коэфициент фильтрации пласта. Так как средний коэфициент фильтрации заменяет собой коэфициент водопроводимости всего комплекса, то Г. Н. Каменский предлагает воспользоваться им для количественного выражения водопроводимости в уравнениях движений грунтовых вод в неоднородных пластах.

---

[1] Каменский Г. Н. и др., Движение подземных вод в неоднородных пластах, 1935.

Предполагая, что водоносный пласт состоит из n слоев грунта, коэфициенты фильтрации которых имеют величины k_1, k_2, k_3,..., k_n, а мощности соответственно h_1, h_2, h_3,..., h_n, Г. Н. Каменский выводит формулу для определения среднего коэфициента фильтрации:

$$K=\frac{\sum k_n h_n}{\sum h_n}. \qquad (27)$$

Применяя значения среднего коэфициента фильтрации в формулах движения грунтовых вод к дренам, выведенным для однородных грунтов, практически можно также решать задачи для неоднородных пластов.

Подобное решение допустимо лишь в случае, когда коэфициенты фильтрации отдельных слоев не отличаются резко друг от друга. При большой разнице величин K отдельные слои с малым коэфициентом фильтрации принимают ничтожное участие в пропускной способности подземного потока, а потому практически могут быть условно приняты за водоупор.

ГЛАВА XI

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕН

Гидравлический расчет

Гидравлический расчет водоотводящей части горизонтальных труб или лотков состоит из определения размеров поперечного сечения и проверки предельных максимальных и минимальных скоростей течения воды.

При подборе необходимых размеров дрен и проверке максимальных скоростей течения воды в них необходимо исходить из максимально возможного значения ожидаемого дебита дренажей при наиболее неблагоприятном режиме его работы (например периоды максимальных уровней грунтовых вод для систематических, кольцевых и головных дренажей или же периоды наивысшего горизонта воды в реке при подпоре для берегового дренажа и т. д.).

При поверочных расчетах на минимальные значения допускаемых скоростей обычно исходят из зимнего режима работы дренажа, при котором дебиты его также являются минимальными.

Скорость течения воды в дренах (трубах и лотках) определяется по формуле Шези:

$$v=C\sqrt{RI}. \qquad (1)$$

Для трубчатого дренажа при работе дрен полным сечением:

$$R=\frac{\omega}{p}=\frac{\pi d^2}{4\pi d}=\frac{d}{4}.$$

Тогда:

$$v = C\sqrt{\frac{d}{4} \cdot I} = \frac{C}{2}\sqrt{dI} = C_0\sqrt{dI}, \qquad (2)$$

где $C_0 = \frac{C}{2}$ и $C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$ (по Базену).

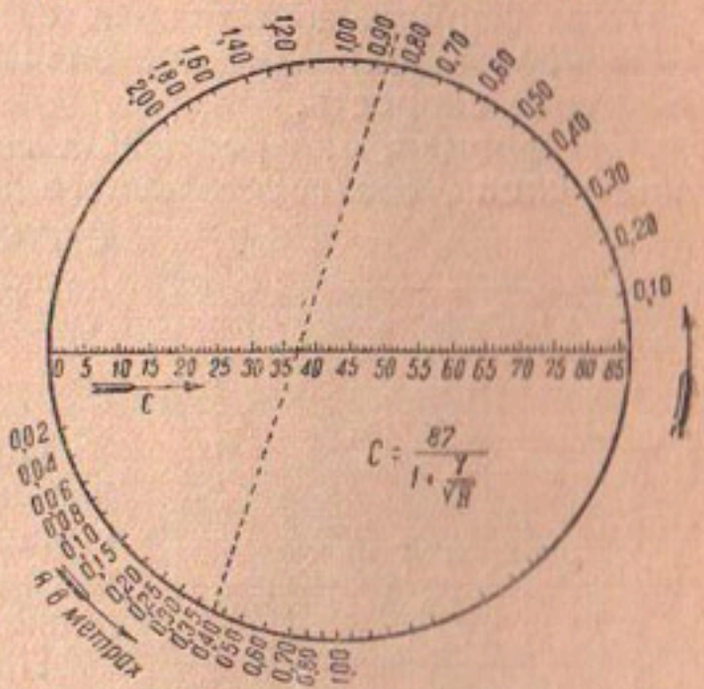
Для упрощения расчетов на фиг. 57 приведена номограмма для определения значений C в формуле Базена.

Значения C по Базену могут быть представлены в виде:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{2\gamma}{\sqrt{d}}}.$$

Для коэфициента шероховатости γ могут быть приняты следующие значения:

для гончарных или керамиковых труб $\gamma = 0{,}19 - 0{,}24$;
для бетонных труб или бетонированных лотков $\gamma = 0{,}19$;
для деревянных труб или лотков из нестроганных досок $\gamma = 0{,}16$, а из строганых досок $\gamma = 0{,}20 - 0{,}22$.



Фиг. 57. Номограмма для определения значений C по формуле Базена

В Германии для определения скоростей течения воды в гончарных дренах часто пользуются формулой Винцента:

$$v = 3{,}59k\sqrt{\frac{dh}{2 + d}}, \qquad (3)$$

где k — коэфициент, выражающий сопротивление в дренажных трубах. Величина k зависит от диаметра дрен и приведена в табл. 7;
d — диаметр дрены в $м$;
h — уклон дрены в %.

Таблица 7

d см	4	5	8	10	13	16	18	20
k	0,71	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,90	0,91

Новейшей дренажной практике лучше всего отвечает формула Маннинга, применяемая для расчета дрен, главным образом в Америке и отчасти в СССР.

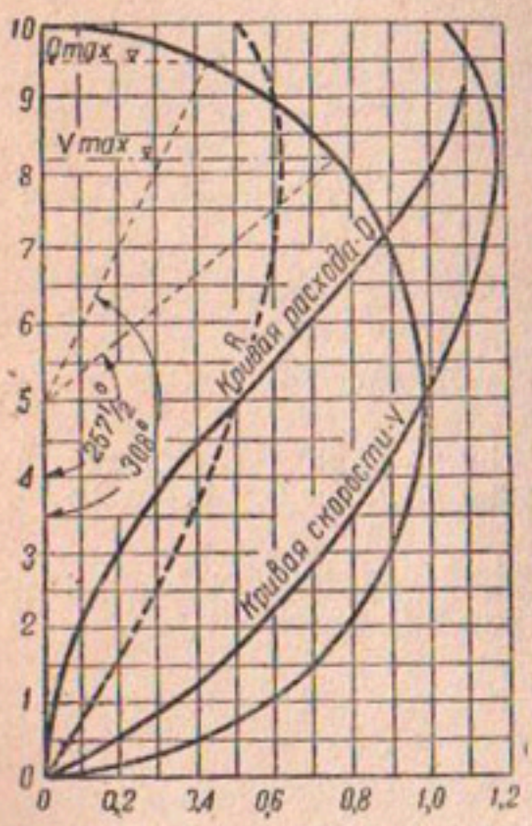
Определенные по этой формуле коэфициенты шероховатости (опыты департамента земледелия США) дали для гончарных труб средние значения $n = 0{,}011$. Новая формула Маннинга, названная формулой *USDA*, имеет следующий вид:

$$v = 90 \cdot R^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \ м/сек. \qquad (4)$$

Эта формула проверялась при диаметре труб от 10 до 30 *см*. Для небольших диаметров она дает на 10—15 % преувеличенное значение скорости.

Из формул, определяющих скорость (v), можно найти значение уклона, соответствующего той или иной скорости. Так, из формулы Шези будем иметь:

$$I = \frac{v^2}{C_0^2 \cdot d}. \qquad (5)$$



Фиг. 58. График расчета трубчатых дрен при различном их наполнении

Подставляя в эту формулу предельные значения v, получим тот минимальный или максимальный уклон, который может быть допущен для данного диаметра дрен.

Пропускная способность дрен и лотков определяется уравнением:

$$Q = v\omega. \qquad (6)$$

Принятая пропускная способность должна соответствовать размеру ожидаемого дебита дрены. При назначении поперечного сечения дрены следует решить вопрос о том, допустима ли работа дрены полным сечением. С одной стороны, в дренах должен циркулировать воздух и сечение не должно целиком заполняться водой, а с другой—для увеличения скорости течения воды во избежание засорения дрен необходимо, чтобы значение гидравлического радиуса было максимальным. В круглой трубе наибольшее значение гидравлического радиуса, а следовательно и скорости течения получаются не при полном наполнении трубы, а при заполнении на высоту $0{,}81\,D$.

Максимальная же пропускная способность имеет место при заполнении на высоту $0{,}95\,D$ полной высоты (фиг. 58).

График, изображенный на фиг. 58, позволяет решать задачи расчета дрен при разном заполнении их водой. Это решение сводится к следующему.

Задавшись диаметром дрены, находим для заданного уклона

ее пропускную способность при полном заполнении по формуле:

$$Q = v\omega = \frac{\pi d^2}{4} \cdot C_0 \sqrt{dI} = 0{,}79\, C_0 \cdot d^{\frac{3}{2}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \qquad (7)$$

и по формуле (2) соответствующую ей скорость v_1.

Зная ожидаемый дебит дрены q, находим соотношение расходов $q : Q$.

По графику (фиг. 58), восстанавливая перпендикуляр с горизонтальной его шкалы, от точки, соответствующей соотношению $q : Q$, до пересечения с кривой расхода, находим на вертикальной шкале глубину наполнения дрены в процентах.

По тому же графику, восстанавливая перпендикуляр с вертикальной шкалы, от точки, соответствующей полученному проценту наполнения дрены, до пересечения с кривой скоростей, находим на горизонтальной шкале значение коэфициента k — перехода от скорости при полном наполнении v_1 к скорости при найденном наполнении v_2.

Такая искомая скорость определяется по формуле:

$$v_2 = k \cdot v_1. \qquad (8)$$

Пример. Требуется определить глубину наполнения дрены и скорости течения воды в ней при характерных режимах работы дренажа, если дано: $q_{max} = 5{,}99$ *л/сек*; $q_{min} = 3{,}48$ *л/сек*; $d = 0{,}20$ *м*; $I = 0{,}001$.

Тогда по формуле (7) находим возможный расход дрены при полном наполнении:

$$Q = 0{,}79\, C_0 \cdot d^{\frac{3}{2}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 9{,}63 \text{ л/сек}.$$

Соответствующая этому расходу скорость по формуле (2):

$$v_1 = 0{,}32 \text{ м/сек}.$$

Затем находим соотношения расходов:

$$q_{max} : Q = 0{,}62;$$
$$q_{min} : Q = 0{,}36.$$

По графику (фиг. 58) находим глубины наполнения в процентах и пересчитываем их на метры:

$$h_{max} = 56\% = 0{,}112 \text{ м}$$
$$h_{min} = 42\% = 0{,}084 \text{ .}$$

По тому же графику для полученных значений глубины наполнения (в %) находим коэфициенты перехода скорости k:

$$k_{max} = 1{,}05;$$
$$k_{min} = 0{,}90.$$

По формуле (8) искомые скорости будут равны:

$$v_{max} = 0{,}34 \text{ м/сек} \quad \text{и} \quad v_{min} = 0{,}29 \text{ м/сек}.$$

Что касается гидравлического расчета галлерейных дренажей, то он вполне аналогичен расчету водоотводных лотков и сводится обычно к нахождению глубин заполнения при заданном дебите дренажа и поверке допустимости скоростей течения воды.

Примеры расчета. Для иллюстрации приведем примеры расчета головного и кольцевого дренажей.

Расчет головного дренажа. Для защиты от подтопления грунтовыми водами территории промышленного комбината, на которой расположено значительное количество заглубленных подвальных помещений, проектируется горизонтальный головной дренаж.

Требуется определить: дебит дренажа, размеры дренажных труб, глубину их заложения и положение пониженного зеркала грунтовых вод на дренируемой территории.

Дренируемая территория располагается на правобережной террасе реки. Отметки уровня земли 140,5 — 140,0 *м*.

Геологолитологический разрез характеризуется следующими данными. В основании залегают мергели татарского яруса верхнепермских отложений (отметка их поверхности 132,0—132,5 *м*), перекрываемые древнеаллювиальными, довольно глинистыми песками. Грунтовые воды залегают на глубине 0,5—1,0 *м* от поверхности земли и приурочиваются к указанным выше древнеаллювиальным пескам. Общее падение поверхности коренных пород (мергелей) и зеркала грунтовых вод — к реке. Река служит естественным дренажем для водоносного горизонта. Судя по отметкам залегания грунтовых вод и горизонтов воды в реке, подпора грунтовых вод с ее стороны (даже в период прохождения паводка в реке) ожидать не приходится.

Головной дренаж запроектирован по верхней границе защищаемой территории на отм. 134,5—135,0 *м*.

По данным произведенных исследований коэфициент фильтрации в среднем может быть принят равным 4,0 *м/сутки* = 0,000047 *м/сек*.

Отметка полов заглубленных сооружений на защищаемой территории — 135,20 *м*. Общая длина головного дренажа составляет 500 *пог. м*.

Для расчета примем:

H — мощность водоносного пласта 140,5 — 0,5 — 132,0 = 8,0 *м*;

H_1 — глубина погружения дренажа в водоносный слой, равная 5,25 *м*;

трубы — керамиковые диаметром $d = 0{,}50$ *м*, с фильтрующей обсыпкой из гравия;

I — уклон дрены, равный 0,001.

Проверим, может ли иметь место затопление дрены вследствие недостаточной водозахватной ее способности.

Примем: n — порозность песка, равная 0,35;

n_1 — „ гравия „ 0,20;

$k_{гр} = 4$ *м/сутки*;

$k_{ф} = 15$ *м/сутки*.

По формуле (24):

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot n \cdot k_{гр}}{k_{ф} \cdot n_1} = \frac{3{,}14 \cdot 50 \cdot 0{,}35 \cdot 4}{15 \cdot 0{,}20} = 75\ см^2.$$

Это вполне осуществимо и затопление не будет иметь места.

По формуле Кусакина определим радиус действия дренажа:

$$R = 575 \cdot S \cdot \sqrt{kH} = 575 \cdot 5{,}0 \cdot \sqrt{8{,}0 \cdot 0{,}000047} \approx 55\ м.$$

Предварительно определим удельный дебит дренажа по формуле Костякова:

$$q = \eta \frac{a \cdot k\,(H_1 - h_0)}{\ln \frac{R}{r_0}} = 0{,}80\ \frac{1{,}66 \cdot 4{,}0 \cdot (5{,}25 - 0{,}50)}{\ln \frac{55}{0{,}25}} = 4{,}68\ м^3/сутки;$$

η — поправочный коэфициент=0,80 (по нашим опытным данным);

$$a = \frac{\pi}{2} + \frac{H_1}{R} = 1{,}57 + \frac{5{,}25}{55} = 1{,}66;$$

$$\frac{R}{r_0} = \frac{55{,}0}{0{,}25} = 220;\quad \ln 220 = 5{,}48.$$

Общий дебит дренажа составит:

$$Q_1 = q \cdot l = 4{,}68 \cdot 500 = 2\,340\ м^3/сутки = 0{,}027\ м^3/сек.$$

Произведем поверочный расчет пропускной способности дрены:

$$\omega_{др} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}50^2}{4} = 0{,}196\ м^2;$$

$$R = \frac{d}{4} = \frac{0{,}50}{4} = 0{,}125;$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \frac{0{,}20}{\sqrt{0{,}125}}} = 55{,}5;$$

$$v_1 = C\sqrt{RI} = 55{,}5 \cdot \sqrt{0{,}125 \cdot 0{,}001} = 0{,}62\ м/сек;$$

$$Q_2 = 0{,}196 \cdot 0{,}62 = 0{,}119\ м^3/сек;$$

$$Q_1 : Q_2 = 0{,}027 : 0{,}119 = 0{,}22;$$

$k_1 = 0{,}32$, $k_2 = 0{,}74$ } по графику $h = 0{,}32 \cdot 0{,}50 = 0{,}16\ м$; $v_2 = 0{,}74 \cdot 0{,}62 = 0{,}46\ м/сек.$

По формуле (20а) определим высоту участка выхода:

$$h_0 = 0{,}441 \cdot \frac{q}{k} = 0{,}441 \cdot \frac{4{,}68}{4} \approx 0{,}50\ м.$$

Таким образом высота участка выхода укладывается в пределах поверхности дрены.

Депрессионную кривую вверх по потоку рассчитываем по формуле Чугаева. Расчеты сведены в табл. 8.

Таблица 8

x	y
5,0	1,54
10,0	1,89
20,0	3,01
35,0	3,9
55,0	5,0

Что касается уровня грунтовых вод в направлении потока, то, учитывая отсутствие инфильтрации в пределах защищаемой территории, возможно ожидать его примерно на отметках уровня воды в самой дрене (134,66 *м*), что полностью защищает подвальные помещения от подтопления грунтовыми водами.

Расчет кольцевого дренажа. Для защиты от подтопления грунтовыми водами подвального помещения по его контуру проектируется горизонтальный кольцевой дренаж.

Требуется определить: дебит дренажа, размеры дренажных труб, глубину их заложения и положение пониженного зеркала грунтовых вод на дренируемом участке.

Дренируемый участок располагается в пределах первой надпойменной террасы реки. Отметки уровня земли 134—135 *м*.

Геологолитологический разрез характеризуется следующими данными. В основании разреза залегают юрские плотные глины, имеющие довольно неправильную поверхность (отм. 127—128 *м*); на них располагаются древнеаллювиальные разнозернистые пески с примесью глинистых частиц мощностью 7—8 *м*.

Грунтовые воды залегают на глубине 0,20—0,5 *м* от поверхности земли и ясно выраженного уклона не имеют.

По данным произведенных исследований коэфициент фильтрации песчаных отложений в среднем может быть принят равным 6 *м/сутки*, или 0,00007 *м/сек*.

Отметка пола подвального помещения равна 130,76 *м*. Кольцевой дренаж закладывается на глубине до 4,5 *м*. Общая протяженность дренажного кольца составляет 150 *пог. м*.

Произведем расчет дренажа. Для расчета примем:

мощность водоносного пласта $H = 7{,}00\ м$;

глубина погружения дренажа в водоносный слой $H_1 = 4{,}20\ м$;

трубы — керамиковые диаметром $d = 20$ *см* с фильтрующей обсыпкой из гравия;

I — уклон дрен, равный 0,003.

Требуемое понижение уровня грунтовых вод:

$$S = H - h = 4{,}20 - 0{,}10 = 4{,}10 \text{ м}.$$

Проверим, может ли иметь место затопление дрены вследствие недостаточной водозахватной ее способности.

Примем: n — порозность песка, равная 0,35;

n_1 „ „ гравия „ 0,20;

$k_{гр} = 6$ *м/сутки*;

$k_{ф} = 20$ „ „

По формуле (24):

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot n \cdot k_{гр}}{k_{ф} \cdot n_1} = \frac{3{,}14 \cdot 20 \cdot 0{,}35 \cdot 6}{20 \cdot 0{,}20} = 33{,}4 \text{ см}^2.$$

Это вполне осуществимо, и затопление не будет иметь место.

По формуле Кусакина определим радиус действия дренажа:

$$R = 575 S \cdot \sqrt{kH} = 575 \cdot 4{,}1 \cdot \sqrt{0{,}0007 \cdot 7{,}00} = 50 \text{ м}.$$

По формуле Костякова подсчитаем удельный дебит дренажа:

$$q = \eta \frac{\alpha k (H_1 - h_0)}{\ln \frac{R}{r_0}} = 0{,}70 \frac{1{,}61 \cdot 6 (4{,}20 - 0{,}10)}{6{,}21} = 4{,}45 \text{ м}^3/\text{сутки};$$

где

η — поправочный коэфициент = 0,70 (по нашим опытным данным);

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{H_1}{R} = 1{,}57 + 0{,}04 = 1{,}61;$$

$$\frac{R}{r_0} = \frac{50}{0{,}10} = 500; \quad \ln 500 = 6{,}21.$$

Общий дебит дренажа составит:

$$Q_1 = ql = 4{,}45 \cdot 150 = 66{,}5 \text{ м}^3/\text{сутки} = 0{,}0077 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Произведем поверочный расчет пропускной способности дрен:

$$\omega_{др} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}20^2}{4} = 0{,}0314 \text{ м}^2;$$

$$k = \frac{d}{4} = \frac{0{,}20}{4} = 0{,}05;$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} = \frac{87}{1 + \frac{0{,}20}{\sqrt{0{,}05}}} = 46;$$

$$v_1 = C\sqrt{RI} = 46 \cdot \sqrt{0{,}05 \cdot 0{,}003} = 0{,}55 \text{ м/сек};$$

$$Q_2 = 0{,}0314 \cdot 0{,}55 = 0{,}01727 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$Q_1 : Q_2 = 0{,}0077 : 0{,}01727 = 0{,}44;$$

$k_1 = 0{,}47$, $k_2 = 0{,}95$ — по графику $h = 0{,}094 = 0{,}10$ *м*;

$v_2 = 0{,}55 \cdot 0{,}95 = 0{,}52$ *м/сек*.

Произведенные расчеты показывают, что принятый диаметр дрены полностью отвечает требованиям беспрепятственного отвода дренажных вод как в отношении достаточности размера, так и создания благоприятного для эксплоатации скоростного режима.

По формуле (20а) определим величину участка выхода:

$$h_0 = 0{,}441 \cdot \frac{q}{k} = 0{,}441 \cdot \frac{0{,}0077}{6} \approx 0{,}02\ м.$$

Депрессионную кривую с наружной стороны кольца рассчитаем по формуле Чугаева. Расчеты сведены в табл. 9.

Что же касается уровня грунтовых вод внутри кольца, то, учитывая отсутствие инфильтрации в пределах защищаемой территории, возможно ожидать его на отметках, примерно равных уровню воды в самой дрене (130,20 *м*), что полностью защищает подвальное помещение от подтопления грунтовыми водами.

Таблица 9

x	*y*
5	1,12
10	1,80
20	2,54
35	3,38
50	4,05

ГЛАВА XII

ТРАССИРОВАНИЕ ДРЕНАЖЕЙ

От правильного трассирования дренажей зависит надлежащая работа всей дренажной системы.

Трассирование дренажей состоит из: 1) расположения дренажной сети в плане;

2) выбора глубины заложения дренажей;

3) сопряжения дренажных линий между собой в плане и профиле;

4) выбора проектных уклонов дренажных линий.

1. Расположение дренажной сети в плане

Расположение дренажной сети в плане при дренировании городских и промышленных площадок определяется характером застройки и системой дренирования.

При систематическом дренаже магистральные коллекторы приурочиваются обычно к проездам и уличным магистралям; коллекторы-собиратели приурочиваются к второстепенным проездам и улицам и наконец осушители прокладываются внутри кварталов застройки, используя для этого дворовые проезды или незастроенные площади.

Расположение головного дренажа в плане определяется верхней границей защищаемой территории и направлением притекающего на эту территорию со стороны потока грунтовых вод. Трасса головного дренажа располагается по возможности нормально к направлению грунтового потока; при этом для ее прокладки следует использовать существующие проезды или уличные магистрали, проходящие вблизи верхней границы защищаемого участка.

Положение трассы берегового дренажа определяется направлением водного потока и береговой линией водоема, от подтопления которого защищается данная территория. При этом должны быть максимально использованы существующие вдоль береговой линии уличные или заводские проезды или же незастроенные территории. Замыкающие линии берегового дренажа должны быть направлены по возможности по кратчайшему

расстоянию к местам выклинивания подпора, приурочиваясь к существующим проездам или улицам.

Расположение в плане кольцевых дренажей определяется исключительно контурами самих защищаемых участков или отдельных сооружений или зданий; при наличии сложных контуров не следует строго им следовать, а необходимо максимально стремиться к сокращению линии дренажного кольца. При наличии ряда отдельных участков или сооружений, разбросанных по общей территории промышленного предприятия или жилищно-бытового комбината и требующих защиты от подтопления, следует прорабатывать варианты как местного окольцевания, так и охвата в кольцо более широкого района с тем, чтобы иметь для решения вопроса о наивыгоднейшем расположении в плане кольцевого дренажа соответствующие технико-экономические показатели.

Независимо от принятой системы при трассировании дренажной сети на отдельных участках дренируемой территории необходимо учитывать интересы соседних территорий и в случае надобности кооперироваться с расположенными на них предприятиями.

Тесная увязка местных интересов с общегосударственными приводит к более рациональным и экономическим решениям. Примером служит московский береговой дренаж защищающий обширный район и заменивший собой большой комплекс мелких дренажных сооружений и гидроизоляционных работ, намечавшихся первоначально.

Проектируемая дренажная сеть должна быть увязана с существующим и проектируемым подземным хозяйством города или предприятия.

Расположение дренажной сети в плане зависит также и от гидрогеологических условий дренируемой площади. Так, при трассировании головных дренажей необходимо располагать их по возможности на участках с более высокими отметками поверхности водоупора (для уменьшения глубины их заложения). Влияние гидрогеологических условий защищаемого участка может иметь значение и при других системах дренажа.

В застроенных местах расположение дренажных линий необходимо увязывать с положением отдельных сооружений или зданий, так как при прокладке горизонтальных или комбинированных дренажей частично нарушаются условия равновесия земляных масс, являющихся основанием для сооружений.

В тех случаях, когда дренаж укладывается на водоупоре, а фундамент сооружения располагается значительно ниже отметки дрен, расстояние трассы дренажа от здания или сооружения может быть принято любым, удобным для проведения работ по осуществлению дренажа.

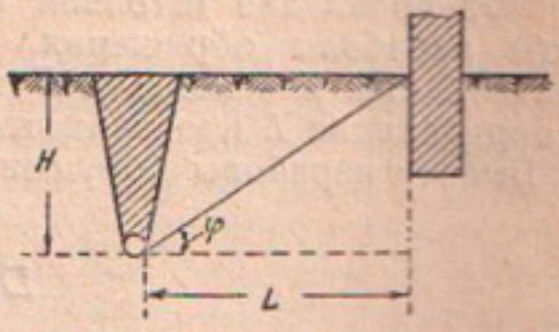
При работе такого дренажа приток воды к нему будет осуществляться лишь со стороны грунтового потока. Движение воды к основанию сооружения не будет иметь места, и потому

устройство дренажа на устойчивость сооружения не окажет существенного влияния.

В случае укладки дренажа в водоносном слое выше водоупора при расположении в нем фундамента сооружения приток воды будет иметь место и из-под основания сооружения, что может повлечь за собой вымыв из грунта мелких частиц, обрушение сооружения в сторону дренажной траншеи. Наличие дренажа может вызвать изменение режима грунтовой массы в основании сооружений (например неравномерную осадку грунтов на различных участках).

Указанные факторы могут привести к ослаблению основания сооружения и должны быть соответственно учтены при трассировании дренажа.

Рассмотрим требования, предъявляемые к расположению дренажных линий, по отношению к зданиям, обеспечивающие их безопасность.

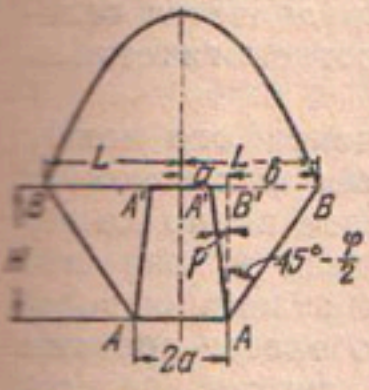


Фиг. 59. Схема определения безопасных расстояний дренажных траншей от зданий

При устройстве дренажа открытым (траншейным) способом дренажные линии во избежание повреждения зданий следует располагать с таким расчетом, чтобы последние оказались за границами возможного обрушения грунта.

Так, если горизонтальная дрена укладывается на глубине H (фиг. 59) в грунте с углом внутреннего трения φ, то расстояние L, на котором должна проходить дренажная линия от наружного контура здания, определяется неравенством:

$$L \geqslant H \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right). \qquad (1)$$



Фиг. 60 Схема определения безопасных расстояний дренажных штолен от зданий при туннельном способе работ

Аналогичные условия должны быть соблюдены и при устройстве шахтных колодцев.

Величина L определяется несколько иным путем при устройстве дренажных штолен, прокладываемых туннельным способом. В этом случае согласно исследованиям проф. М. М. Протодьяконова вероятное обрушение породы при проходке штольни ограничивается двумя плоскостями обрушения и параболоидом над ними. Для нахождения величины L (фиг. 60) от подошвы стенок крепления штольни проводятся плоскости обрушения AB под углом $\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$ к вертикали (где φ — угол внутреннего трения грунта) до пересечения с горизонталью, проходящей на уровне потолка выработки.

Расстояние оси дренажной штольни от наружного контура зданий определится неравенством:

$$L \geqslant a + H' \operatorname{tg}\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right), \qquad (2)$$

где a — половина пролета выработки;
H' — высота выработки.

При прокладке штольни на глубине, меньшей двойной высоты параболы обрушения, т. е. $H < 2D$, для расчета принимается, что плоскость AB выходит на дневную поверхность и определение L производится по формуле (1).

Высота параболы обрушения D находится по формуле:

$$D = \frac{L}{f}, \qquad (3)$$

где L находится по формуле (2);
$f = \operatorname{tg}\varphi$ — коэфициент внутреннего трения породы.

2. Выбор глубины заложения дренажей

Глубина заложения дренажей имеет исключительно большое значение. Необходимая глубина заложения определяется величиной понижения уровня грунтовых вод и гидрогеологическими условиями дренируемой территории.

При головном дренаже на глубину заложения его может влиять положение поверхности водоупора, так как перехват грунтового потока в обычных условиях наиболее полно достигается при заложении дрены на водоупоре или вблизи его. В некоторых случаях, при довольно глубоком залегании водоупора или при наличии на поверхности его по трассе дренажа значительных неровностей, представляется вполне целесообразным заложение дрены на более высоких отметках, но с укладкой ее на шпунтовом ряду специально забиваемом из дренажной траншеи до водоупора.

Предельная глубина траншей, разрабатываемых открытым способом, обычно не превышает 10—12 *м*, но практически их глубина не превышает 6—8 *м*.

При применении трубчатых систематических дренажей неглубокого заложения следует учитывать также и глубину промерзания грунта, так как периодическое промерзание и оттаивание грунта может привести к полному расстройству линии труб. Замерзший вокруг дрены грунт будет кроме того затруднять поступление воды в дрену. Дренажи со сплошным заполнением менее морозоопасны, а потому могут закладываться и на небольшой глубине, обеспечивающей дренирование территории.

3. Сопряжение дренажных линий в плане и в профиле

Сопряжение отдельных дренажных линий между собой в плане и в профиле осуществляется различно в зависимости от принятой системы дренажа и типа конструкции.

При устройстве открытых дренажей в виде лотков или каналов последние сопрягаются обычными приемами, практикуемыми при трассировке осушительных или водоотводных сооружений.

Сопряжение дренажей со сплошным заполнением производится такими же способами, как и для открытых канав. При этом не следует допускать примыкания отдельных дренажных линий или же их изломов в плане под острым углом ($\alpha < 30°$).

При применении трубчатого дренажа в зависимости от принятой системы расположения дренажа в плане (систематический, головной, кольцевой или береговой дренажи) могут встретиться следующие основные случаи сопряжений:

а) Изломы линий на поворотах под большим углом.

б) Угловое примыкание продольных линий к поперечным выпускам (обычно под углом, близким к 90°).

в) Соединение в одном узле трех линий (двух — продольных с поперечным выпуском) и т. д.

В вертикальной плоскости примыкание отдельных линий может быть осуществлено с образованием перепадов (или без них). В зависимости от числа сопрягаемых линий в одном узле будет иметь место примыкание двух, трех и т. д. линий (двойники, тройники и т. д.).

На изломах линий в плане под достаточно большим углом, без образования перепада ($\alpha > 90°$) при сравнительно большом диаметре труб (свыше 15—20 *см*) применяются фасонные части. При сопряжении в одном узле трех линий, а также во всех случаях примыканий, с образованием перепадов устраиваются смотровые колодцы с присоединением к ним отдельных линий под соответствующими углами. Сопряжение бьефов в них при наличии перепадов осуществляется или в виде лотков-быстротоков или по типу колодцев-отстойников. Последние применяются в тех случаях, когда опасаются, что дренажные трубы вследствие малых уклонов за колодцами могут быть засорены взвешенными наносами дренажных вод.

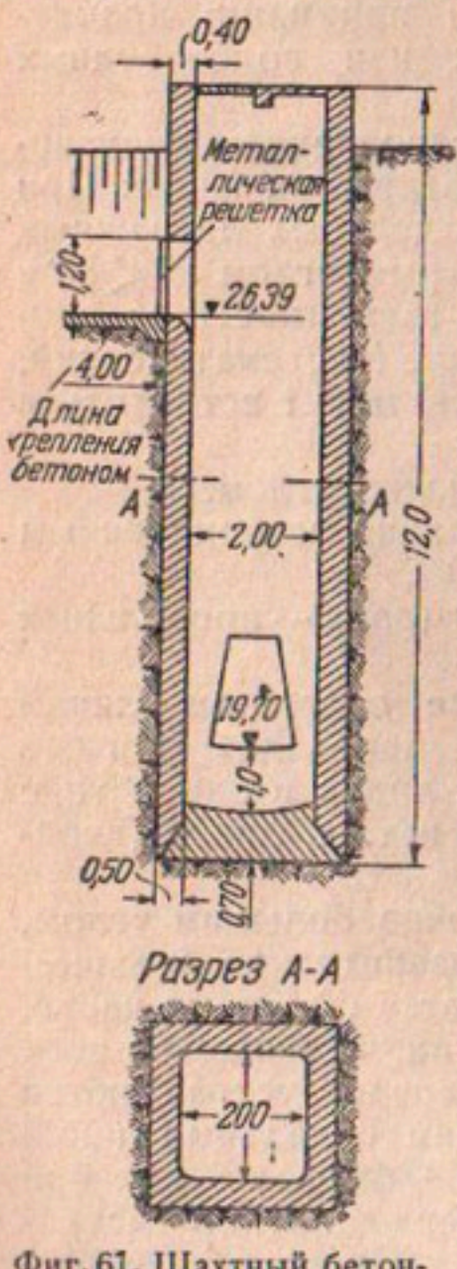
В случае примыкания дренажных линий под углом $\alpha = 90°$ и при небольшом диаметре труб (до 10—15 *см*) возможны сопряжения и без применения смотровых колодцев. При большем же диаметре и в этих случаях необходимо устройство смотровых колодцев.

В первом случае сопряжение осуществляется либо в одной либо в разных плоскостях. По первому способу соединение труб делается через отверстие в трубе впритык с обмазкой глиной. По второму способу примыкающая дрена низшего порядка накладывается на трубу высшего порядка сверху, причем соединение обеих линий достигается тем, что в сопри-

асающихся трубах пробиваются отверстия; трубы хорошо пригоняются друг к другу, а тупиковые концы закладываются камнями или глиной. Последний способ соединения является более надежным, так как при этом соединении менее задерживается движение воды в дрене высшего порядка и тем самым обеспечивается ее нормальная работа по отводу дренажных вод.

При соединении дренажных линий в одной плоскости для обеспечения лучшего отвода воды сопряжение в плане необходимо делать под углом 60—80°, а для соединений в разных плоскостях возможно сопряжение и под бо́льшим углом ($\alpha \leqslant 90°$).

При устройстве галлерейного дренажа открытым способом сопряжение делается под большим углом ($\alpha \leqslant 90°$), так как по гидравлическим условиям при относительно большом поперечном сечении галлереи нет надобности в плавном сопряжении струй дренажных стоков ввиду незначительности их расхода. Исходя из чисто конструктивных соображений, примыкание галлерейных дренажей друг к другу не следует допускать под углом $\alpha < 30°$.



Разрез А-А

Фиг. 61. Шахтный бетонный колодец

Сопряжение отдельных участков галлереи в вертикальной плоскости по гидравлическим условиям трассы часто приводит к необходимости образования перепадов. В этом случае сопряжение достигается устройством шахтных колодцев (фиг. 61).

При устройстве галлерейного дренажа туннельным способом (дренажных штолен) гидравлические требования остаются такими же, как и для предыдущего типа дренажей. В этом случае сопряжение отдельных участков или ветвей дренажных штолен в плане определяется условиями производства работ и конструктивными особенностями сооружения. Сопряжение в плане дренажных штолен производится обычно под прямым углом. На слабых изломах разбиваются плавные кривые. При установлении предельных значений допускаемых радиусов этих кривых, разбиваемых на ломаных участках, приходится исходить из условий возможности транспортирования вырабатываемого грунта за пределы сооружения. Разбивку кривых необходимо согласовывать с конструктивными возможностями и гидрогеологическими условиями трассы.

Для транспортировки выработанного грунта из штольни применяются легкие рельсовые пути с шириной колеи 600—750 *мм* при откатке по ним вагонеток вручную.

По литературным данным наименьший радиус кривых на уклонах до $I \leqslant 0{,}01$ допускается $R_{min} \geqslant 50$ *м* при том условии, чтобы длина вагонетки не превышала 2 *м*. На путях с предельными уклонами до $I \leqslant 0{,}02$ радиус закруглений должен быть увеличен до $R_{min} \geqslant 70$ *м* и при уклонах от 0,02 до 0,03 и круче до $R_{min} \geqslant 100$ *м*. На горизонтальных путях или путях с весьма малыми уклонами радиус кривых может быть уменьшен до $R_{min} \geqslant 20$ *м*. Этому минимальному радиусу в достаточной степени удовлетворяют и конструктивные возможности крепления штолен.

Сопряжение дренажных штолен по высоте достигается при помощи шахтных колодцев.

4. Уклоны горизонтальных дренажей

Одним из весьма ответственных элементов трассирования горизонтальных дренажей являются уклоны. Выбор уклонов, при которых трасса дренажа наиболее полно охватывала бы осушаемый участок своим дренирующим влиянием и дренаж беспрепятственно отводил собираемые им воды к месту сброса, представляет достаточно сложную задачу. При назначении проектных уклонов дрен приходится исходить главным образом из гидравлических условий ее работы, а для некоторых типов (дренажные штольни) учитывать также и условия производства работ.

Гидравлические условия определяются предельными значениями скоростей течения воды в дренах, которые допускаются обычно в пределах от 0,20 до 1,0 *м/сек*. Меньшая скорость недопустима вследствие опасности заиления, большая же грозит опасностью размыва грунта (например в случае расхождения стыков в трубчатом дренаже).

Наименьшая допустимая скорость для: а) обыкновенных связных грунтов $v_{min} = 0{,}15—0{,}20$ *м/сек*; б) песчаных грунтов $v_{min} = 0{,}30—0{,}35$ *м/сек*; в) дрен, в которые могут поступать загрязненные верховые воды $v_{min} = 0{,}6$ *м/сек*.

Наибольшая скорость принимается не свыше 1,0 *м/сек*. При устройстве специальной защиты стыков наибольшая скорость может быть принята равной $v_{min} = 1{,}5$ *м/сек*.

Для обычных условий рекомендуется скорость в пределах от 0,50 до 0,70 *м/сек*. Исходя из указанных предельных скоростей течения воды в дренах, гидравлическим расчетом могут быть определены необходимые пределы проектных уклонов для каждого конкретного случая.

Для трубчатого дренажа из труб малого диаметра потребная минимальная величина уклона получается по расчету довольно значительной вследствие небольшого значения гидравлического радиуса и тех сопротивлений или замедлений скоростей течения воды в дренажах, которые обычно имеют место благодаря: а) постоянному поступлению воды через стыки труб по всей длине дрены, б) почти неизбежному искривлению труб в дренажной линии, в) возможному засорению и т. д.

Практически нужно стремиться закладывать дрены с наибольшим возможным уклоном.

В Америке (США) принимаются следующие минимальные уклоны дрен:

1) Для труб $d=10$ *см*:

а) в глинистых грунтах $I=0{,}002$
б) „ песчанистых „ $I=0{,}003$

2) Для боковых коллекторов $d=30$ *см* $I=0{,}0015$.

3) Для главного коллектора $d=30$ *см* $I=0{,}0005$, причем считают эти уклоны самыми минимальными и практически стремятся их увеличить.

При укладке дренажных труб в грунтах с относительно слабой водоотдачей, где ожидать сколько-нибудь значительного дебита воды в дрене не приходится, приводимые данные об уклонах ниже 0,002—0,003 являются неприемлемыми даже при применении большого диаметра труб.

Уклоны продольных дренажей со сплошным заполнением (щебеночные, хворостяные, фашинные и т. д.) следует принимать еще более крутыми, обычно не менее 0,005 и даже 0,01.

Уклоны открытых потоков и канав определяются гидравлическим расчетом, причем минимальное значение уклонов для них не следует назначать менее:

а) для лотков и канав с бетонным дном (или с дощатой обшивкой) —0,003;

б) для лотков и канав с мощеным дном —0,005.

При установлении предельных значений проектных уклонов в дренажных штольнях помимо гидравлических требований приходится учитывать также условия производства работ по откатке грунта, извлекаемого при проходке штольни.

При откатке грунта из штольни в вагонетках вручную по переносным рельсам легкого типа уклоны дна штольни не должны превышать уклона, установленного для данного вида транспорта. По данным практики уклоны этих путей не должны быть круче 0,03, так как иначе сильно увеличивается усилие, необходимое для передвижения вагонетки, и становится затруднительным торможение при спуске. Лишь на очень коротких участках в виде исключения уклоны могут достигать 0,05. В штольнях при откатке грунта вручную на тачках возможно увеличение уклонов до 0,30. Наиболее благоприятным уклоном при откатке груженых вагонеток под уклон и возвращении порожняком на подъем считается 0,01—0,015.

Для установления предельного значения уклонов дренажей галлерейного типа по гидравлическим условиям необходимо производить поверочные гидравлические расчеты водоотводной его части (лотка), исходя из минимальной предельно-допускаемой скорости течения воды в нем, при которой еще нельзя ожидать заиления русла лотка. Установив значение ожидаемого дебита и приняв минимально допустимую скорость течения воды в лотке, находят нижний предел проектных уклонов штольни.

Минимальную предельно-допустимую скорость течения воды в лотке возможно принять $v_{min} = 0{,}20$ *м/сек*. Обычно уклоны дренажей галлерейного типа, удовлетворяющие обоим требованиям, не выходят за пределы 0,005—0,05.

Проектные уклоны дренажей, намеченные исходя из гидравлических требований (а для штолен и из условий производства работ), должны быть согласованы с мощностью и падением водоносных пластов с тем, чтобы дрена могла выполнять свою дренирующую роль. Положение дренажа при закладке его на водоупорном пласте (в профиле) определяется условиями его падения. При невозможности следовать падению водоупорного пласта на значительном протяжении трассы приходится прибегать к устройству перепадов, а при местных неровностях рельефа к забивке шпунтов (особенно для работы головных дренажей). При заложении дренажа в самих водоносных пластах трассирование значительно облегчается и выбор уклонов определяется гидравлическими расчетами.

ГЛАВА XIII

СООРУЖЕНИЯ НА ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

Главнейшие искусственные сооружения, возводимые на дренажной сети, состоят из:

1) устья при выходе дренажа в открытый водоприемник (самотечный сброс дренируемых вод);

2) сборных колодцев-резервуаров и перекачечных устройств (при принудительном сбросе дренажных вод);

3) смотровых и осадочных колодцев и перепадов.

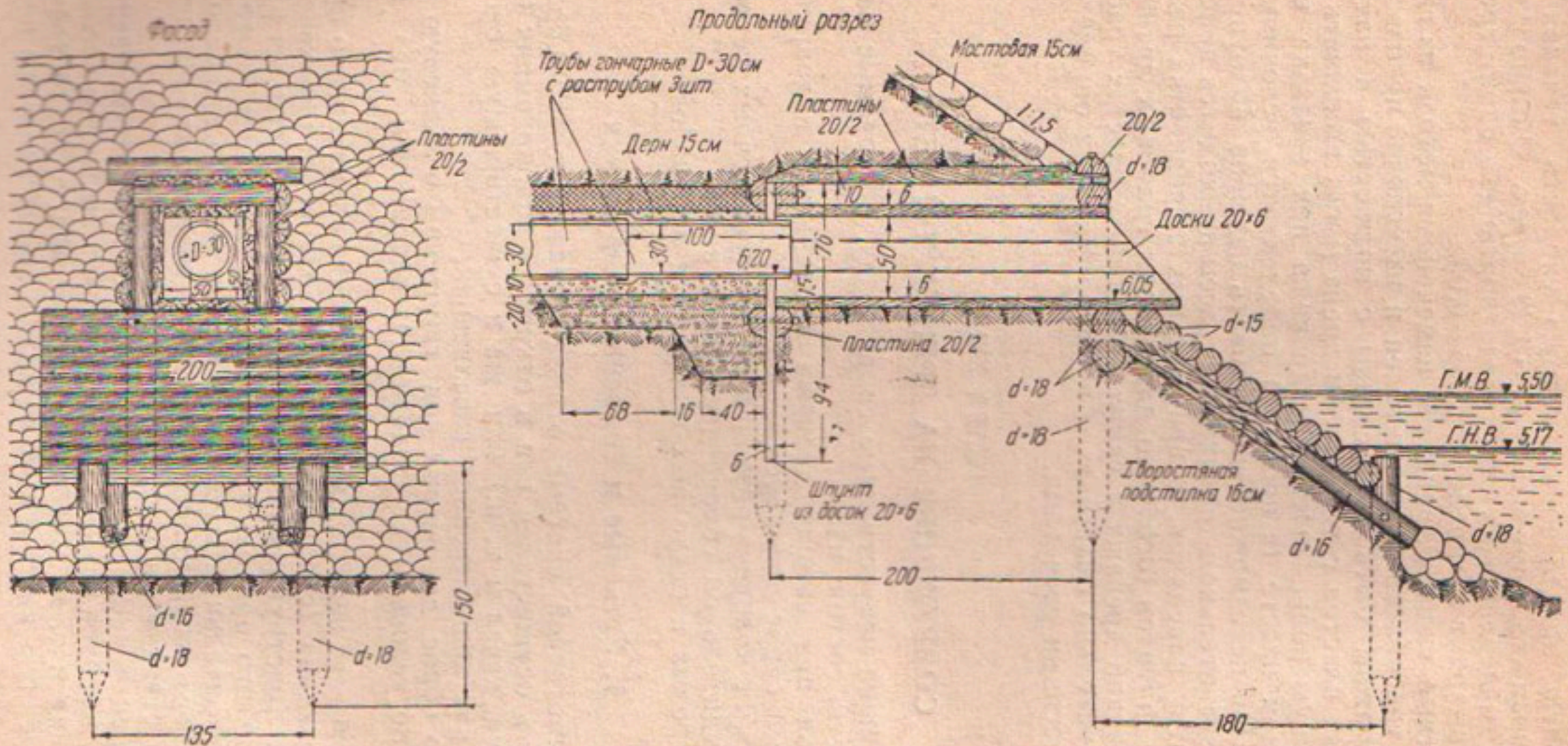
1. Устьевые и сбросные сооружения

При самотечной системе отвода дренажных вод сброс их может быть осуществлен или в открытый водоприемник (реку, озеро, пруд, канал и т. п.) или же в существующую систему ливневой или хозяйственной канализации.

Обычно сброс дренажных вод самотеком в ливневую канализацию по условиям ее заложения неприменим без перекачки.

Это вызывает необходимость устройства специального приемного сооружения (сборный колодец-резервуар) и перекачечной установки. Конструкция сборного колодца определяется размером ожидаемого притока дренажных вод, наличием соответствующих строительных материалов и т. д. Обычно это бетонный или железобетонный колодец круглого сечения с хорошо изолированными стенками и дном.

Тип перекачечных установок также определяется расходом перекачки, высотой всасывания и нагнетания, наличием насосного оборудования и т. д. Сброс дренажных вод в хозяйственную и промышленную канализацию не может осуществляться по эко-

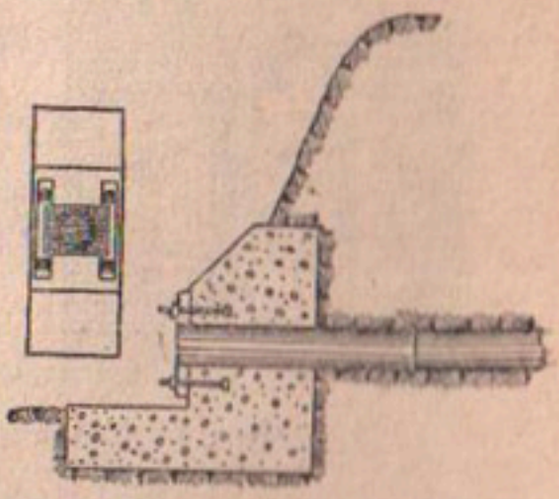


Фиг. 62. Устьевое сооружение простейшего типа

номическим соображениям, так как требует значительного увеличения ее пропускной способности, что связано с увеличением эксплоатационных расходов.

Использование ливневой и хозяйственной канализации для сброса дренажных вод может иметь место лишь в редких случаях. В этом случае присоединение дренажных линий осуществляется к одному из смотровых колодцев ливневой или канализационной сети. При этом никаких дополнительных устройств не требуется.

При выходе дренажной линии в естественный водоприемник (река, озеро и т. п.) устье дренажа обделывается в виде специального оголовка. Для обеспечения долговременной работы устья его необходимо сооружать на таких участках берега (река, озеро), в которых отсутствуют значительный размыв берега, оползневые и обвальные явления и лобовой удар льда. Устье дрены должно иметь также по возможности укрытое положение, мало заметное для людей и животных. На участке выхода дренажа к береговому откосу при значительных скоростях течения в водоприемнике сопряжение дренажной линии производится под острым углом к потоку с тем, чтобы воды водоприемника при повышенных горизонтах не могли набегать в дрену и заносить ее своими взвешенными наносами. Устье дрены снабжается обратным клапаном (затвором), автоматически закрывающимся при повышении уровня воды в водоприемнике. Рекомендуется также во входной части дренажа устраивать решетку для защиты его от попадания туда мелких животных.



Фиг. 63. Устье дренажа американского типа

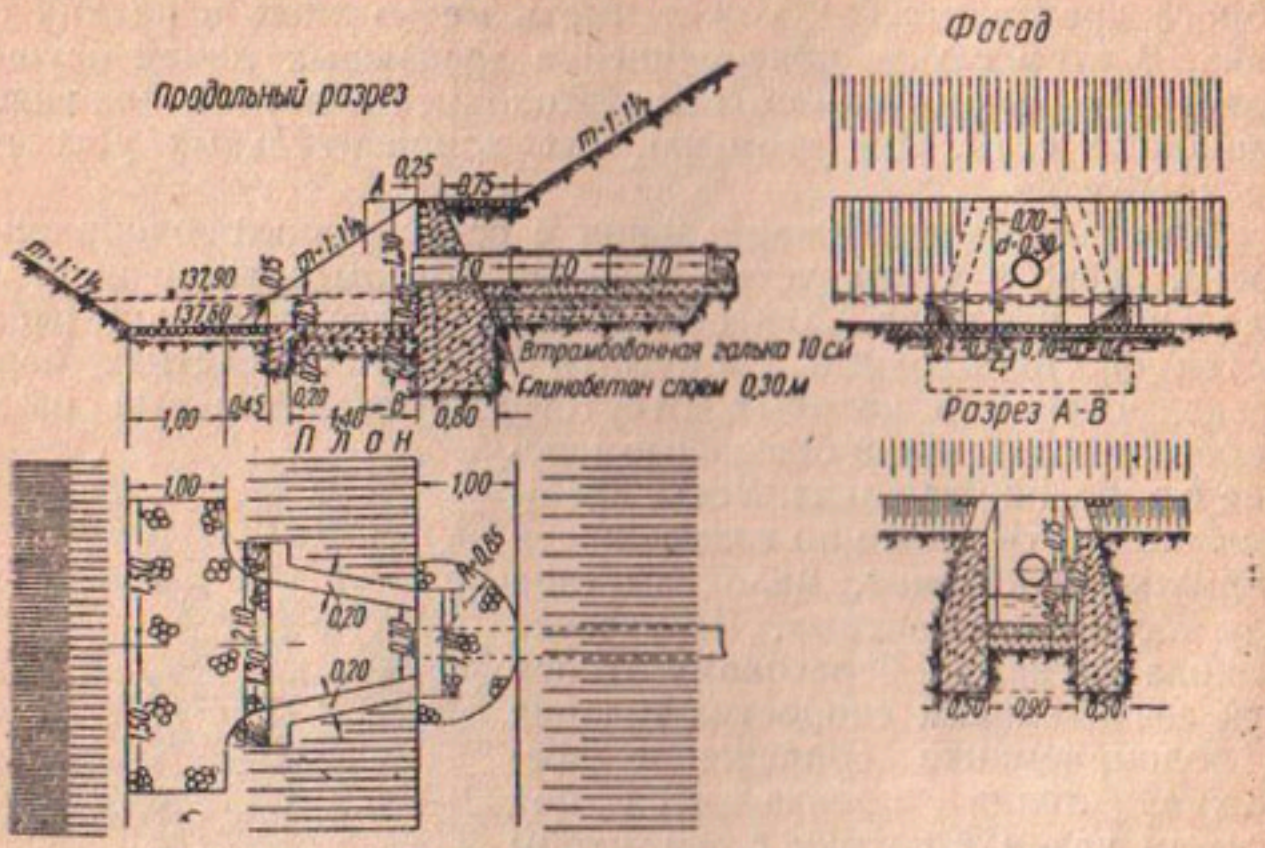
Отметка устьевого сооружения назначается по возможности выше максимального горизонта высоких вод, но так как это не всегда возможно, то стремятся к тому, чтобы подпор от водоприемника выклинивался в пределах сбросной части дренажа. В некоторых случаях это не удается и тогда необходимо предусматривать возможность перекачки дренируемых вод во время паводка. Необходимость такой перекачки должна быть обоснована, так как в некоторых случаях возможно мириться с кратковременным прекращением работы дренажного сооружения.

В береговых дренажах отметка устьевого сброса определяется положением подпертого горизонта в водоприемнике. Обычно эта отметка принимается на 0,10—0,20 *м* выше нормально-подпертого горизонта.

В конструктивном отношении устьевой сброс дренажа в зависимости от типа дренажного сооружения и характера берегового склона принимается по одному из нижеприводимых типов.

Простейший тип обделки устья представлен на фиг. 62 в виде деревянного устьевого сооружения в береговом откосе реки.

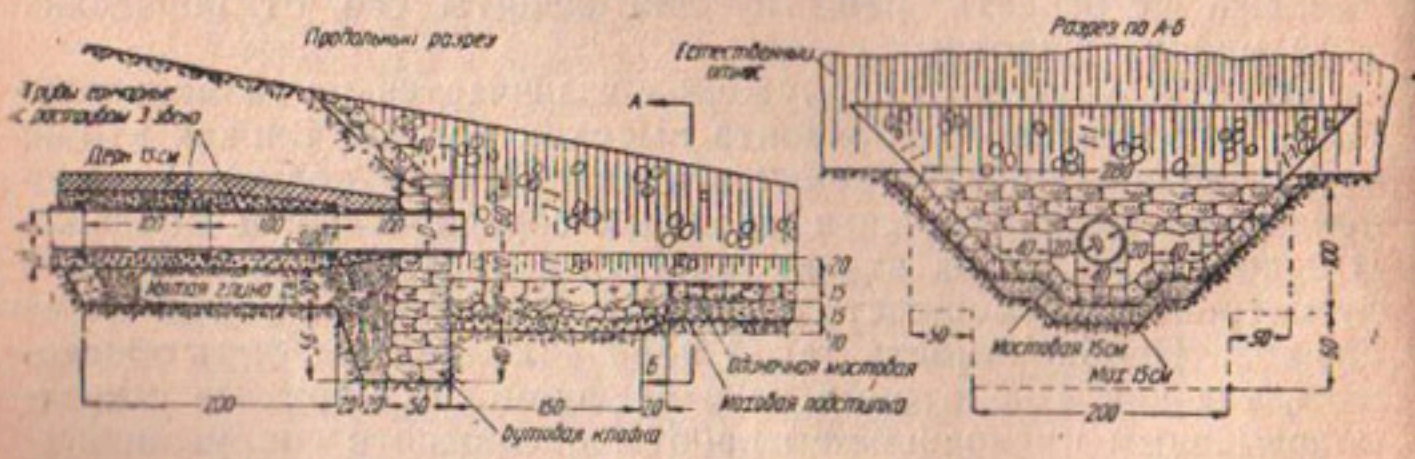
В американской практике обделка устьев нередко применяется бетонной конструкции (фиг. 63).



Фиг. 64. Устье дренажа в виде бетонного оголовка

При большом сбросе дренажной воды конец трубы заканчивается подпорной стенкой с открылками и дном в виде конструкции, изображенной на фиг. 64.

При выходе устья дренажа в открытый канал может найти применение конструкция сброса, изображенная на фиг. 65.



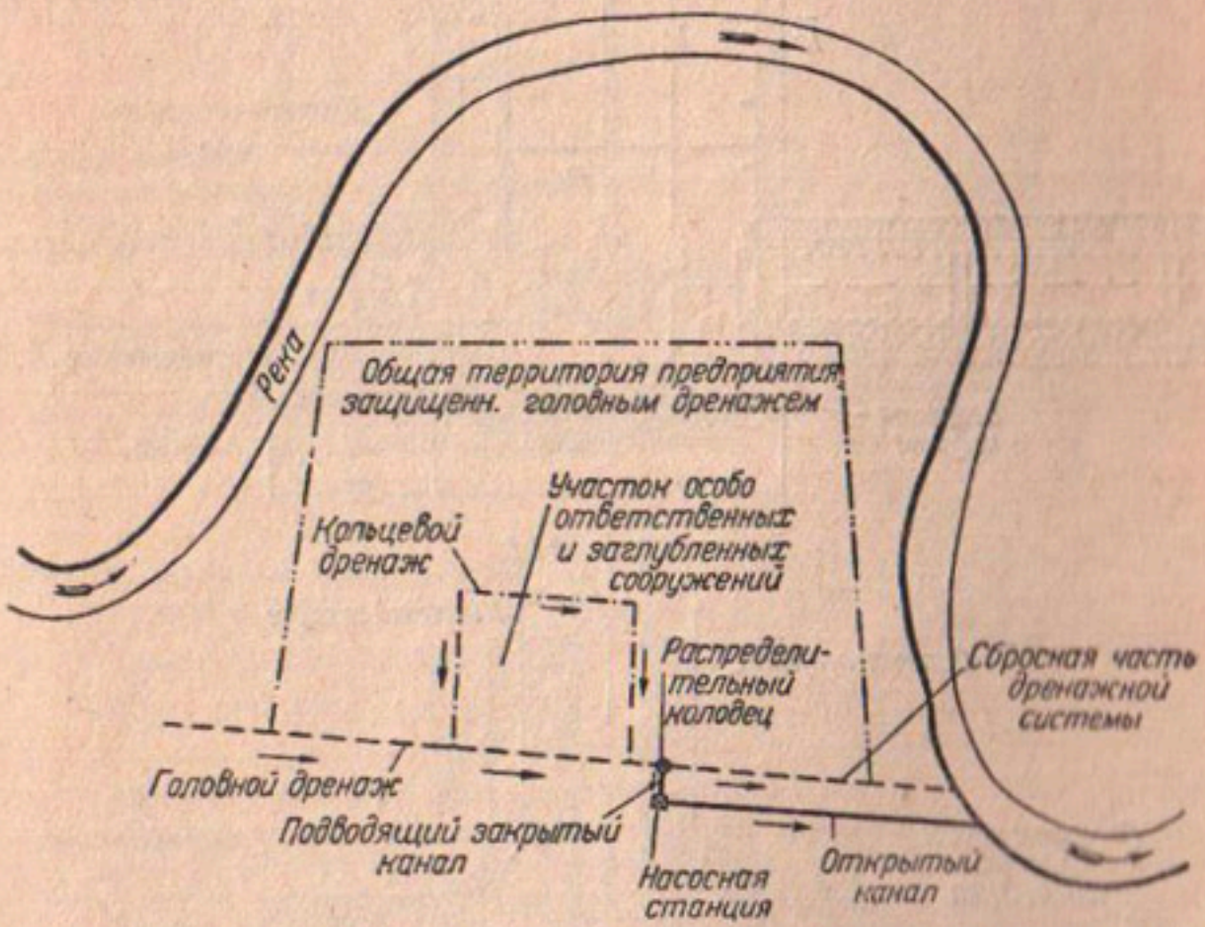
Фиг. 65. Выход дрены в открытый канал

2. Сборные колодцы-резервуары и перекачечные устройства

При заложении дренажа ниже отметок воды в водоприемнике (например при сбросе дренажных вод в ливневую сеть) иногда необходимо устройство водосборных колодцев и перекачечных станций. Подобная схема сброса воды может потребоваться

также и при самотечно-работающей системе дренажа для сброса по ней воды в период паводков, когда сброс в естественный водоприемник невозможен.

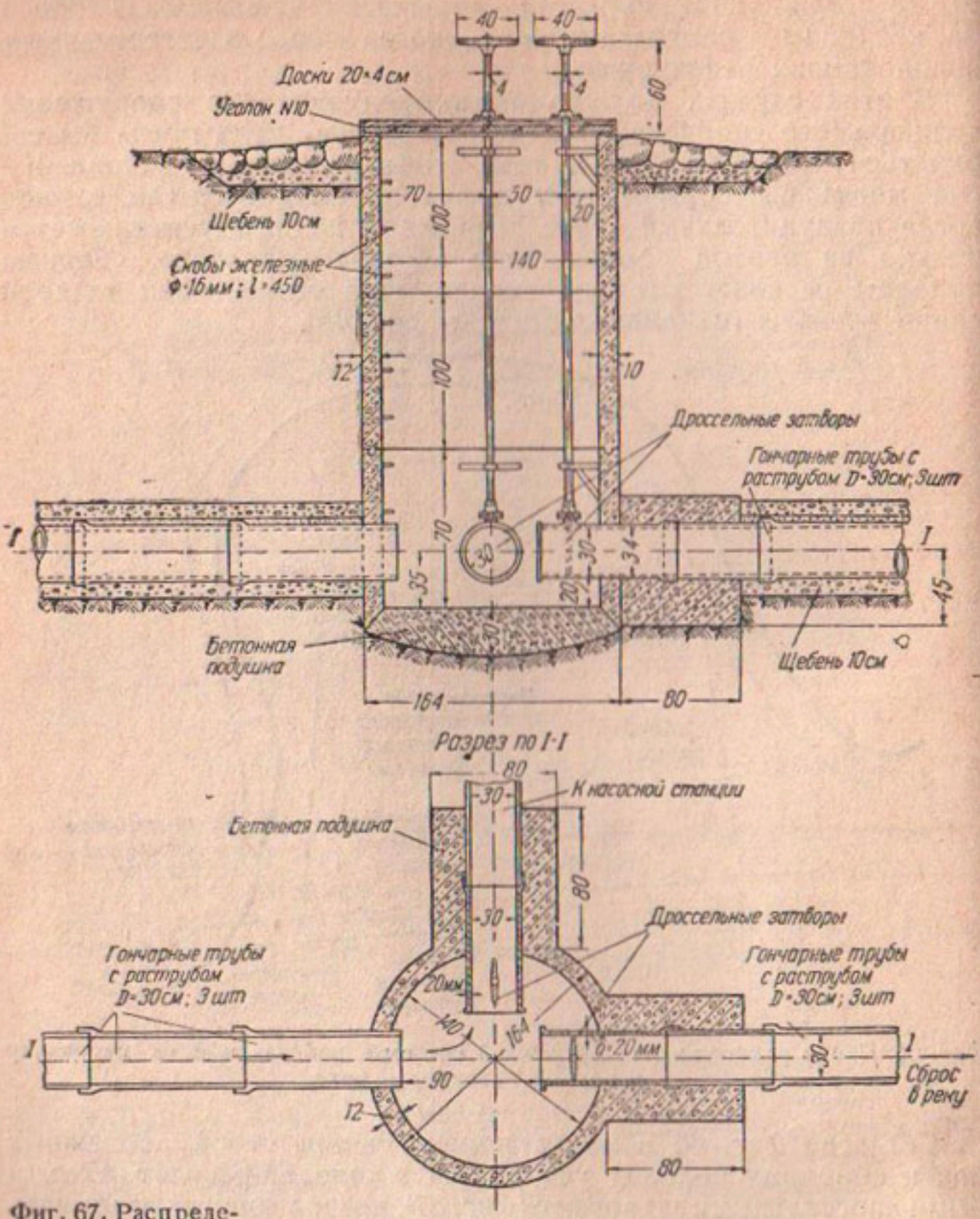
В этих случаях должно быть предусмотрено сооружение специального сборного колодца-резервуара, куда могла бы собираться дренажная вода с тем, чтобы по мере ее накопления она могла бы сбрасываться в водоприемник. В том случае, когда принудительный сброс дренажных вод предусматривается только на период прохождения весеннего паводка, сборные колодцы располагаются на специальном ответвлении главной линии дренажа (например согласно фиг. 66).



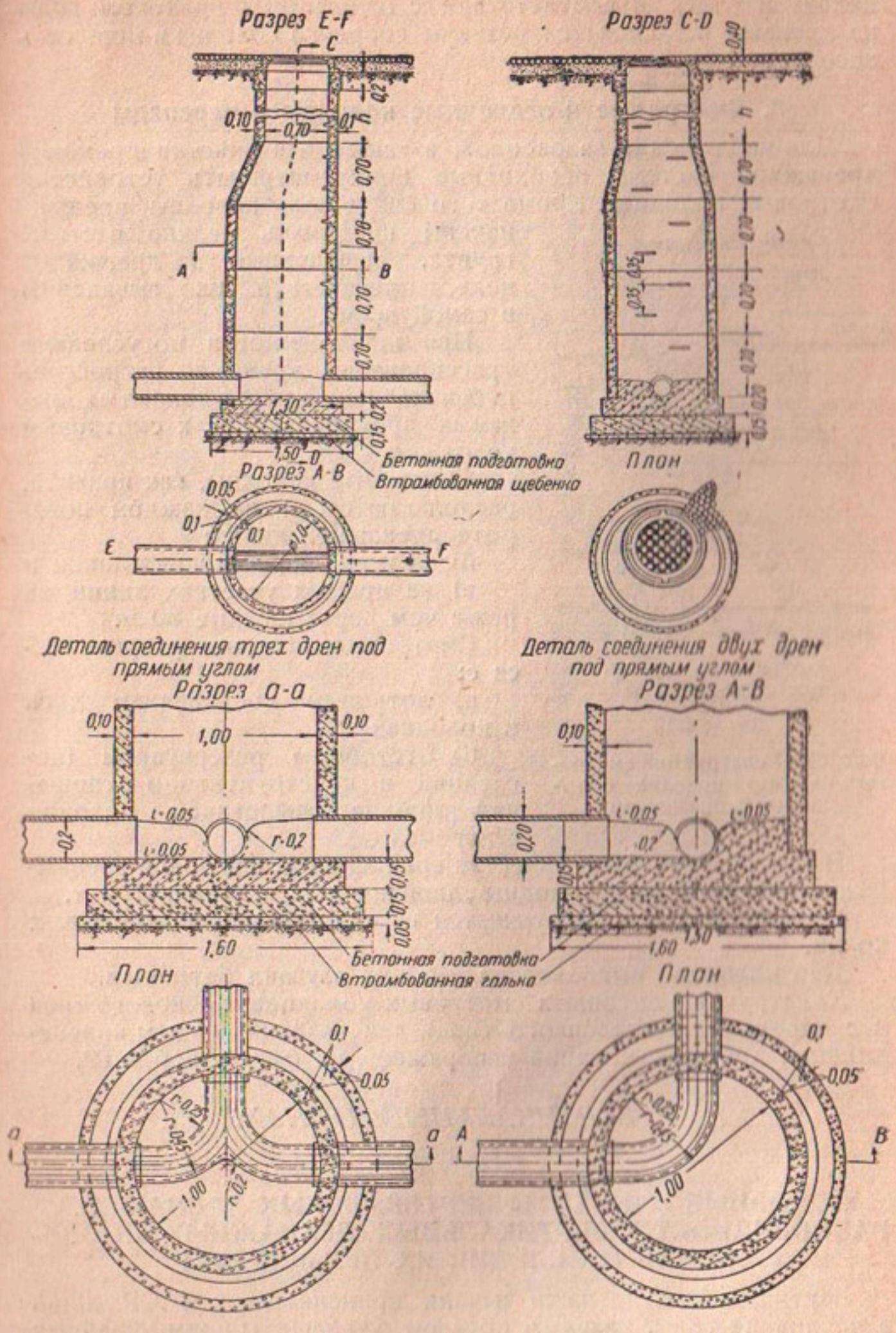
Фиг. 66. Схема расположения дренажной системы, работающей на перекачку в период паводков в реке

Согласно фиг. 66 в месте переключения стока дренажных вод к сборному колодцу устраивается колодец-регулятор с особыми дроссельными затворами (фиг. 67), позволяющими закрывать поступление воды в сборную часть головного коллектора во время прохождения паводка и, наоборот, открывать доступ на это время воде самотеком в подводящий коллектор насосной станции. Сброс воды от насосной станции принят открытой канавой в тот же водоприемник.

В конструктивном отношении сборные бассейны обычно представляют собой бетонные или железобетонные резервуары круглого сечения. Насосные станции для перекачки оборудуются центробежными насосами производительностью, обеспечивающей соответствующий объем перекачки. Перекачка может быть непрерывной или периодической (например 1 раз в сутки, неделю,



Фиг. 67. Распределительный колодец с дроссельным затвором

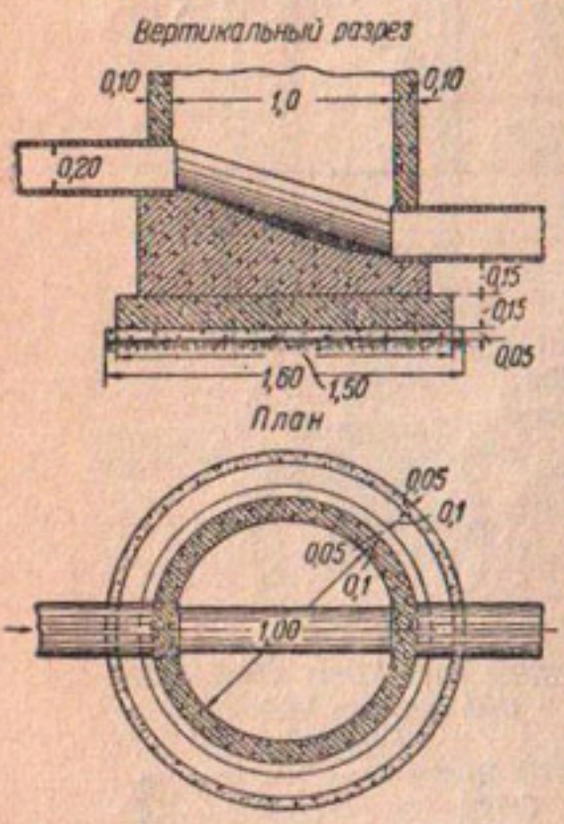


Фиг. 68а. Конструкции бетонных смотровых колодцев с лотковым сопряжением

декаду и т. д.). В соответствии с ожидаемым притоком воды из дренажа подбираются размеры сборного колодца и мощность насосного оборудования.

3. Смотровые и осадочные колодцы и перепады

Для наблюдения за работой, а также для очистки и ремонта дренажной системы необходимо предусматривать устройство смотровых колодцев. Кроме того смотровые колодцы предназначены принимать мелкие частицы грунта, взвешенные в дренажной воде, препятствуя их выпадению в самой дрене.



Фиг. 686. Конструкции смотровых бетонных колодцев с лотковым сопряжением

При необходимости по условиям трассирования дренажей устройства перепадов последние в закрытых дренажах приурочиваются к смотровым колодцам.

Смотровые колодцы, как правило, располагаются: а) на каждом повороте дренажной линии;

б) на всех пересечениях линий и

в) на прямых участках линии не реже чем через каждые 50 *м*.

Смотровые колодцы устраиваются с:

а) лотковым соединением дрен в колодцах;

б) отстойным резервуаром (последний в конструктивном отношении вполне аналогичен колодцу с перепадом).

В зависимости от количества соединяемых в колодце дренажных линий различают колодцы „двойнички", „тройнички" и т. д.

Стенки колодцев сооружаются из кирпича или из бетонных колец.

Дно колодцев выполняется в обоих случаях бетонным.

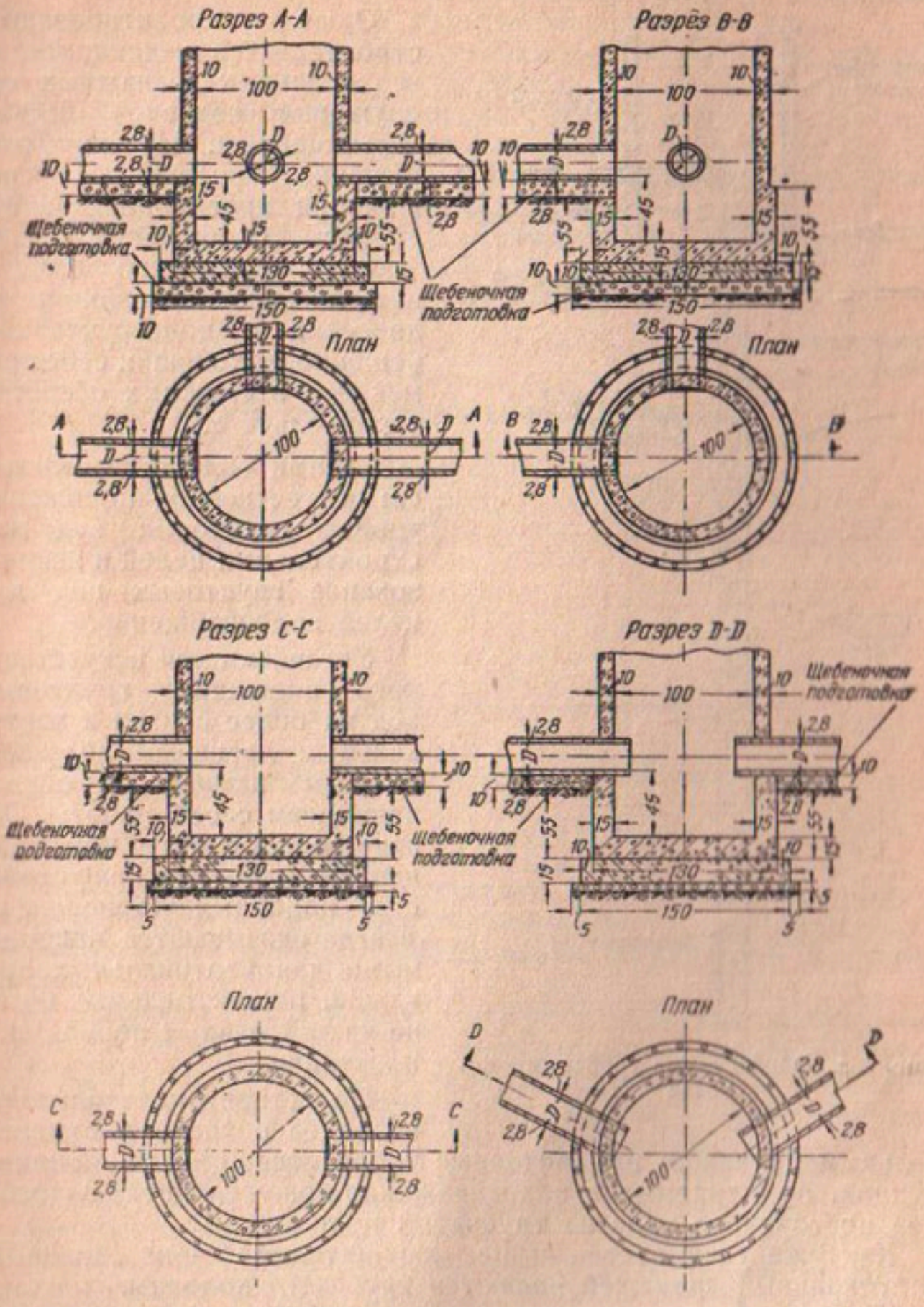
Конструкции бетонных смотровых колодцев, лоткового типа и с перепадами (осадочного типа), для различных схем присоединения дренажных линий изображены на фиг. 68 а, б и 69.

Б. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ

ГЛАВА XIV

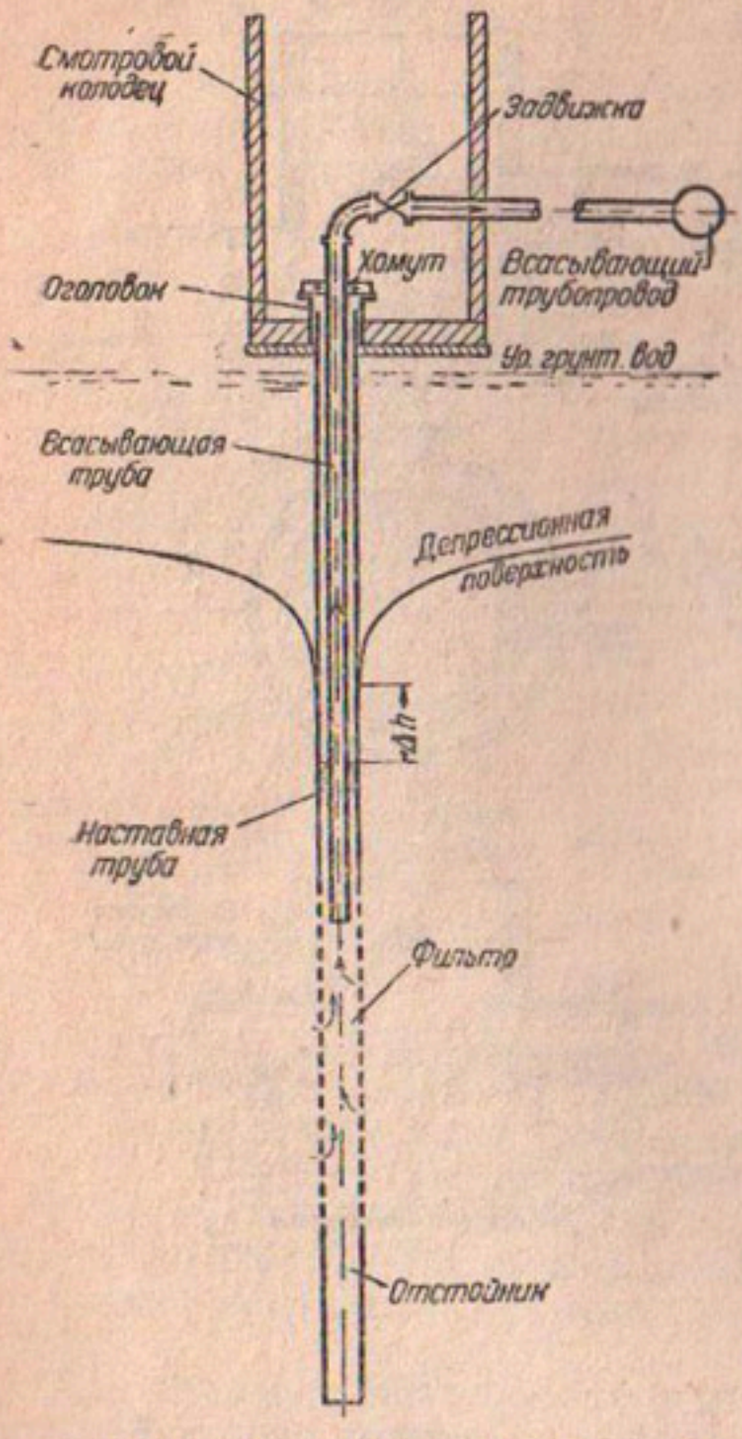
ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ. РАЗНОВИДНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Вертикальные дренажи начали применяться в СССР лишь в последние годы, главным образом для защиты промышленных предприятий и городских территорий от подъема грунтовых



Фиг. 69. Конструкции бетонных смотровых колодцев с перепадным сопряжением (осадочным колодцем)

вод, связанного с постройкой водоподпорных сооружений на реках. Общее количество выполненных и работающих вертикальных дренажных сооружений весьма невелико.



Фиг. 70а. Общая схема трубчатого колодца

Опыт проектирования, строительства и эксплоатации вертикальных дренажных сооружений является весьма ограниченным. Поэтому разрешение ряда возникающих при проектировании подобных сооружений задач должно неизбежно базироваться на использовании методических и конструктивных решений, находящих себе применение в смежных областях строительства.

Такими областями являются: искусственное понижение уровня грунтовых вод для строительных целей и использование грунтовых вод для целей водоснабжения.

Установки для искусственного понижения грунтовых вод наиболее близки к вертикальным дренажам по разрешаемым задачам и общим принципам своей работы. Однако облегченные конструкции, применяемые при устройстве подобных установок, не всегда оказываются приемлемыми для вертикальных дренажей, рассчитываемых обычно на длительный период эксплоатации.

По степени капитальности наиболее соответствуют вертикальным дренажам выработанные многолетней практикой конструкции, применяемые в водоснабжении при устройстве водосборов постоянного типа из трубчатых колодцев.

Как уже указывалось выше, „осушителями“ или „дренами“ вертикальных дренажей являются трубчатые колодцы.

Трубчатый колодец представляет собой вертикальную, погруженную в водоносную толщу колонну труб, состоящую в общем случае из глухих (не имеющих отверстий) звеньев и „фильтра“ (фиг. 70, *а*).

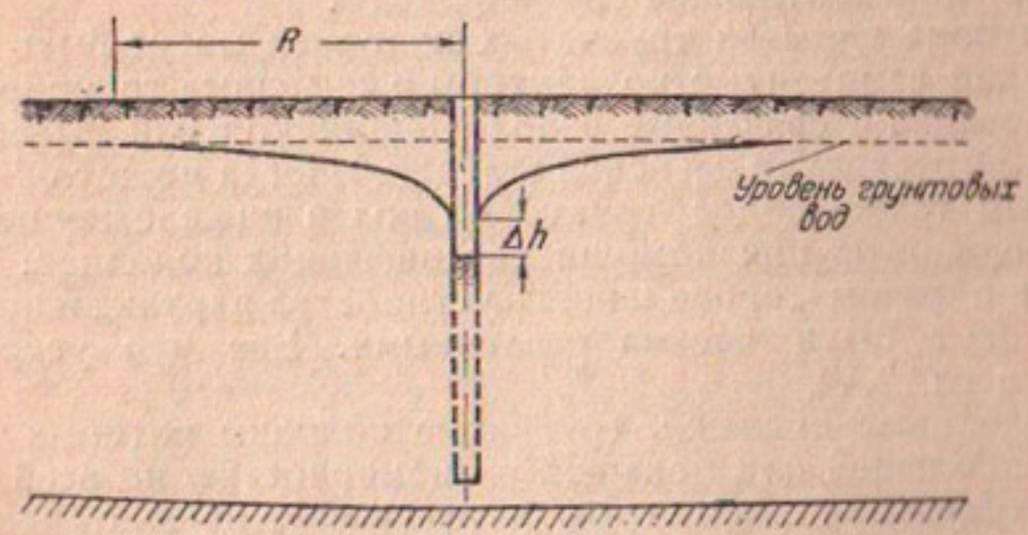
Фильтр трубчатого колодца, устанавливаемый всегда под

уровень грунтовых вод, служит для непосредственного захвата последних.

Конструкция фильтра зависит от ряда обстоятельств, а главным образом от характера грунтов водоносной толщи.

При постановке фильтра в песчаные грунты в его состав включаются: 1) каркас, представляющий собой в простейшем случае отрезок перфорированной или щелистой трубы, и 2) сетка или обсыпка, окружающие каркас и предотвращающие вынос частиц грунта из водоносной толщи во внутреннюю полость колодца через щели или отверстия каркаса.

Закрепление стенок колодца над фильтром осуществляется глухими обсадными или „наставными" трубами.



Фиг. 70б. Схема понижающего действия трубчатого колодца

Под фильтром иногда устраивается „отстойник", выполняемый из глухих труб и служащий вместилищем для частиц грунта, проникших через фильтр и выпавших во внутренней полости колодца.

При удалении тем или иным способом воды из трубчатого колодца (например путем откачки) около него создается понижение поверхности грунтовых вод. Сниженная (или депрессионная) поверхность приобретает при этом форму воронки, ось которой совпадает с осью трубчатого колодца (фиг. 70, б). Наибольшее понижение наблюдается у стенок колодца. По мере удаления от него понижение непрерывно уменьшается и на некотором расстоянии от оси колодца становится практически неуловимым. Это расстояние, определяющее зону, на которую распространяется влияние колодца, называется его „радиусом влияния" (на фиг. 70 б радиус влияния обозначен через R).

Следует здесь же отметить, что при откачке воды из колодца у его стенок образуется перепад уровней (Δh на фиг. 70, а и б), характеризующий величину гидравлических сопротивлений при входе в фильтр.

При откачке воды из группы колодцев, расположенных на расстояниях L друг от друга, меньших $2R$, депрессионные воронки, образующиеся у каждого колодца, сливаются и таким образом может быть получено общее понижение уровня грунтовых вод на участке расположения колодцев.

Понижение уровня грунтовых вод, получаемое при устройстве вертикальных дренажей, создается и поддерживается непрерывной откачкой или отводом от колодцев достаточных количеств грунтовых вод.

Откачка может быть осуществлена: насосами, смонтированными на поверхности земли или в шахте, погруженными в колодцы (глубинными) насосами и насосными станциями, осуществляющими централизованную откачку из отдельных групп колодцев через всасывающие трубопроводы.

Для отвода воды из трубчатых колодцев могут быть применены глухие самотечные коллекторы и сифонные трубопроводы, непосредственно связанные с водоприемником или выведенные в приемный резервуар насосной станции. Иногда может оказаться возможным также сброс грунтовых вод в нижележащие водоносные горизонты при помощи поглощающих колодцев.

Таким образом „проводящие" устройства вертикальных дренажей могут быть весьма различными. Все эти устройства описаны в гл. XVI.

Вертикальные дренажи, трубчатые колодцы которых размещаются с большей или меньшей равномерностью по всей дренируемой территории, могут быть названы „систематическими".

Основными применяемыми разновидностями вертикальных „систематических" дренажей следует считать: дренаж "калифорнийский" и дренаж „голландский".

„Калифорнийские" дренажи весьма широко распространены в США, на ирригационных системах.

При устройстве подобных дренажей применяются трубчатые колодцы глубиной от 15 до 90 *м* и диаметром от 30 до 50 *см*, размещаемые на значительных расстояниях друг от друга (обычно от 800 до 1 600 *м*). В связи со значительными расстояниями между колодцами грунтовые воды удаляются из них небольшими насосными станциями, особыми для каждого колодца.

План расположения колодцев „калифорнийского" дренажа, осуществленного для дренирования района Turlock в долине реки S. Joaquin, показан на фиг. 71[1].

Калифорнийские дренажи могут быть успешно применены лишь в тех случаях, когда сложение и характер грунтов водоносной толщи дают возможность осуществить колодцы с большими зонами влияния. Наиболее благоприятные условия для применения подобных дренажей создаются в следующих двух случаях:

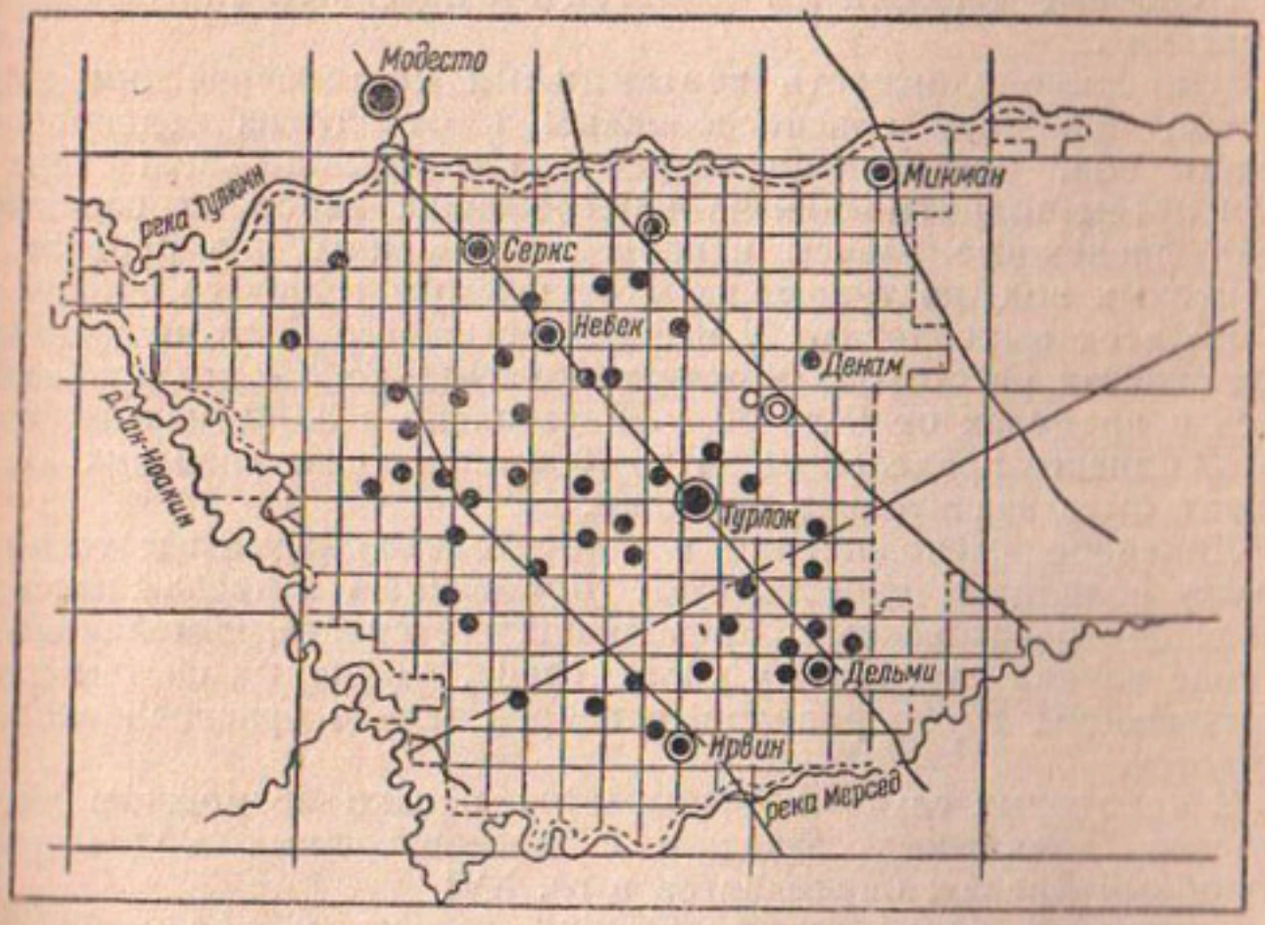
1) когда вся водоносная толща сложена хорошо проницае-

[1] Колодцы на рисунке показаны точками, населенные пункты — точками в кружках.

мыми грунтами и обладает мощностью, позволяющей получить значительные понижения у колодцев;

2) когда верхняя подлежащая осушению толща, сложенная слабопроницаемыми грунтами, оказывается гидравлически связанной с достаточно мощным и выдержанным, хорошо проницаемым подстилающим слоем (сложенным галькой, сильно трещиноватыми скальными породами и пр.).

В последнем случае хорошо проницаемый подстилающий слой, в котором располагаются фильтры трубчатых колодцев, выполняет в дренажной системе роль мощной пластовой дрены,



Фиг. 71. План расположения трубчатых колодцев в районе Turlock

непосредственно принимающей грунтовые воды из верхней толщи.

Вертикальные калифорнийские дренажи для осушения городских и промышленных территорий в нашем Союзе пока не применялись. Очевидно однако, что при благоприятных гидрогеологических и иных местных условиях подобные дренажи могут оказаться весьма эффективными, хотя значительная неравномерность понижения, создаваемого калифорнийскими дренажами, и может в некоторых случаях ограничить сферу их применения.

Голландские дренажи характеризуются мелкими, часто расположенными (на расстояниях не свыше 5 *м*) по всей осушаемой площади колодцами, сбрасывающими захваченные ими грунтовые воды в нижележащие поглощающие слои. Область применения голландского дренажа весьма ограничена. В некоторых случаях он может быть применен для сброса верховодки в

неглубоко залегающий горизонт, обладающий хорошей водоотводящей способностью и характеризующийся к тому же низкими пьезометрическими уровнями. Описание колодцев, обычно применяемых при устройстве голландского дренажа, приведено в гл. XV.

Среди вертикальных дренажей наиболее распространенными являются такие, при устройстве которых трубчатые колодцы располагаются по четко очерченным в плане линиям, трассируемым обычно вдоль границ защищаемых территорий или участков.

Подобные дренажи мы называем в дальнейшем „дренажными завесами".

В противоположность вертикальным систематическим дренажам, наиболее приспособленным к отводу из водоносной толщи вод, поступающих в нее путем инфильтрации сверху (или путем подпитывания из нижележащих напорных горизонтов), дренажные завесы наиболее применимы для перехвата грунтовых вод, поступающих в осушаемую толщу со стороны.

Во всех выполненных у нас до настоящего времени дренажных завесах расстояния между трубчатыми колодцами принимались в пределах от 6 до 30 *м*. Расстояние в 30 *м* нельзя считать однако предельным. При благоприятных условиях оно может быть значительно большим.

Линейное расположение и относительно малые расстояния между колодцами способствуют применению в дренажных завесах централизованных „проводящих" устройств, выполняемых в виде глухих самотечных коллекторов, сифонных систем или всасывающих трубопроводов, непосредственно присоединенных к насосу.

В некоторых случаях оказывается однако возможным устройство дренажных завес и с поглощающими колодцами. Подобный дренаж описывается в гл. XVI.

Типичным примером дренажной завесы может служить дренаж, построенный в 1936—1937 гг. в связи с подъемом уровня воды в реке.

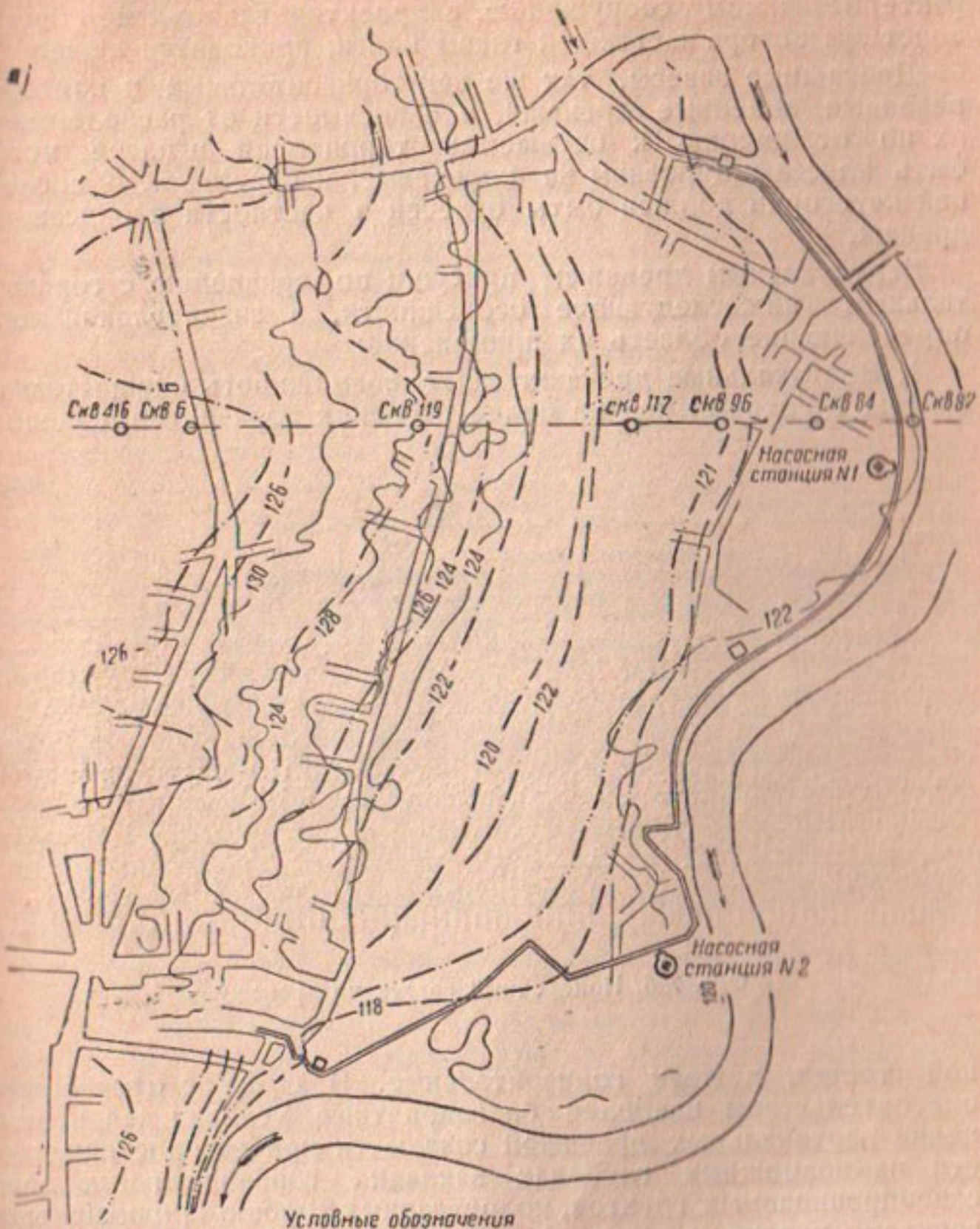
Краткая характеристика гидрогеологических условий на дренированной территории дана в гл. I.

Представление об ожидавшемся подъеме уровня грунтовых вод дают фиг. 16 и 72 а. Как уже указывалось в гл. VIII, описываемый дренаж построен с установкой на сохранение „status quo" грунтовых вод.

Дренажная система включает 347 трубчатых колодцев, расположенных на расстояниях от 6 до 20 *м* вдоль четырехкилометровой линии, протрассированной близ берега реки (рис. 72 а).

Глубина трубчатых колодцев, выполненных в скважинах диаметром 500 *мм*, колеблется, как правило, в пределах от 13 до 20 *м*, считая от поверхности земли.

Для отвода грунтовых вод от колодцев применены проложенные в специальной галлерее сифоны, подводящие воду с



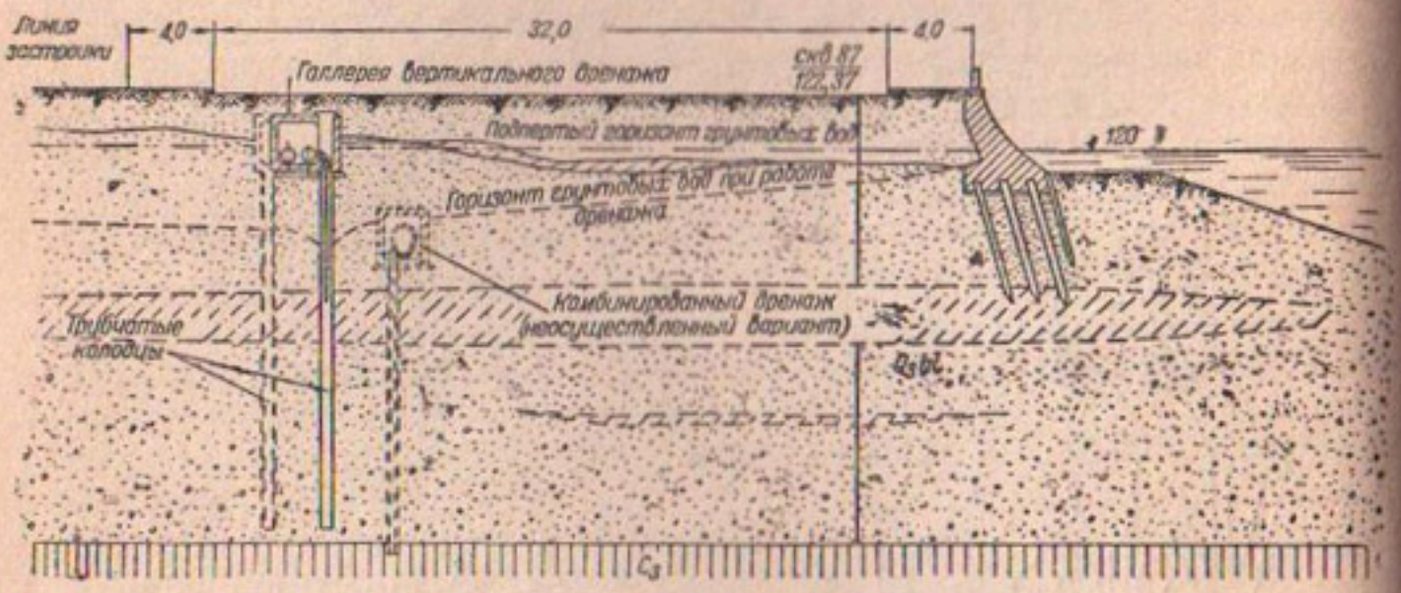
Фиг. 72а. План дренажа

четырех ветвей дренажа к двум его основным насосным станциям (фиг. 72 б). Некоторые дополнительные данные по охарактеризованному сооружению, запроектированному под руководством автора настоящей главы книги, приводятся ниже.

Дренажные завесы, так же как горизонтальные и комбинированные линейные дренажи, в зависимости от расположения их по отношению к осушаемой территории в плане могут быть классифицированы на кольцевые, и береговые. К последней категории должен быть отнесен в частности и описанный дренаж.

Вертикальным дренажам присущи по сравнению с горизонтальными нижеследующие особенности, в значительной мере определяющие область их применения:

1. Вертикальные дренажи дают возможность осуществлять каптаж грунтовых вод из более глубоких горизонтов водонос-



Фиг. 72б. Поперечный разрез по дренажу

ной толщи, нежели горизонтальные. В связи с отмеченным обстоятельством наиболее благоприятные условия для применения вертикальных дренажей создаются при распространенности на возможных глубинах закладки горизонтальных дрен слабопроницаемых грунтов, подостланных хорошо проницаемыми грунтами и едином для всей толщи водоносном горизонте.

В охарактеризованных условиях, и особенно при глубоком залегании водоупорного слоя, вертикальные дренажные завесы смогут осуществить значительно более полный перехват грунтовых вод, поступающих на дренируемую территорию извне, нежели горизонтальные дрены, проложенные по тем же трассам. Вместе с тем полный перехват, или перехват значительной доли поступающих извне вод, во многих случаях при устройстве дренажных завес решает успех дренирования.

При устройстве систематических дренажей возможность захвата при помощи трубчатых колодцев грунтовых вод из глубоких слоев водоносной толщи также может оказаться весьма ценной. В охарактеризованных выше грунтовых условиях горизонтальные дрены, закладываемые в слабопроницаемых грунтах, распространяют свое влияние на крайне ограниченную зону. Для получения необходимого понижения может потребоваться при этом весьма частая сеть осушителей, с выполнением которой окажутся связанными значительный объем строительных работ и большие неудобства, особенно в условиях городских и промышленных территорий.

В тех же условиях трубчатые колодцы, каптирующие грунтовые воды из нижних хорошо проницаемых и достаточно мощных слоев, смогут распространить свое влияние, как показывает опыт устройства калифорнийских дренажей, на расстояния в десятки и даже сотни раз большие. Таким образом многокилометровым сетям горизонтальных дрен смогут быть иногда противопоставлены дренажи, выполненные из небольшого числа глубоких трубчатых колодцев с механической откачкой.

2. Вертикальные дренажи при применении сифонных проводящих устройств или всасывающих трубопроводов, непосредственно связанных с насосом, а особенно при применении откачки из одиночных колодцев глубинными насосами, дают возможность значительно большего понижения уровня грунтовых вод, нежели дренажи горизонтальные или комбинированные. При устройстве последних уровень понижения лимитируется затруднительностью и большой стоимостью проходки глубоких траншей для прокладки горизонтальных дрен.

Трудности эти особенно значительны при необходимости производства работ под уровнем грунтовых вод, что обычно и имеет место.

Вместе с тем в условиях городского и промышленного строительства потребные понижения оказываются во многих случаях значительными, что благоприятствует применению здесь вертикальных дренажей даже в условиях относительно однородного литологического состава водоносной толщи.

3. Для вертикальных дренажей, осуществляющих в большинстве случаев значительное понижение, характерны проводящие устройства с искусственным подъемом воды насосами (откачкой).

С применением откачки оказываются связанными обычно несколько усложненные условия эксплоатации и значительное повышение прямых эксплоатационных расходов по содержанию дренажной системы.

При применении для вертикальных дренажей сифонных проводящих устройств или откачки из одиночных колодцев создаются вместе с тем исключительно благоприятные условия для регулирования степени понижения уровня грунтовых вод в процессе эксплоатации дренажа. Это преимущество оказывает-

ся особенно ценным при невозможности вполне точного гидрогеологического прогноза понижающего действия системы и недопустимости перепонижения. Следует также отметить, что при применении названных проводящих систем и известном запасе в высоте всасывания неблагоприятное явление, заключающееся в обычно наблюдаемом постепенном повышении гидравлических сопротивлений при входе в фильтры трубчатых колодцев, может локализоваться при эксплоатации соответствующим снижением динамических уровней в колодцах.

Как следует из изложенного, целесообразность применения того или иного типа дренажа зависит главным образом от гидрогеологических условий территории и требуемой степени понижения.

Для правильного решения вопроса необходимо в частности знание обстоятельств, определяющих высокое стояние уровня грунтовых вод, условий их питания и естественного дренирования.

Сказанное свидетельствует о большом значении правильной постановки гидрогеологических исследований, предшествующих установлению общей схемы дренажного сооружения. Очевидно вместе с тем, что в ряде случаев целесообразное решение сможет быть найдено лишь в процессе проработки и технико-экономического сравнения нескольких вариантов дренажных сооружений.

ГЛАВА XV

ТРУБЧАТЫЕ КОЛОДЦЫ

1. Способы устройства трубчатых колодцев и общие их схемы

В зависимости от способа сооружения трубчатые колодцы могут быть классифицированы на:

а) погружаемые с помощью забивки или ввинчивания (к этой категории должны быть отнесены так называемые „нортоновские" колодцы и трубчатые дрены голландских дренажей);

б) погружаемые с помощью подмыва;

в) буровые.

а) Нортоновские колодцы и вертикальные дрены голландских дренажей

Нортоновские колодцы выполняются путем забивки или ввинчивания в грунт колонны, состоящей из железных наставных труб, обернутого медной сеткой железного фильтра и прикрепленного к фильтру наконечника, который в зависимости от способа погружения может быть „забивным" или „винтовым".

Диаметр нортоновских колодцев не превышает обычно 50 *мм*, а глубина погружения — 8—10 *м*.

Забивка или ввинчивание нортоновских колодцев на указанную глубину возможны лишь в мягких связных или рыхлых

песчаных грунтах, не содержащих гальки, щебня или камней.

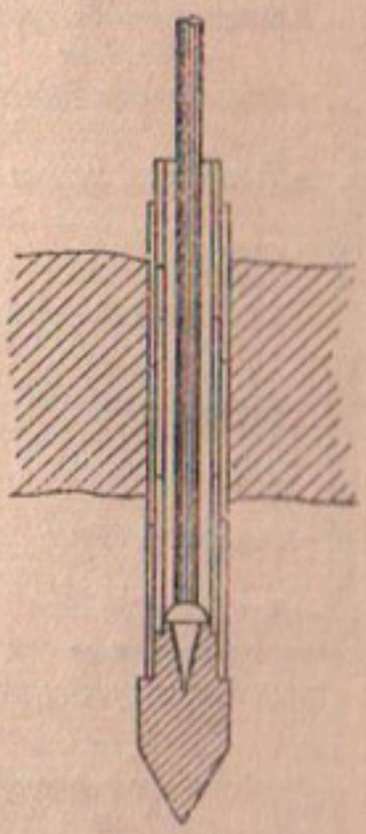
В менее благоприятных условиях прибегают к предварительной забурке скважины (не укрепляемой обсадными трубами) на глубину до уровня грунтовых вод, что значительно уменьшает возможность повреждения труб или фильтра колодца при погружении.

Захватная способность нортоновских колодцев весьма невелика. При самых благоприятных условиях (в чистых крупнозернистых песках) колодец диаметром 50 *мм* может принять не свыше 0,2—0,3 *л/сек* грунтовой воды. Установка нортоновского колодца в мелкозернистые песчаные грунты приводит обычно к быстрому заилению фильтра и резкому падению дебита.

Выполняемые из железных тонкостенных труб нортоновские колодцы являются вместе с тем весьма недолговечными даже при малой агрессивности грунтовых вод.

Поэтому описанная конструкция колодцев целесообразна (при благоприятных гидрогеологических условиях) лишь в случаях, когда срок эксплоатации дренажных сооружений ограничен несколькими годами.

По способу осуществления к нортоновским колодцам примыкают мелкие поглощающие колодцы из обычных гончарных дренажных труб, применяемые при устройстве голландского дренажа (фиг. 73).



Фиг. 73. Вертикальная дрена голландского дренажа

При устройстве подобных колодцев в предварительно пробуренную, но не закрепленную обсадными трубами скважину вгоняется при помощи железного стержня, упирающегося в дубовый поддон (наконечник), колонна, составленная из гончарных труб, концентрически расположенных вокруг стержня в два слоя таким образом, что звенья наружного слоя перекрывают стыки звеньев внутреннего слоя.

Захватная способность подобных колодцев ничтожна. Область их применения охарактеризована в гл. XIV.

б) Трубчатые колодцы, погружаемые с помощью подмыва[1]

Как показал опыт Союзводстроя, трубчатые колодцы диаметром от 150 до 200 *мм*, составленные из железных труб и

[1] См. „Искусственное понижение уровня грунтовых вод" проф. И. П. Кусакина.

железного фильтра с сеткой, могут быть погружены в песчаные грунты до глубины 20 *м* при помощи подмыва.

На работах Союзводстроя подмыв осуществлялся при помощи струи, подававшейся под давлением в 2—6 *атм* к фрезеру каркаса по трубе диаметром в 30—50 *мм*, установленной на оси колодца (фиг. 74). Для отвода пульпы служила выбросная труба диаметром 75—100 *мм*, устанавливавшаяся на опорное кольцо, зажатое между наконечником и фильтром.

После погружения каркаса колодца на необходимую глубину нагнетательная и выбросная трубы извлекались из колодца, а отверстие в упорном кольце забивалось деревянной пробкой, спускавшейся сверху на штангах.



Фиг. 74. Трубчатый колодец „Союзводстроя"

Процесс погружения описанных колодцев весьма часто осложнялся образованием песчаных „пробок", забивавших наконечник и нижнюю часть выбросной трубы. Подобный дефект может быть, повидимому, смягчен или полностью устранен применением клапана, автоматически закрывающего отверстие в опорном кольце.

Общие соображения говорят за то, что гидравлическим способом могут погружаться на указанную выше глубину каркасы и иных конструкций, составленные из прочных и хорошо скрепленных между собой звеньев. Последнее необходимо, так как в процессе гидравлического погружения при зажатии колодца грунтом всегда может потребоваться его принудительная посадка путем дополнительной пригрузки, приподнимания и вращения каркаса.

При небольших глубинах погружения конструкция каркаса может быть естественно облегченной. Опыт свидетельствует о том, что процесс гидравлического погружения мелких колодцев идет достаточно успешно и в суглинистых грунтах.

Нежелательной особенностью гидравлического способа является возможность значительного разрыхления грунта у наружных стенок колодца и появления связанных с этим разрыхлением осадок.

Вследствие недостаточной разработанности конструкций и приемов ведения работ гидравлический способ устройства трубчатых колодцев не имеет пока широкого применения.

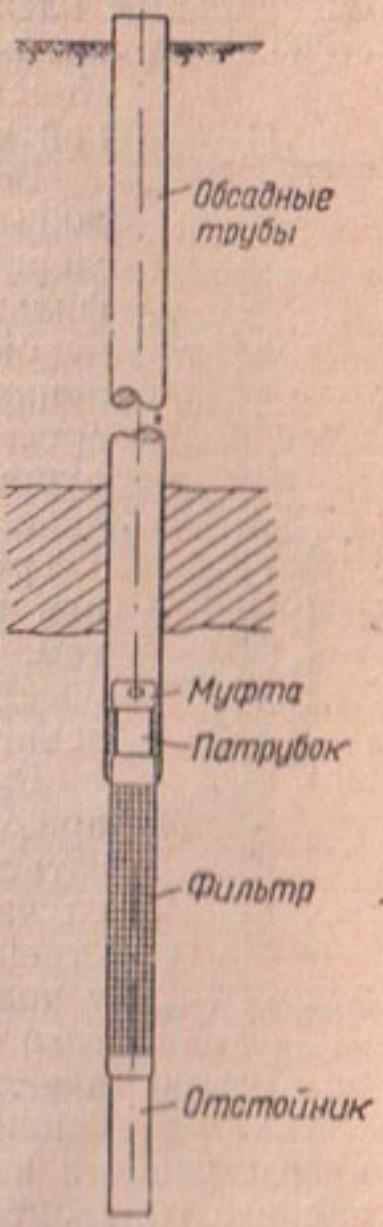
в) Буровые трубчатые колодцы

Наиболее универсальным способом устройства трубчатых колодцев является буровой. Этот способ, характеризующийся предварительной проходкой скважин, закрепляемых в обваливающихся породах обсадными трубами, дает возможность сооружения колодцев значительной глубины и диаметра в любых грунтовых условиях.

Буровые трубчатые колодцы, известные в большом числе видоизменений, получают простейшую конструкцию в случае устройства их без фильтра. Прием воды осуществляется при этом через открытое дно или не закрепленные обсадными трубами стенки нижней части скважины. Колодцы подобной упрощенной конструкции применяются преимущественно при каптаже подземных вод из необваливающихся скальных пород.

Несколько усложненную, но также весьма простую конструкцию имеют буровые колодцы, применяемые иногда в США при устройстве вертикальных дренажей на ирригационных системах[1].

После проходки скважины, закрепленной тонкостенными клепаными или сварными трубами (нарощенными в два слоя), стенки этих труб продырявливаются (продавливанием отверстий) в пределах водоносного горизонта при помощи специального перфоратора, спускаемого во внутреннюю полость колодца. Область применения подобных колодцев ограничивается случаями захвата грунтовых вод из крупнозернистых (галечных или гравелистых) грунтов.



Фиг. 75. Схема трубчатого колодца

Описанные способы устройства буровых трубчатых колодцев характерны отсутствием заготавливаемых на поверхности земли и опускаемых в скважины фильтров, а также тем, что стенки колодцев закрепляются по всей их высоте обсадными трубами, использованными для проходки скважин.

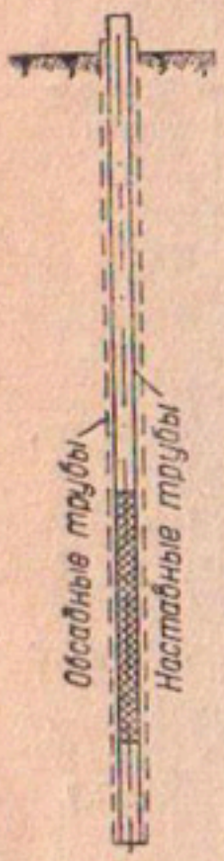
В тех случаях, когда при устройстве буровых трубчатых колодцев для водоснабжения необходимо осуществить прием грунтовых вод из определенного и притом не первого от поверхности земли водоносного горизонта с надежной изоляцией вышележащих, колодцы выполняются большей частью по схеме, представленной на фиг. 75.

---

[1] См. Harold C. Schwalen „The Stovepipe or California Method of Well Drilling as Practiced in Arizona", 1925.

Производственные приемы устройства подобных колодцев сводятся в основном к следующему.

После проходки на полную глубину скважины, закрепляемой обсадными трубами, в нее спускается на штангах заранее заготовленная колонна, составленная обычно из отстойника, фильтра и снабженного муфтой глухого патрубка. Штанги заканчиваются специальным ключом или спускным патрубком. Муфта в случае спуска колонны на ключе имеет соответствующие ему прорези. Конструкция фильтра может быть при этом различной в зависимости от грунтов водоносного слоя.



Фиг. 76. Схема трубчатого колодца

Вслед за постановкой фильтра на забой скважины обсадные трубы подтягиваются вверх в положение, указанное на фиг. 75, в результате чего фильтр входит в соприкосновение с грунтом. Кольцевой зазор между глухой частью фильтровой колонны и обсадными трубами уплотняется пеньковой просмоленной прядью, намотанной на глухой патрубок перед спуском колонны в скважину или каким-либо иным способом.

Трубчатые колодцы подобного способа выполнения невыгодно отличаются от описываемых ниже тем, что не допускают вторичного использования обсадных труб, остающихся в грунте для закрепления стенок колодца над фильтром.

Вместе с тем применение трубчатых колодцев при устройстве дренажных сооружений может оказаться, как правило, целесообразным лишь в том случае, если существует достаточно хорошая естественная гидравлическая связь между залегающими у поверхности земли грунтовыми водами и водами того относительно глубокого горизонта, в котором предполагается установить фильтр. Поэтому особенность колодцев описанного типа, заключающаяся в возможности надежной изоляции подлежащего каптажу водоносного горизонта от вышележащих, не является в обычных условиях устройства дренажных сооружений полезной.

Более пригодными для дренажных сооружений в подавляющем большинстве случаев являются буровые трубчатые колодцы, сооружаемые с полным извлечением обсадных труб из грунта.

Способ выполнения подобных колодцев сходен в общих чертах с описанным. В колонну, опускаемую в этом случае в закрепленную обсадными трубами скважину, включаются однако помимо отстойника и фильтра наставные трубы, благодаря чему колонна получает значительную длину, всегда несколько превышающую полную глубину скважины.

После постановки колонны на забой обсадные трубы извлекаются из скважины и колодец получает вид, представленный на фиг. 76.

Подобные колодцы весьма часто выполняются с фильтрами, имеющими одиночную или двойную песчано-гравелистую обсыпку.

Одиночный песчано-гравелистый слой наиболее просто выполняется засыпкой сверху кольцевого зазора, образующегося между обсадными трубами и каркасом колодца. Ширина зазора не должна быть при этом менее 7,5 *см*.

Засыпка песчано-гравелистого материала производится слоями высотой 1—2 *м* с последовательным и осторожным подъемом обсадных труб, фрезер которых на любой стадии выполнения обсыпки должен быть погружен под ее поверхность не менее чем на 1,0 *м*.

Двойная обсыпка фильтров выполняется обычно в два приема.

После проходки скважины в нее опускается промежуточная колонна труб, имеющая диаметр не менее чем на 15 *см* меньший диаметра обсадных труб. Кольцевой зазор между обсадными и промежуточными трубами засыпается в первую очередь с постепенным подъемом вслед за повышением уровня засыпки обсадных труб.

Аналогичным образом после устройства наружного слоя обсыпки и постановки каркаса колодца на место выполняется внутренний слой обсыпки с постепенным извлечением из скважины промежуточной колонны труб.

Применяются и иные способы устройства песчано-гравелистых обсыпок. Некоторые из этих способов освещены ниже при описании конструкций фильтров.

2. Конструктивные элементы трубчатых колодцев

а) Общие указания по устройству каркаса

Основными элементами каркаса трубчатого колодца следует считать: отстойник, каркас фильтра и обсадные или наставные трубы.

В зависимости от местных условий некоторые из перечисленных элементов могут быть выключены из состава трубчатого колодца.

Отстойник, устраиваемый обычно длиной 1—2 *м*, может отсутствовать в тех случаях, когда очистка колодца от могущего скопиться на дне его осадка легко осуществима или в тех случаях, когда характер грунтов водоносной толщи и принятая конструкция фильтра обеспечивают колодец от сколь-либо значительного выноса во внутреннюю его полость частиц грунта в период эксплоатации.

Фильтр не ставится при захвате грунтовых вод из твердых и необваливающихся пород.

Трубчатые колодцы могут оказаться иногда выполненными также без обсадных или наставных труб, расположенных над каптирующей частью колодца.

Такой случай может иметь место при отводе грунтовых вод от трубчатых колодцев самотечным коллектором (рис. 87).

Внутренний диаметр каркаса должен быть достаточным для размещения в нем оборудования, предназначенного для откачки

или отвода грунтовых вод. Учету подлежит как постоянное эксплоатационное оборудование колодца, так и временное, предназначенное для производства строительных откачек.

Дебит при строительной откачке должен быть не менее максимального эксплоатационного.

Весьма существенное значение для трубчатых колодцев дренажных сооружений, рассчитываемых на длительный период работы, имеет вопрос о выборе материала каркаса.

Материал каркаса определяется во многих случаях принятым способом производства работ по устройству трубчатого колодца и общей его схемой.

Из всех описанных выше разновидностей трубчатых колодцев наибольшую свободу в выборе материала каркаса дают буровые колодцы, осуществляемые с полным извлечением обсадных труб из грунта. Каркасы подобных колодцев могут быть выполнены из железа, чугуна, дерева, керамики и иных материалов.

Перечисленные материалы обладают различной способностью противостоять разрушающему влиянию грунтовых вод.

Железо подвержено коррозии в наибольшей степени. При благоприятных условиях, как показывает опыт эксплоатации некоторых артезианских и добывающих грунтовые воды колодцев, каркасы, выполненные из железных труб, могут прослужить 20—30 лет и более. В менее благоприятных условиях при активных в отношении коррозии грунтовых водах железные каркасы могут быть разрушены в несколько месяцев.

Коррозийные явления с особой интенсивностью развиваются в грунтовых водах, обладающих кислой реакцией, а также в водах с высоким содержанием хлоридов, нитратов и сульфатов. Разрушающее влияние могут оказать также мягкие, богатые кислородом воды.

Очевидно, что разрушение каркаса может происходить и над уровнем грунтовых вод. Особенно неблагоприятны в этом отношении богатые органическими кислотами болотные почвы, а также почвы, содержащие значительные количества легкорастворимых коррозионно-активных солей. Коррозийными свойствами весьма часто обладают также так называемый „культурный слой", весьма распространенный на городских и промышленных территориях, и почвы, загрязненные промышленными отходами (шлаком, золой и пр.).

В целях защиты от коррозии железные каркасы трубчатых колодцев могут быть асфальтированы. Следует однако иметь в виду, что асфальтировка может оказатся эффективной только в том случае, если нанесенный на трубы битумный слой не будет поврежден при устройстве колодца.

Значительно большей, нежели железо, сопротивляемостью химическим влияниям обладает чугун, также однако подвергающийся постепенному разрушению под действием коррозийных вод.

О возможной продолжительности службы каркасов трубчатых колодцев, выполненных из чугуна, свидетельствует опыт их

исправной работы в течение ряда десятилетий на некоторых германских водосборах, построенных для целей водоснабжения. Исключительно длительными сроками службы при благоприятных условиях отличаются чугунные трубы водопроводных сетей (на московском водопроводе имеются трубы со сроком службы около 100 лет, во Франции — свыше 200 лет)[1].

В построенных за последние годы вертикальных и комбинированных дренажах нашли себе применение трубчатые колодцы с каркасом, выполненным из дерева. Подобные конструкции отличаются дешевизной и простотой изготовления.

Постоянно пребывающая в воде древесина не поддается разрушению от гниения. Вместе с тем на нее не оказывают также никакого разрушающего влияния кислоты и соли, растворенные в грунтовых водах.

Сроки службы трубчатых колодцев с деревянным каркасом, постоянно находящимся под уровнем грунтовых вод, должны быть поэтому весьма значительными.

Деревянные каркасы должны выполняться по возможности из дуба или лиственницы. Допустимой является однако также сосна.

Наиболее благоприятные для применения деревянных каркасов условия имеют место в вертикальных и комбинированных дренажах с самоизливающимися колодцами. Вся конструкция подобных колодцев оказывается постоянно смоченной водой и может быть поэтому выполнена целиком из дерева.

При применении в вертикальных дренажах вакуумных проводящих устройств (фиг. 88 *а*, *б*) для верхней части колодца, расположенной выше уровня грунтовых вод, создаются условия переменной влажности, в которых дерево может быть быстро разрушено гниением. В подобных колодцах из дерева может выполняться лишь фильтр, а для наставных труб должен быть применен какой либо иной материал (чугун, асбоцемент и пр.).

Исключительно долговечными и совершенно не подверженными разъедающему действию грунтовых вод являются каркасы, выполненные из гончарных труб. Подобные каркасы применяются за границей при глубинах колодцев до 25 *м*.

В СССР крайне желательному применению гончарных конструкций для неглубоких трубчатых колодцев мешает неналаженность производства дырчатых гончарных труб для фильтров.

б) Фильтры трубчатых колодцев

Фильтры должны всегда выполняться таким образом, чтобы их дырчатые или щелистые стенки, иногда защищенные сеткой или обсыпкой, препятствуя прониканию во внутреннюю полость колодца наиболее крупных частиц окружающего грунта, пропускали бы вместе с тем с наибольшей свободой грунто-

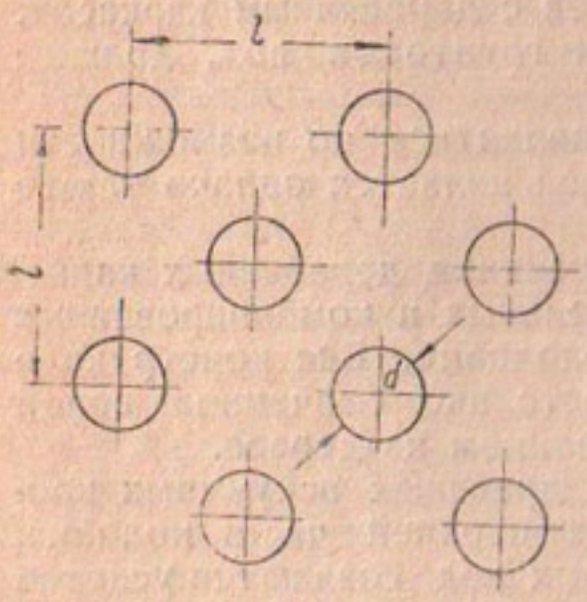
[1] Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест, ч. II, под ред. Н. Н. Геннева, отд. IV.

вые воды. Удовлетворительная работа фильтра должна обеспечиваться также достаточной его механической прочностью и возможно большей устойчивостью по отношению к разрушающему влиянию грунтовых вод.

Фильтры без сетки и обсыпки

Наиболее простая конструкция свойственна фильтрам, устанавливаемым в крупнообломочные рыхлые (валунные, галечные, гравелистые) породы. Сетка или обсыпка в состав фильтра в этом случае не вводится и он выполняется в виде простой трубы с круглыми или щелистыми отверстиями.

При породе, состоящей из валунов или крупной гальки, диаметр или ширина отверстий в фильтре могут быть приняты наибольшими. Однако по технологическим причинам диаметр круглых отверстий обычно не превышает 25—38 *мм*.



Фиг. 77. Схема разбивки отверстий по поверхности фильтра

В рыхлых породах с преобладанием мелкой гальки или гравия при назначении диаметра круглых отверстий или ширины щелей можно пользоваться указанием Бринкгауза, согласно которому через фильтр должно проходить при крупном гравии 20—30%, при среднем 30—40% частиц породы по весу.

Круглые отверстия на поверхности трубы (так же как и щели) лучше всего распределять в шахматном порядке. Расстояния l между центрами круглых отверстий принимаются в пределах от 2,5 до 5d (фиг. 77). При $l=2{,}5d$ площадь отверстий составляет 25% поверхности трубы, при $l=3d-17{,}5\%$, при $l=4d-9{,}8\%$ и при $l=5d-6{,}3\%$. Большей частью принимают $l=3-4d$.

При песчаных грунтах, требующих малых отверстий в фильтрах, дырчатые и даже щелистые фильтры оказываются обычно неприменимыми. В этом случае приходится переходить к фильтрам с сеткой (или обсыпкой).

Фильтры с сеткой

Простейшая конструкция фильтра с сеткой представлена на фиг. 78. Каркас фильтра выполнен из железной перфорированной трубы. Между каркасом и сеткой введена обматывающая каркас по спирали железная проволока. Диаметр проволоки принимается в 3—6 *мм* при шаге спирали, равном трем-четырем диаметрам проволоки. Благодаря наличию спиральной проволочной

обмотки сетка не прилегает к поверхности каркаса[1]. Это важно, так как только в этом случае сетка будет фильтровать всей площадью.

Для устройства фильтров употребляются сетки: простого плетения (фиг. 79, *б*), киперные (фиг. 79, *в*) и галунные (фиг. 79, *а*).

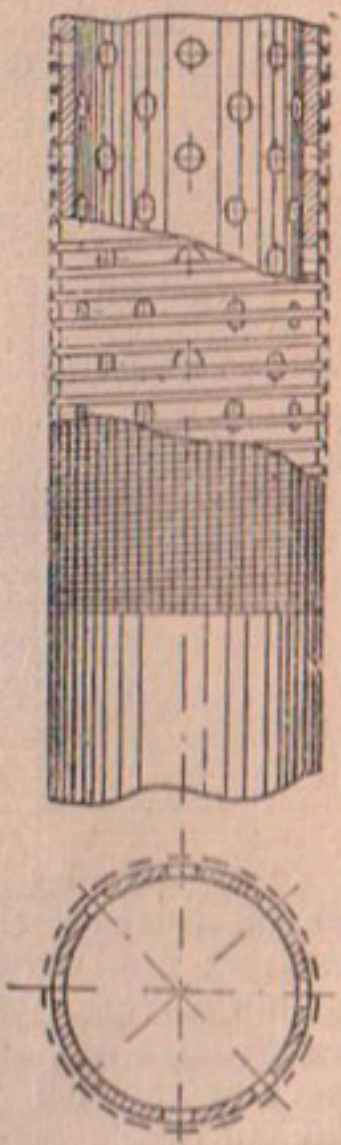
Сетка простого плетения имеет относительно крупные квадратные отверстия и применяется главным образом при постановке фильтров в гравелистые или крупнозернистые песчаные грунты.

В сетке киперного плетения, имеющей также квадратные отверстия, проволоки одного направления последовательно огибают с каждой стороны сетки две или три проволоки другого направления. Благодаря этому сетки киперного плетения отличаются повышенной мягкостью.

Наиболее употребительной является галунная сетка. Проволоки основы расположены в этой сетке на относительно больших расстояниях, проволоки утка тесно прижаты друг к другу. При таком переплетении проволок получается сетка с особенно мелкими щелевидными отверстиями, пригодная также и для мелкозернистых песчаных грунтов.

Большое значение для хорошей работы фильтра имеет правильный подбор сетки.

Наиболее целесообразно подбор сетки производить путем просеивания через нее образцов породы, взятых из скважины с горизонта установки фильтра. По Бринкгаузу должна подбираться такая сетка, через которую проходит 40—60% частиц образца (по весу). Кирилейс[2] рекомендует процент высева принимать более высоким, а именно равным 50—75%. По указанию Кирилейса целесообразность рекомендуемых им норм высева и, в частности, их безопасность в отношении чрезмерного выноса грунта во внутреннюю полость колодцев проверена многолетним опытом устройства водопонизительных установок в городских условиях.



Фиг. 78. Простейший фильтр с сеткой

Подобранная указанным способом сетка позволяет удалить при строительной прокачке колодца из ограниченной зоны, прилегающей непосредственно к стенкам фильтра, наиболее мелкие частицы грунта. Это весьма благоприятно сказывается как на условиях движения грунтовых вод в непосредственной близости от колодца, так и на величине гидравлических сопро-

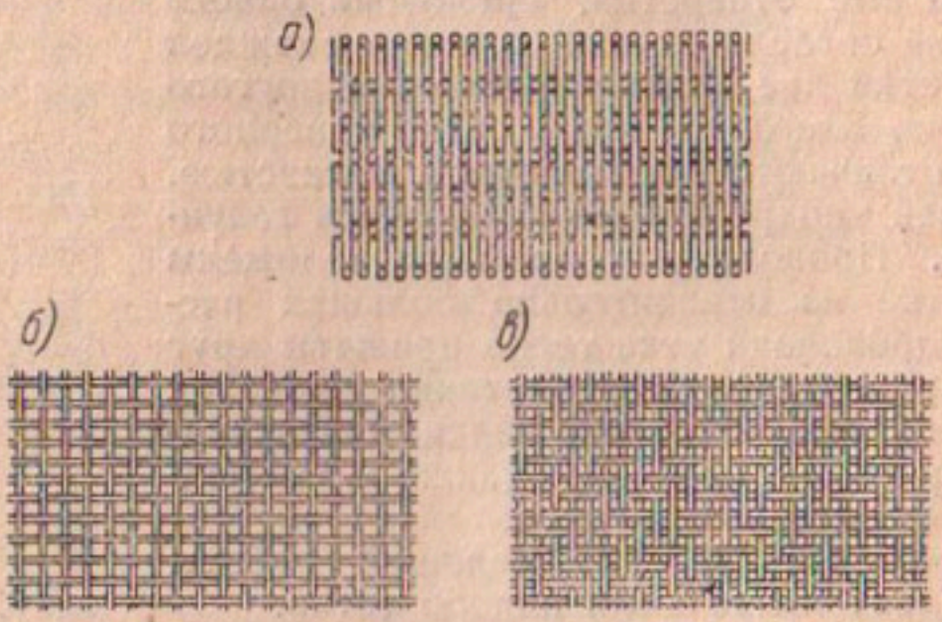
---

[1] Подобный же эффект может быть получен путем применения вместо проволоки грубой сетки с крупными ячейками.

[2] „Исскуственное понижение уровня грунтовых вод", 1933.

тивлений, возникающих при фильтрации грунтовых вод через сетку.

Сетки являются обычно наименее долговечной частью фильтра. Особенно быстро разрушаются (иногда за несколько месяцев) сетки из оцинкованной железной проволоки, применяемые при устройстве трубчатых колодцев для искусственного понижения уровня грунтовых вод. При устройстве дренажных трубчатых колодцев подобные сетки применять не следует. Более устойчивыми по отношению к разрушающему влиянию грунтовых вод являются сетки из латуни, нержавеющей стали, а особенно из меди и фосфористой бронзы.



Фиг. 79. Сетки для фильтров

Разрушению отдельных элементов фильтра и в частности сеток может весьма сильно способствовать разнородность примененных при устройстве фильтра металлов вследствие возникновения в этом случае в кислотных, щелочных или солесодержащих грунтовых водах явлений электролиза. Поэтому при металлическом каркасе фильтра сетки следовало бы выполнять из того же металла, что и каркас. При существующей дефицитности в цветных металлах и неприменимости железных сеток это однако оказывается практически невыполнимым. Вред от электролитической коррозии может быть уменьшен устранением непосредственного контакта между выполненными из разнородных металлов сеткой и каркасом путем введения изолирующих прослойков из битумных материалов или резины.

Весьма часто работа сетчатых фильтров осложняется засорением сеток частицами грунта или выпадающими из воды химическими соединениями. В некоторых случаях закупорка сеток может быть вызвана также их биологическим обрастанием.

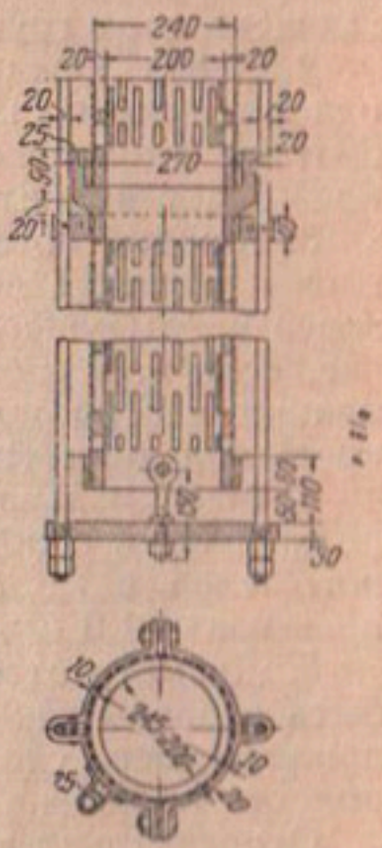
Механическому засорению отверстий сетки мелкими песчаными, илистыми или глинистыми частицами способствуют применение слишком частых сеток и чрезмерные скорости подхода грунтовых вод к фильтру при его эксплоатации.

В отношении химической закупорки наибольшую опасность представляют грунтовые воды, содержащие железистые или известковые соединения. Химическому засорению могут способствовать также упомянутые выше электролитические явления и значительные понижения динамического уровня, обнажающие сетку и создающие доступ к ней воздуха.

Последнее обстоятельство должно учитываться при назначении высотного положения фильтров. Как правило, верх фильтров должен быть погружен под наинизший эксплоатационный уровень не менее чем на 1,0 *м*.

Один из наиболее устойчивых по отношению к коррозии сетчатых фильтров представлен на фиг. 79 г (конструкция Е. Принца).

Каркас фильтра выполнен из гончарных щелистых труб, опирающихся на специальный поддон и объединенных в систему двумя тягами из круглого железа. Тяги схвачены под раструбами труб двойными железными хомутами. Раструбные стыки заделаны асфальтовой мастикой. Щелистая часть фильтра защищена медной сеткой. Требующий известной аккуратности монтаж подобного фильтра должен производиться над скважиной. Фильтр может быть установлен в скважину диаметром 450—500 *мм*.



Фиг. 79г. Гончарный фильтр Принца

Фильтры с обсыпкой

При каптаже грунтовых вод из песчаных пород применяются наряду с сетчатыми фильтрами также фильтры с песчано-гравелистой обсыпкой. Основное преимущество обсыпных фильтров заключается в относительно малой их засоряемости. Наиболее часто они применяются в мелкозернистых плывунных песках, крайне неблагоприятных для службы сетчатых фильтров. Эффективными обсыпные фильтры оказываются также при захвате грунтовых вод из пестрых по составу аллювиальных песчаных образований, почти всегда включающих невыдержанные и маломощные прослои суглинков и глин.

В зависимости от гранулометрического состава породы и размеров отверстий в каркасе фильтра обсыпка может быть одиночной, двойной или состоящей из бо́льшего числа слоев. Толщина каждого слоя обсыпки по производственным соображениям должна быть не менее 7,5 *см*. Материалом для устройства обсыпки служат промытые (освобожденные от глинистых частиц) и отсортированные песок и гравий.

Вопрос о подборе оптимального гранулометрического состава отдельных слоев обсыпки до настоящего времени не может считаться достаточно разработанным. Для ориентировки приводим

общие положения, касающиеся устройства обсыпки, принятые при проектировании трубчатых колодцев берегового дренажа и достаточно оправдавшие себя (в местных условиях) на практике.

1. Наружный слой обсыпки должен подобно сетке пропускать через свои поры мелкие зерна породы и задерживать относительно крупные. Процент допустимого выноса следует принимать для обсыпки меньшим, чем для сетки, ввиду возможных нарушений устойчивости обсыпки при суффозионных просадках прилегающего слоя грунта[1].

2. Зерна каждого слоя обсыпки должны быть достаточно однородными по крупности. Практически это требование можно считать удовлетворенным, если диаметр наибольших зерен превышает диаметр наименьших не более чем в 5 раз.

3. Каждый последующий слой обсыпки (считая от наружного слоя к каркасу) должен быть достаточно непроницаемым для зерен предыдущего. Для выполнения этого условия (в том случае, если п. 2 соблюден) достаточно, чтобы диаметр наиболее мелких частиц последующего слоя не более как в 3—4 раза превышал диаметр наиболее крупных частиц предыдущего.

4. Максимальная крупность зерен внутреннего слоя обсыпки должна быть сообразована с его толщиной. При толщине указанного слоя в 7,5 *см* максимальный диаметр зерен не должен превышать 1,0 *см*.

5. Диаметр отверстий или ширина щелей в каркасе должны быть избраны такими, чтобы лишь незначительная часть зерен прилегающего слоя обсыпки могла проникнуть во внутреннюю полость колодца.

Относительно малая по сравнению с сетчатым фильтром засоряемость обсыпного фильтра определяется в ряде случаев значительно большей развитостью его приемной поверхности. Под приемной поверхностью обсыпного фильтра мы разумеем здесь соприкасающуюся с породой и подвергающуюся заилению в первую очередь поверхность наружного слоя обсыпки.

Опыт показывает однако, что даже при равных приемных поверхностях обсыпные фильтры заиляются медленнее сетчатых. Это объясняется, повидимому, тем, что работа обсыпных фильтров не осложняется явлениями электролиза, обычно имеющими место при „стандартных" фильтрах, включающих железный каркас и медную сетку.

Дополнительным преимуществом обсыпных фильтров является практически неограниченная долговечность материала обсыпки при любых по своим химическим свойствам грунтовых водах.

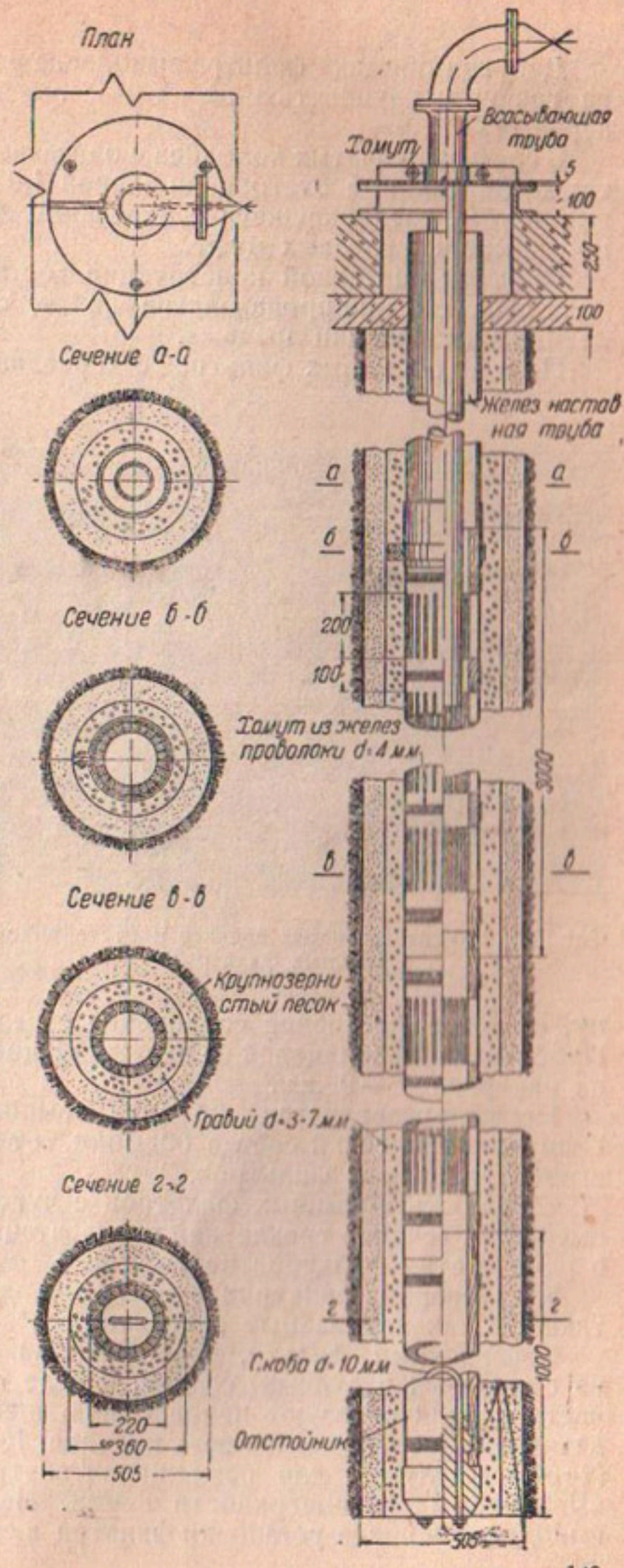
При всех преимуществах обсыпных фильтров следует все же иметь в виду, что стоимость устройства трубчатых колодцев с подобными фильтрами вследствие необходимости проходки скважин значительного диаметра весьма высока.

---

[1] Это указание при некоторых конструкциях обсыпных фильтров (например при корзинчатом фильтре) может не приниматься во внимание.

Обсыпной фильтр с деревянным каркасом биссмановского типа, примененный на строительстве берегового дренажа, изображен на фиг. 80 а.

Каркас фильтра составлен из отдельных звеньев с нормальной длиной в 3 *м*. Внутренний диаметр каркаса 160 *мм*, наружный — 220 *мм*. Звенья собраны из сосновых клепок трапецоидального профиля, стянутых обручами из железной проволоки диаметром 3 *мм*. Для защиты от коррозии обручи асфальтированы (фиг. 80 б). Соединение звеньев между собой произведено с помощью заточек их концов вполдерева. Вырезанные в клепках щели имеют ширину на внешней поверхности каркаса в 3 *мм*. К внутренней полости каркаса щели расширяются до 9 *мм*. Длина щелей 200 *мм*. При принятой разбивке щелей степень „скважности“ каркаса (т. е. отношение площади отверстий в стенках каркаса к полной площади его поверхности) невелика и составляет всего 6,5%.



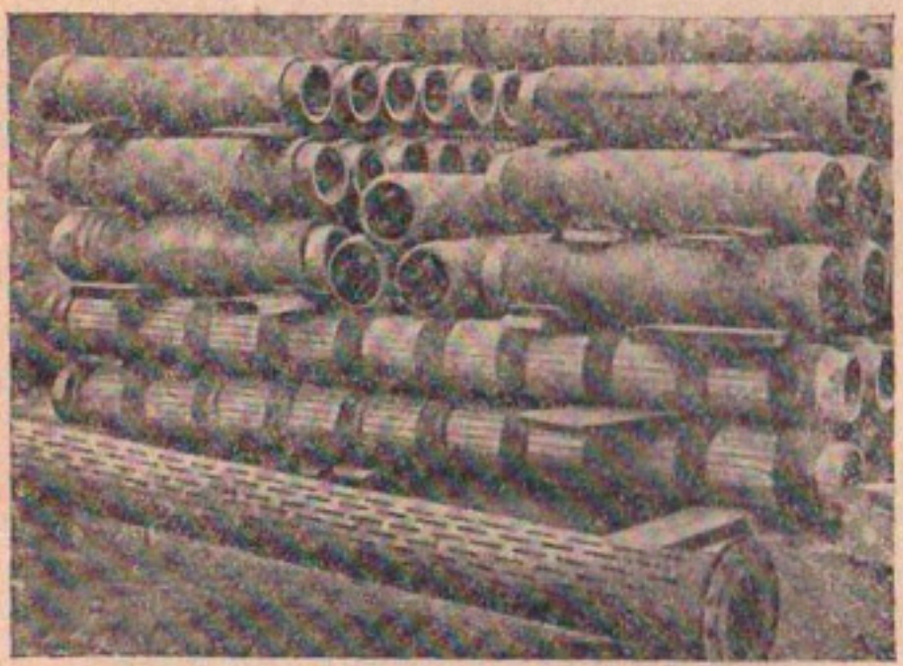
Фиг. 80а. Деревянный фильтр с обсыпкой

Двойная обсыпка фильтра выполнена у большинства колодцев из гравия с крупностью зерен 3—7 *мм* и песка с крупностью зерен 0,5—2 *мм*.

В состав трубчатых колодцев с описанными фильтрами входили также деревянные отстойники длиной 1,0 *м* и железные наставные трубы, соединявшиеся с деревянными каркасами фильтров при помощи железных муфт.

Фильтры описанной конструкции достаточно хорошо оправдали себя как при производстве работ, так и в процессе трехлетней эксплоатации дренажа.

Помимо обсыпных фильтров с деревянным каркасом в системе берегового дренажа были применены в виде опыта также обсыпные чугунные фильтры (фиг. 81).



Фиг. 80б. Группа щелистых звеньев и отстойников деревянных фильтров

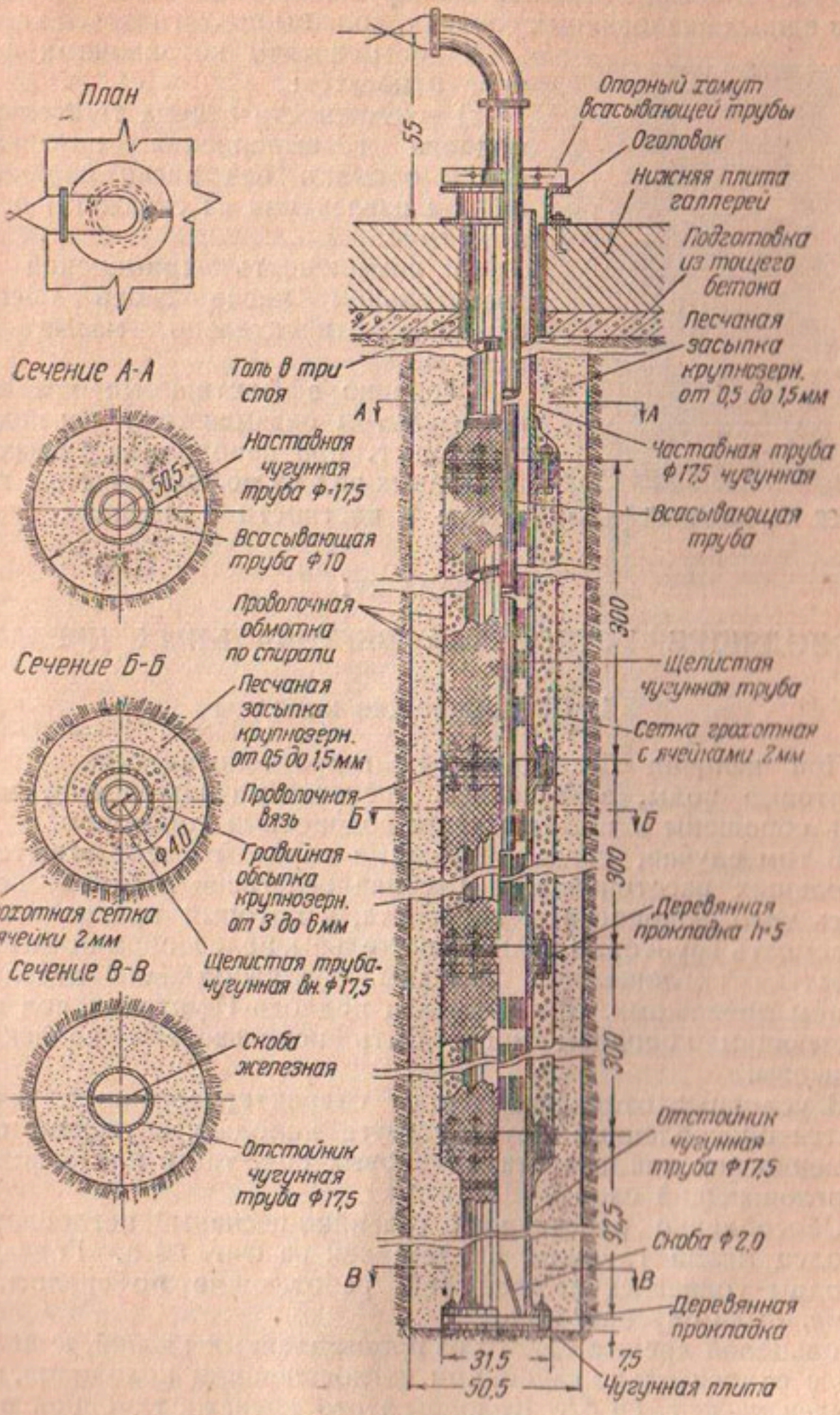
Каркас этих фильтров состоит из чугунных щелистых труб специальной отливки. Длина каждой трубы 3 *м*, внутренний диаметр 175 *мм*, наружный 195 *мм*. Соединения труб — фланцевые с прокладкой деревянных колец. Опыт сборки фильтров показал, что лучшей конструкцией явилось бы, повидимому, обычное фланцевое соединение с резиновыми прокладками. Проектная ширина щелей на наружной поверхности труб — 3 *мм*, на внутренней — 9 *мм*.

Песчано-гравелистая обсыпка выполнялась двухслойной. Гранулометрический состав обсыпки тот же, что и у описанных выше деревянных фильтров.

Стоимость обсыпных фильтров с чугунным каркасом весьма высока. В течение трехлетней эксплоатации каких-либо дефектов в работе этих фильтров не выявлено.

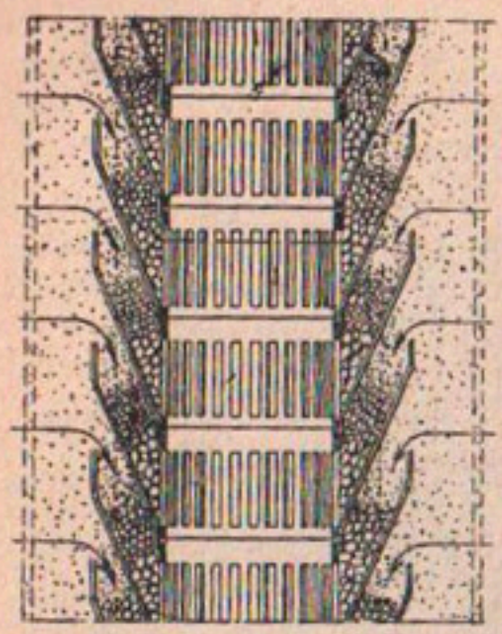
К категории фильтров с обсыпкой должны быть отнесены также и так называемые „корзиночные" фильтры.

Корзиночный фильтр, изображенный на фиг. 82, выполнен из отдельных чугунных секций. После сборки цилиндрические части секций образуют непрерывную щелистую трубу, ограждающую внутреннюю полость колодца. Конические части секций (корзины) служат для размещения внутренних слоев обсыпки, выполняемых на поверхности земли. Наружный слой обсыпки выполняется после установки фильтра в скважину путем засыпки



Фиг. 81. Чугунный фильтр с обсыпкой

кольцевого зазора между краями корзин и обсадными трубами. Последние по мере выполнения наружного слоя обсыпки, так же как и в иных аналогичных случаях, должны подтягиваться кверху.



Фиг. 82. Корзиночный фильтр

К достоинствам корзиночных фильтров относятся:

а) возможность весьма тщательного подбора и выполнения внутренних слоев обсыпки без риска нарушения их при извлечении из скважины обсадных труб;

б) возможность применения при значительном числе слоев обсыпки скважин относительно малых диаметров.

Особенно эффективными корзиночные фильтры оказываются, как показывает опыт, при необходимости захвата грунтовых вод из мелкозернистых грунтов и в частности плывунных песков.

ГЛАВА XVI

ПРОВОДЯЩИЕ УСТРОЙСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

1. Поглощающие колодцы

При наличии благоприятных гидрогеологических условий грунтовые воды, захваченные дренажными колодцами, могут быть сброшены в нижележащие водоносные горизонты.

В том случае, когда дренажные колодцы располагаются на небольших расстояниях, а глубина залегания и отводоспособность того водоносного горизонта, в который предполагается сбрасывать грунтовые воды, значительны, целесообразными могут оказаться поглощающие колодцы, обслуживающие отдельные группы дренажных. При этом для подвода грунтовых вод к поглощающим колодцам могут быть использованы коллекторы и сифоны.

В условиях, отличающихся от охарактеризованных, устраиваются обособленные друг от друга колодцы, служащие одновременно как для захвата грунтовых вод, так и для отвода их в поглощающий слой.

Обособленно работающий гравийно-песчаный поглощающий колодец малой глубины представлен на фиг. 83 а. Гончарные колодцы голландских дренажей, работающие по аналогичной схеме, были описаны выше.

Кольцевой дренаж одного из промышленных зданий, выполненный с относительно глубокими поглощающими колодцами, представлен на фиг. 83 б[1]. Колодцы этого дренажа глубиной в 40—

[1] Из материалов инж. М. Х. Пржедецкого.

45 *м* имеют в пределах толщи, сложенной из рыхлых и мягких грунтов, железный каркас и фильтры диаметром 100 *мм* типа, изображенного на рис. 78. Колодцы сбрасывают дренажные воды в трещиноватые известняки. В своей нижней, „отдающей" части колодцы ничем не закреплены. Депрессионная поверхность, сформировавшаяся на линии колодцев после ввода дренажа в действие, показана на рис. 83 б схематически ввиду малого количества наблюдательных скважин.

Нарушение работы поглощающих колодцев весьма част происходит вследствие „механического" загрязнения или заиления их „отдающей" части. При грунтовых водах, содержащих соединения железа или извести, закупорка нижней дырчатой части колодца может произойти также под влиянием выпадающих из воды химических соединений.

В заключение следует указать на недопустимость сброса дренажных вод в горизонты, используемые для целей водоснабжения ввиду возможности их загрязнения. При любых обстоятельствах устройство поглощающих колодцев должно быть согласовано с саннадзором.



Фиг. 83а. Простейший поглощающий колодец

2. Откачка из одиночных колодцев

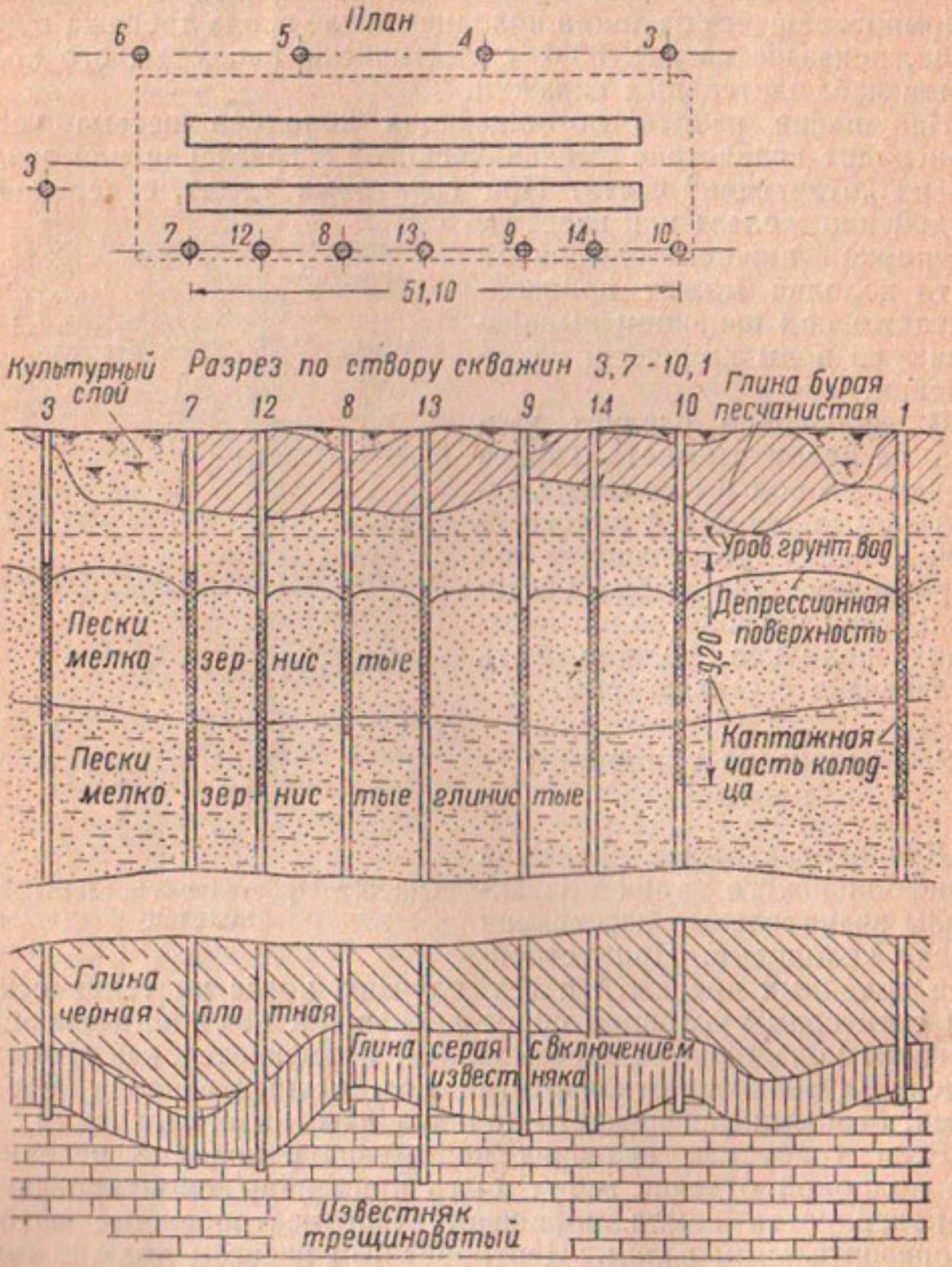
Для вертикальных дренажей калифорнийского типа характерны значительные расстояния между колодцами. При устройстве подобных дренажей в тех случаях, когда по техническим или санитарным условиям сброс дренажных вод в поглощающие горизонты оказывается невозможным, применяется, как правило, децентрализованная откачка этих вод, осуществляемая небольшими, особыми для каждого колодца насосными станциями.

Если требуемая величина понижения в колодце невелика, для подобной откачки могут быть применены смонтированные на поверхности земли поршневые или центробежные насосы с горизонтальным валом. Центробежным насосам должно быть отдано предпочтение вследствие их компактности, простоты конструкции, возможности соединения с электрическим двигателем без всяких промежуточных передач, а также равномерности подачи.

В тех случаях, когда расстояние от поверхности земли до динамического уровня воды в колодце превышает допустимую высоту всасывания (практически 5—6 *м*), приходится переходить

на установку насоса в шахте или на применение глубинных насосов, погружаемых в трубчатые колодцы.

В США при устройстве калифорнийских дренажей на ирригационных системах в связи с значительными дебитами колодцев



Фиг. 83б. Кольцевой дренаж с поглощающими колодцами

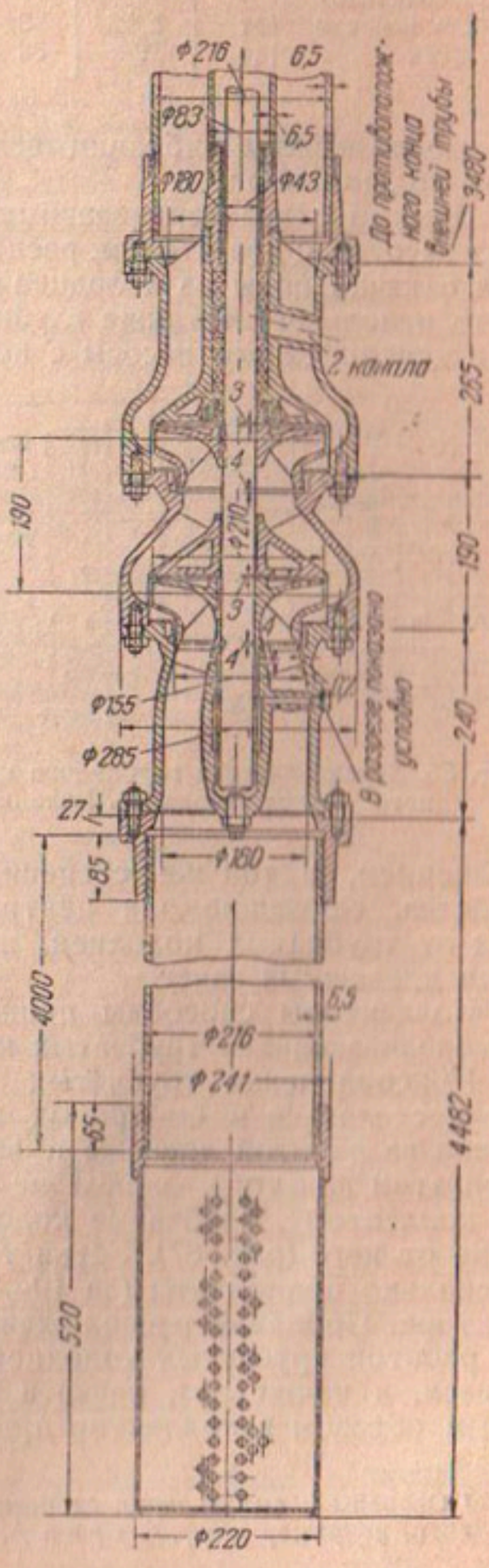
(от 25 до 200 *л/сек*) из насосов последней категории предпочтение отдается обычно глубинным центробежным насосам (большей частью трех-, четырехступенчатым) с вертикальным валом и двигателем в виде электромотора вертикального типа, монтируемым на поверхности земли.

Американская промышленность выпускает значительное количество марок подобных насосов, различных по габаритам и производительности, с обычной высотой подачи до 90 *м* (из них 60 *м* в скважине) и коэфициентом полезного действия до 80—81%. Так например, фирма „Peerless Pump" по данным каталога за 1936 г. выпускает насосы следующих производительностей (табл. 10).

Глубинные центробежные насосы с двигателем над устьем колодца стали осваиваться у нас, в СССР, лишь в последние годы. Первые практические шаги в этом отношении сделали некоторые городские водопроводы и в частности киевский Водотрест, начавший с 1935 г. оборудование ряда колодцев городского водопровода глубинными центробежными насосами собственного производства[1].

В последнее время глубинные центробежные насосы стали выпускаться Московским заводом им. Калинина. Двухступенчатый глубинный насос этого завода 12НА × 3 представлен на фиг. 84. Характеристика трехступенчатого насоса того же типа дана на фиг. 85. Общий вид трубчатого колодца, оборудованного глубинным насосом завода им. Калинина, представлен на фиг. 86.

Глубинные центробежные насосы при двигателе, расположенном на поверхности земли, связываются с ним валом, размещаемым внутри напорной трубы. Между звеньями этой трубы зажимаются ведущие подшипники вала. Весь агрегат требует весьма тщательного и квалифицированного монтажа. В противном



Фиг. 84. Разрез глубинного насоса

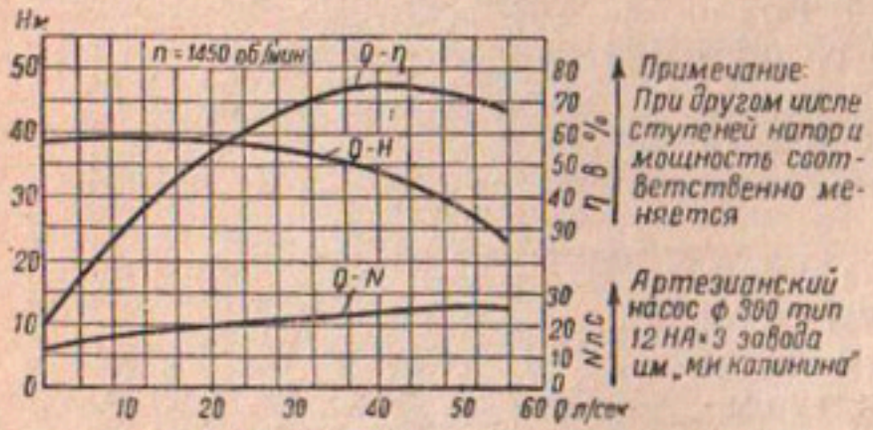
[1] „Водоснабжение и санитарная техника" № 11 за 1938 г., инж. Глаголев В. Н., Аксиальные и полуаксиальные глубоководные насосы и их эксплоатация.

Таблица 10

Минимальный диаметр скважины в *мм*		150	175	200	250	300	350	400	450
Производительность насосов в *л/сек*	от	1,25	8	6	6	13	16	16	30
	до	19	35	38	75	100	145	250	440

случае возможны вибрации вала и быстрый износ направляющих подшипников.

Помимо охарактеризованных вкратце глубинных центробежных насосов с двигателем, расположенным на поверхности земли, для откачки воды из колодцев калифорнийских дренажей могут быть использованы также глубинные поршневые насосы, глубинные центробежные насосы с погружаемым в воду электромотором[1], эрлифты и некоторые иные.



Фиг. 85. Характеристика глубинного центробежного насоса завода им. Калинина

Сведения об особенностях и условиях применения этих насосов можно найти в специальной литературе[2].

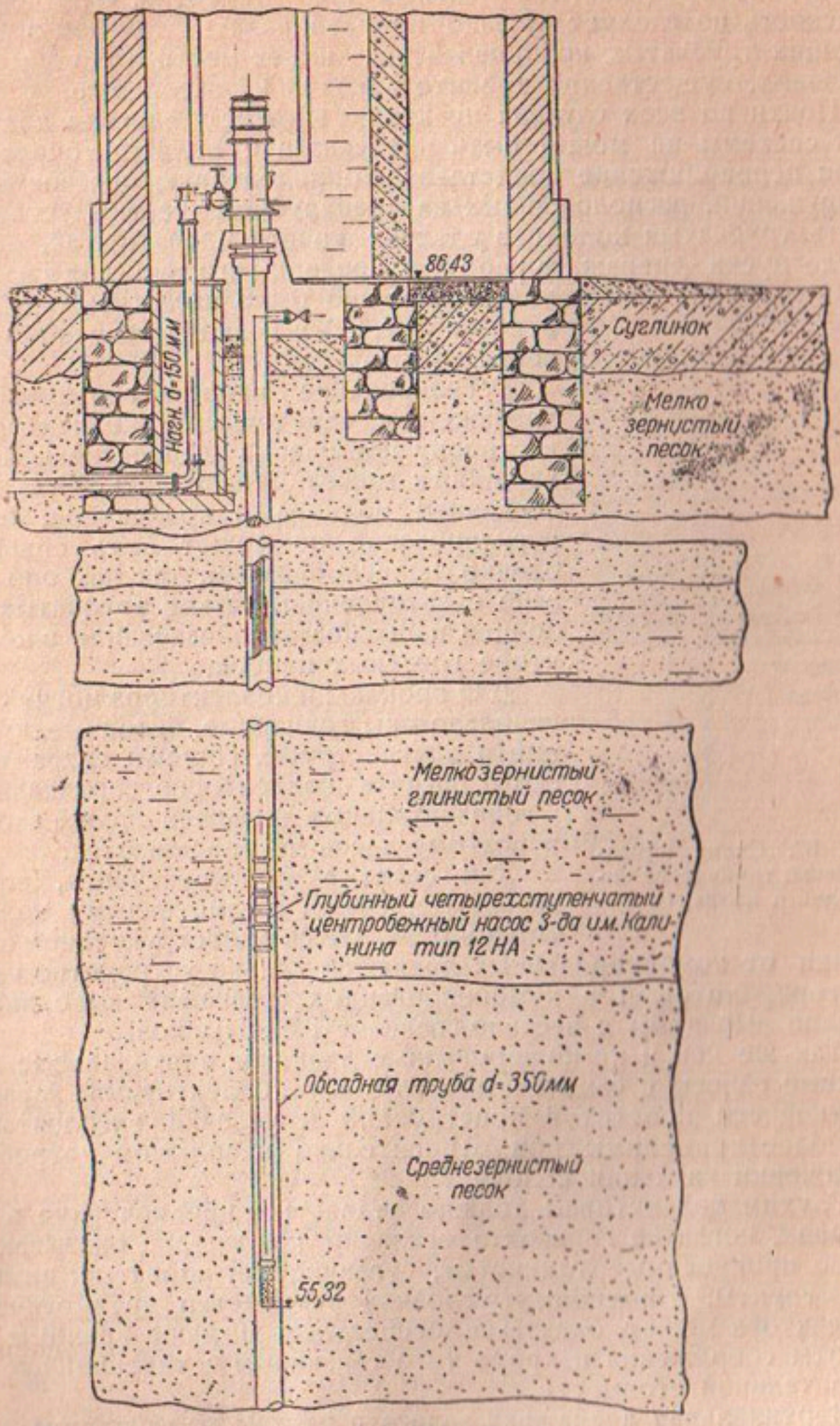
3. Глухие коллекторы

Самотечные глухие коллекторы, работающие с частичным наполнением, в той же степени, как и иные проводящие устройства, служащие для централизованного отвода грунтовых вод от трубчатых колодцев, наиболее применимы при устройстве дренажных завес.

Коллекторы способны принимать грунтовые воды лишь из самоизливающихся трубчатых колодцев.

Присоединение трубчатых колодцев к коллектору должно осуществляться в смотровых колодцах, служащих для наблюдения за работой дренажа и эксплоатационного ухода за ним. При этом для того, чтобы не препятствовать движению воды по коллектору, трубчатые колодцы должны размещаться в стороне от него (рис. 87). Устья трубчатых колодцев должны быть несколько приподняты (на 10—15 *см*) над уровнем воды в коллекторе. Подобное расположение устьев облегчает наблюдение за работой трубчатых колодцев и кроме того защищает их от взвеси, а также ила, песка и грязи, могущих попасть тем или иным образом в коллектор при неисправной эксплоатации дре-

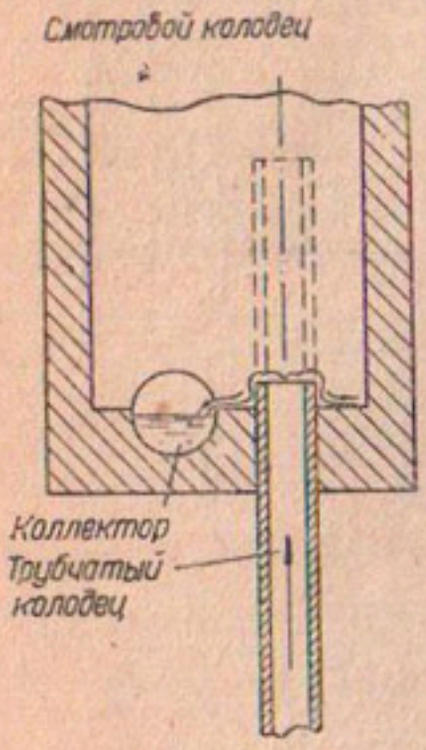
[1] Освоены и выпускаются нашими заводами.
[2] См. например проф. Сурин А. А., Водоснабжение, ч. II.



Фиг. 86. Общий вид трубчатого колодца, оборудованного глубинным центробежным насосом

нажа или дефектности отдельных его элементов. Отмеченную опасность не следует однако преувеличивать, так как в работающих трубчатых колодцах всегда имеет место ток воды снизу вверх, существенно препятствующий их засорению.

Почти во всех случаях практики эффект действия дренажной системы не может быть предсказан с полной точностью. Если перепонижение представляет определенную опасность для сооружений, расположенных на дренируемом участке, устьевую часть трубчатых колодцев следует конструировать так, чтобы после пуска дренажа в работу и проверки его действия в натуре колодцы можно было нарастить (см. пунктир на фиг. 87) в целях повышения горизонта излива.



Фиг. 87. Схема присоединения трубчатого колодца к коллектору

Регулирование работы вертикальных дренажей с самотечными коллекторами в сторону повышения депрессионной поверхности может производиться также и созданием подпора в коллекторе. Такое регулирование не может быть признано однако целесообразным, так как оно связано с затоплением устьев трубчатых колодцев и опасностью образования в коллекторе грязевых пробок.

Для прокладки коллекторов могут быть использованы гончарные, бетонные, чугунные и другие трубы. Приемы гидравлического расчета коллекторов вертикальных и горизонтальных дренажей вполне сходны и поэтому здесь не описываются.

Как следует из изложенного, вертикальные дренажи с самотечными коллекторами отличаются в конструктивном отношении от комбинированных дренажей только устройством коллектора, который в комбинированных дренажах выполняется обычно дырчатым с песчано-гравелистой обсыпкой.

Так же как и комбинированные дренажи, вертикальные дренажные завесы с самотечными глухими коллекторами, характеризующиеся простотой конструкций и условий эксплоатации, наиболее применимы при относительно небольшом потребном понижении на линии колодцев.

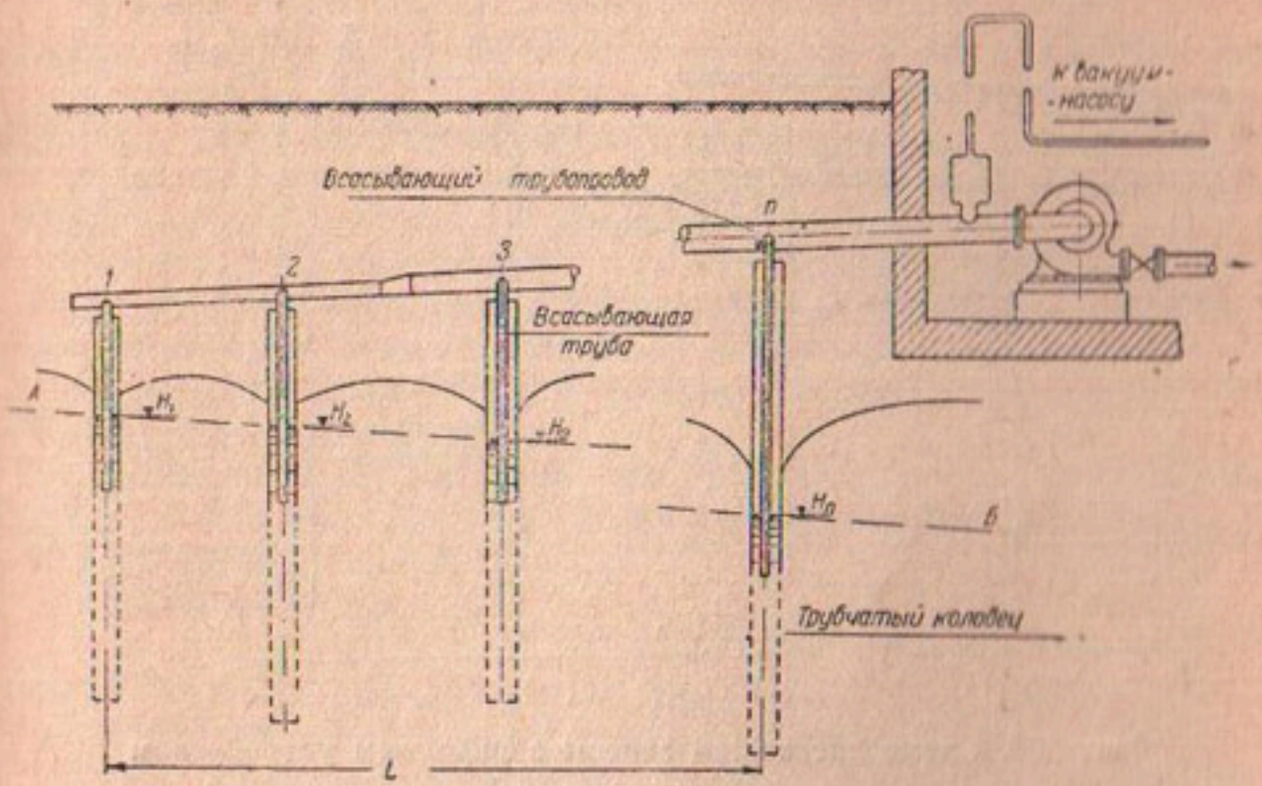
Глухим коллекторам должно отдаваться предпочтение в тех случаях, когда на горизонте закладки коллектора оказываются слабо проницаемые (глинистые, суглинистые, иловатые, плывунные) грунты. В подобных условиях устройство дренирующего коллектора может оказаться бесцельным и даже вредным для работы сооружения и кроме того связанным с увеличением его строительной стоимости.

Вертикальная дренажная завеса с глухим коллектором была запроектирована в частности для защиты правобережья реки Яузы (Москва) от подтопления грунтовыми водами вследствие

подпора воды в реке плотиной гидротехнического узла. Местные условия позволили обойтись здесь без перекачки дренажных под насосами и присоединить глухой самотечный коллектор дренажа (берегового) к водостоку, выведенному в нижний бьеф плотины.

4. Вакуумные системы, обслуживающие отдельные группы колодцев (всасывающие трубопроводы с непосредственным присоединением к насосу и сифоны)

Вертикальные дренажные завесы с самотечными глухими коллекторами являются наиболее простыми с конструктивной и эксплоатационной точек зрения. При необходимости значи-



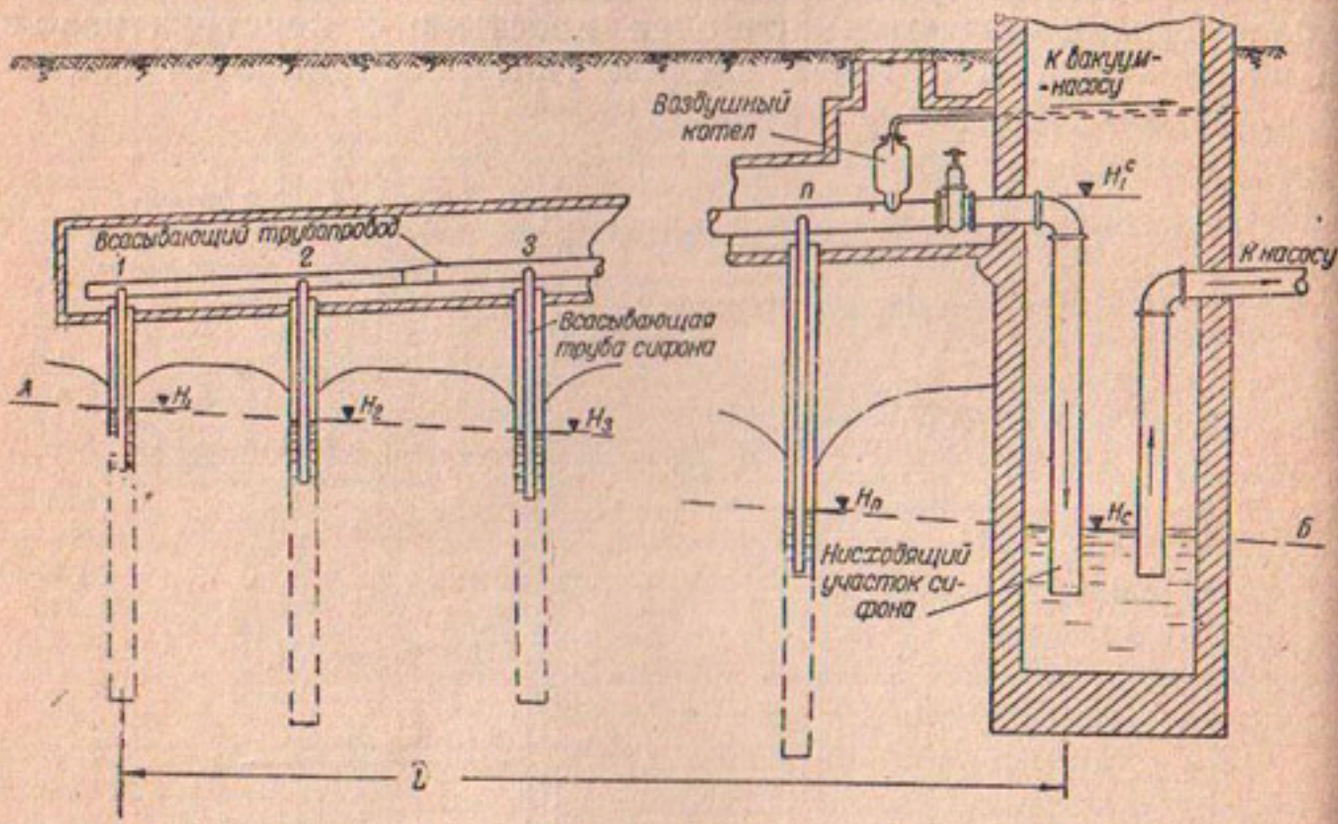
Фиг. 88а. Схема дренажной завесы с всасывающим трубопроводом, присоединенным к насосу

тельного понижения на линии колодцев коллектор приходится устраивать однако сильно заглубленным. Выполнение глубокой траншеи для подобного коллектора может оказаться весьма трудоемкой и дорогой работой (особенно при высоком стоянии непониженного уровня грунтовых вод), связанной кроме того с определенной опасностью для устойчивости расположенных вблизи трассы коллектора зданий.

В подобных условиях находят себе применение вакуумные проводящие системы, выполняемые в виде всасывающей линии, непосредственно присоединенной к насосу, или в виде сифона. В первом случае общая схема вертикальной дренажной завесы получает вид, изображенный на фиг. 88 а, во втором — вид, представленный на фиг. 88 б. В состав сифона входят: опущенные в трубчатые колодцы вертикальные всасывающие трубы слабо,

наклонный всасывающий трубопровод и выведенный в сборный резервуар вертикальный нисходящий участок. В вакуумной системе, непосредственно присоединенной к насосу, нисходящий участок отсутствует.

В целях создания благоприятных условий для отвода воздуха, попадающего во внутреннюю полость всасывающих трубопроводов через различного рода неплотности в их стенках и выделяющегося из воды, всасывающие трубопроводы всегда прокладываются с некоторым подъемом к насосу или сборному резервуару в противоположность самотечным коллекторам, име-



Фиг. 88б. Схема дренажной завесы с сифонным устройством

ющим уклон по течению воды. По причинам, изложенным ниже, максимальную высоту всасывания принимают обычно при схеме вакуумной системы по рис. 88 а не свыше 6 *м*, при схеме по рис. 88б — не свыше 7—7,5 *м*. Тем самым определяется и предел возможного выигрыша в глубине заложения при устройстве вакуумных трубопроводов по сравнению с глухими самотечными коллекторами. Наибольшая разница в глубине заложения может быть получена в конечном пункте проводящей системы у насосной станции или сборного резервуара. По мере удаления от этого пункта глубина заложения всасывающего трубопровода постепенно приближается к глубине заложения равноценного по отводоспособности коллектора.

При работе описываемых вакуумных систем динамические уровни в трубчатых колодцах устанавливаются на отметках, постепенно снижающихся по мере приближения к насосу или приемному резервуару (фиг. 88, а и б). При этом между динамическими уровнями в смежных колодцах устанавливаются пе-

репады $H_1 - H_2$, $H_2 - H_3$, $H_3 - H_4$ и т. д. Величина каждого из этих перепадов определяется величиной гидравлических сопротивлений на соответственном участке вакуумного трубопровода. Так, перепад $H_2 - H_3$ равен по величине, выраженной в высоте водяного столба, потере напора на трение и местные сопротивления на участке трубопровода 2—3[1].

Из сказанного следует вместе с тем, что перепад уровней между первым и последним колодцами вакуумной системы равен сумме гидравлических потерь на всем протяжении всасывающего трубопровода, т. е.

$$H_1 - H_n = \Sigma \Delta h.$$

Здесь

H_1 — отметка динамического уровня в первом колодце системы;

H_n — подобная же отметка в последнем n-ом колодце системы;

$\Sigma \Delta h$ — полная сумма потерь во всасывающем (слабонаклонном) трубопроводе от первого колодца до последнего.

При подсчете величины $\Sigma \Delta h$ должны учитываться как потери на трение, так и местные сопротивления, включая потери на переходах, закруглениях, задвижках, а также потери, возникающие при сопряжении частных потоков, выходящих из отдельных всасывающих труб, с транзитным потоком, идущим по всасывающему трубопроводу.

При сифонном устройстве для разницы уровней в первом колодце дренажа и сборном резервуаре соответственно справедливо следующее выражение:

$$H_1 - H_c = \Delta h_{1k} + \Sigma \Delta h + \Delta h_n.$$

Здесь H_1 и $\Sigma \Delta h$ имеют то же значение, что и выше;

H_c — отметка уровня воды в сборном резервуаре;

Δh_{1k} — гидравлические потери на вход, местные сопротивления и трение во всасывающей трубе первого колодца;

Δh_n — аналогичные потери в нисходящем участке сифона.

Наибольший вакуум в работающем сифоне может быть определен по выражению:

$$H_v = H_c' - H_c - \Delta h_n,$$

где H_c' — отметка наивысшей точки сифона (фиг. 88 б).

Общий порядок расчета дренажной завесы с вакуумными проводящими устройствами может быть намечен в следующем виде.

До приступа к расчету необходимо задаться положением линии падения динамических уровней в колодцах (линией AB на фиг. 88 а и б) и их расположением. При этом следует учитывать, что при равных расстояниях между колодцами (и про-

[1] При этом мы предполагаем, что гидравлические потери на выход и трение во всасывающих трубах 2 и 3 одинаковы.

чих равных условиях) понижение в конечной части системы будет более интенсивным нежели в начальной, где динамические уровни располагаются на более высоких отметках.

Поэтому весьма часто оказывается целесообразным к концу дренажной линии увеличить расстояния между колодцами[1].

Удовлетворительность принятых: линии падения динамических уровней и расположения колодцев с точки зрения достижения достаточного понижения на территории устанавливается гидрогеологическим расчетом. Попутно определяются и дебиты колодцев.

После этого переходят к гидравлическому расчету проводящей системы. Этот расчет сводится к подбору по определившемуся среднему пьезометрическому уклону $\left(i_{ср}=\frac{H_1-H_n}{L}\right.$ или $\left.i_{ср}=\frac{H_1-H_c}{L}\right)$ сечений трубопровода по участкам. При этом должно конечно учитываться постепенное увеличение расхода в трубопроводе от его начала к концу.

Средний пьезометрический уклон в трубопроводе принимается в большинстве случаев небольшим. Так, при проектировании берегового дренажа этот уклон был принят равным 0,001.

При умеренных пьезометрических уклонах устанавливаемые гидравлическим расчетом скорости во всасывающем трубопроводе получают обычно величину в 0,3—0,6 *м/сек*.

Грунтовые воды всегда содержат известное количество абсорбированных газов. В составе этих газов в количественном отношении преобладают основные компоненты воздуха, т. е. азот и кислород, к которым примешиваются, обычно в незначительных количествах, углекислый газ, сероводород, метан и иные газы.

По данным Г. Рихтера 1 $м^3$ воды при давлении 760 *мм* рт. ст. может поглотить следующие количества воздуха (в *л* после пересчета на 0° и 760 *мм* давления):

$t°$ — 0	10	20	30
V — 29	23	19	16

Грунтовые воды содержат, как правило, меньшие количества воздуха. Однако из осторожности при описываемых ниже расчетах следует принимать (в соответствии с указанием Мюллера), что в 100 *л* грунтовой воды содержится при обычных для этих вод невысоких температурах 2,5 *л* воздуха.

Во внутренней полости всасывающего трубопровода заключенный в грунтовых водах воздух, вследствие уменьшения давления стремится расшириться. Это расширение при неизменной

[1] В некоторых случаях, в частности при расчете береговых дренажей, целесообразные расстояния между колодцами могут быть определены теоретически, применительно к заданному понижению и принятой линии падения динамических уровней.

температуре происходит по закону Бойля - Мариотта — $p \cdot v =$ = const.

Расширяющийся воздух выделяется в виде пузырьков, всплывающих в воде и стремящихся занять наиболее высокое положение в трубопроводе. Вследствие этого происходит скопление воздуха у верхней образующей всасывающего трубопровода. При описанном процессе из воды выделяется не весь заключенный в ней воздух, а лишь известная его часть, тем большая, чем больше разрежение и длительность его действия. Наибольшее количество выделяющегося из воды воздуха скапливается поэтому в длинных трубопроводах, работающих под большим вакуумом.

К воздуху, выделившемуся из воды, присоединяется также воздух, поступающий во внутреннюю полость трубопровода через различные неплотности в его стенках. Подобного рода неплотности наиболее часто обнаруживаются в стыках труб, задвижках и иной арматуре, устанавливаемой на трубопроводах.

Количество воздуха, поступающего в трубопровод из атмосферы, зависит от его конструктивных особенностей и тщательности монтажа.

На Наунгофском водопроводе (Лейпциг) опытным путем было установлено, что на каждый пог. метр проложенного там сифонного трубопровода поступает из атмосферы 0,00064 *л/сек* воздуха. При этом трубопровод работал под вакуумом 4,98 *м* вод. ст.

Вместе с тем трубопроводы, проложенные на стыках с резиновыми кольцами (например Жибо), показывают зачастую полную герметичность. Подобная же герметичность может быть получена при прокладке трубопроводов из железных труб, стыкованных на хорошо выполненной сварке.

В том случае, когда всасывающий трубопровод имеет постоянный, хотя бы и небольшой, подъем к насосной станции или сборному резервуару, скопившиеся в верхней части трубопровода пузырьки воздуха увлекаются течением к его наиболее повышенной точке (при сифоне к начальному сечению „нисходящего" участка), откуда воздух может быть отобран вакуум-насосом, эжектором или каким-либо иным образом.

При небрежной укладке трубопровода и наличии в нем участков с падением по течению образуются местные скопления воздуха, уменьшающие живое сечение трубопровода и соответственно увеличивающие потери напора на его длине. Большие „воздушные мешки" могут вообще прервать движение воды по трубопроводу. Сказанное подчеркивает необходимость придания всасывающему трубопроводу правильного уклона, который должен быть на всем протяжении трубопровода не менее 0,00025. Монтаж трубопровода с подобным уклоном представляет однако известные трудности. Поэтому целесообразнее назначать уклоны порядка 0,0005 — 0,001, а если возможно, то и более. Наиболее значительных уклонов требуют трубопроводы, прокладываемые в грунте.

Отбор воздуха должен производиться из всех всасывающих трубопроводов, имеющих сколь-либо значительную протяженность.

Предназначенное для этого оборудование в целях создания спокойных и обеспеченных условий эксплоатации всегда целесообразно назначать с известным запасом.

Так, при проектировании сифонов берегового дренажа производительность обслуживающих их вакуум-насосов была рассчитана на содержание воздуха в воде в количестве 25 *л/м*³ (в предположении, что он выделяется из воды полностью) и на поступление воздуха из атмосферы в количестве 0,001 *л/сек* на 1 *пог. м* всасывающих трубопроводов.

При подсчете необходимой производительности вакуумного оборудования необходимо учитывать конечно и происходящее под влиянием разрежения увеличение объема воздуха во внутренней полости трубопроводов.

Для пояснения сказанного приведем пример, составленный применительно к данным, принятым при расчете сифонов названного берегового дренажа.

Длина сифона 1 *км*, расход воды, транспортируемой сифоном, 100 *л/сек*, предельный вакуум в нем — 7 *м* вод. ст.

Отнесенное к атмосферному давлению (10,3 *м* вод. ст.) количество воздуха, выделяющегося из воды и проникающего через неплотности в стенках сифона, составит:

$$q_a = \frac{25 \cdot 100}{1\,000} + 0{,}001 \cdot 1\,000 = 3{,}5 \ л/сек.$$

При вакууме 7 *м* вод. ст. вследствие расширения воздуха его расход, подлежащий удалению из сифона, достигнет величины:

$$q_в = \frac{3{,}5 \cdot 10{,}3}{10{,}3 - 7{,}0} = 11 \ л/сек.$$

Удаление воздуха из сифона может быть непрерывным и периодическим. В последнем случае большое значение приобретает емкость устанавливаемого в высшей точке всасывающего трубопровода „вакуумного“ котла.

Полное использование этой емкости возможно лишь в том случае, если избранное оборудование для отбора воздуха дает возможность создать разрежение, достаточное для подъема воды до верха котла. Очевидно, что потребный для этого вакуум будет выше определяемого формулой:

$$H_v = H_c' - H_c.$$

В отношении максимально допустимого вакуума вакуумные системы с непосредственным присоединением к насосу и сифоны находятся в несколько различных условиях.

Допустимая высота всасывания у обычно применяемых центробежных насосов зависит от числа оборотов, производитель-

ности насосов, их конструктивных особенностей, а также температуры воды и барометрического давления. Чрезмерная высота всасывания обусловливает изменение характеристики насоса и в частности падение его к. п. д., а также возникновение кавитационных явлений. Кроме того у центробежных насосов всегда должен быть известный запас в высоте всасывания на случай возможных неравномерностей в работе. Отмеченные обстоятельства ограничивают максимальную высоту всасывания у насосов, а вместе с тем и предельно допустимый вакуум в присоединяемых к ним всасывающих системах. За приблизительный предел для высоты вакуума, отнесенной к оси насоса, в подобных системах можно принять 6 *м*[1].

Для сифонов ряд обстоятельств, лимитирующих высоту всасывания у насосов, не имеет значения. Поэтому сифоны допускают несколько большую высоту всасывания. При каптаже грунтовых вод и обычных в отношении барометрического давления условиях за предельную принимают высоту всасывания 7—7,5 *м* (соответствует вакууму, определяемому по формуле $H_v = H_c' - H_c$).

Как следует из изложенного, сифонные трубопроводы допускают несколько большую высоту всасывания по сравнению с вакуумными трубопроводами, непосредственно присоединенными к насосу.

Сифонные трубопроводы обладают вместе с тем и рядом весьма существенных эксплоатационных преимуществ.

Основное из этих преимуществ заключается в возможности относительно легкого регулирования дебита, а следовательно и интенсивности работы дренажной системы.

При всасывающем трубопроводе, непосредственно присоединенном к насосу, регулирование дебита может производиться: а) маневрированием задвижкой на напорной линии, б) перепуском части расхода из напорной линии во всасывающую по специальному обходному трубопроводу (шунту), в) прикрыванием задвижек на всасывающих трубах колодцев.

Как показывает практика, отрегулирование дренажных систем перечисленными приемами хотя и возможно, но затруднительно.

При вакуумных системах с непосредственным присоединением к насосу применение этих приемов, связанных помимо всего прочего с напрасными потерями энергии, оказывается неизбежным ввиду отсутствия регулирующей емкости.

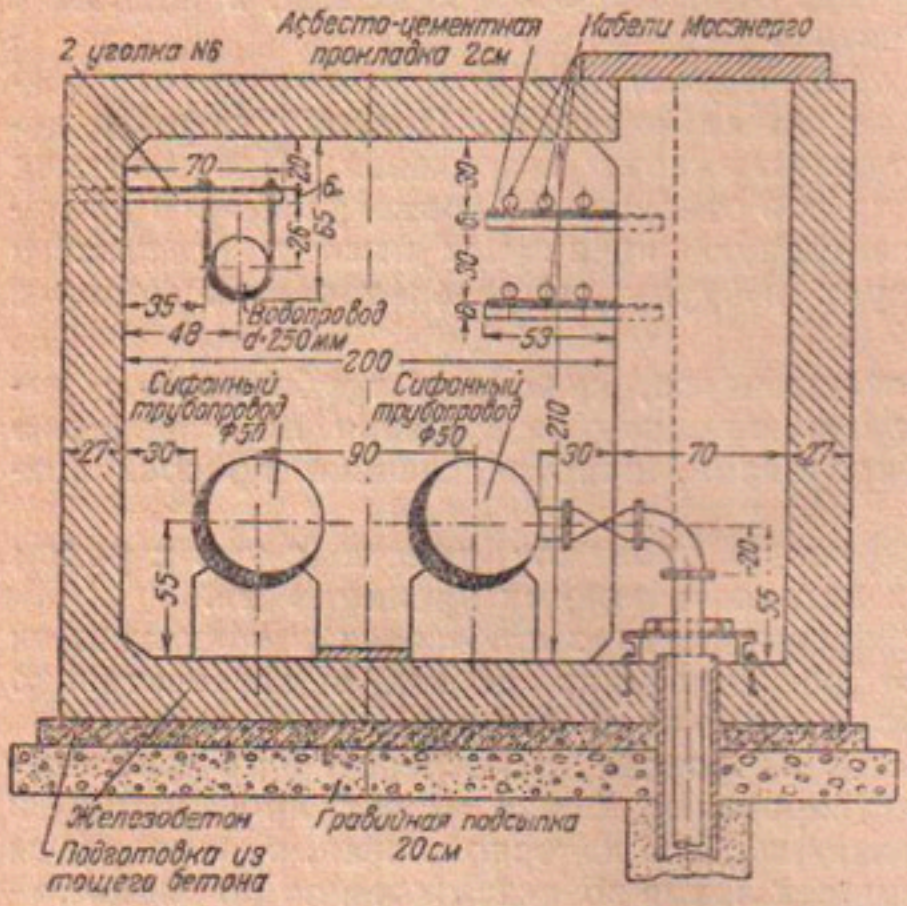
При применении сифонных проводящих устройств подобная емкость создается в приемном резервуаре. Вследствие этого оказывается возможной периодическая работа насосов. При подобной работе требуемое понижение на линии дренажа может быть достигнуто поддержанием в приемном резервуаре колеблющегося в определенных пределах уровня, что выполнимо без затруднений и без непроизводительных потерь энергии.

---

[1] Возможность постановки насоса на ту или иную высоту всасывания всегда должна быть подтверждена заводом-поставщиком.

Защита трубчатых колодцев от чрезмерного снижения динамических уровней в них обеспечивается при сифонных устройствах с наибольшей легкостью. Приемный резервуар защищает вместе с тем трубчатые колодцы дренажа от резкого изменения режима их работы при пуске и остановке насосов.

Весьма ценной в некоторых случаях может оказаться также возможность использования приемного резервуара сифонной системы в качестве отстойника для осаждения мелкой взвеси, могущей вымываться в первый период эксплоатации из грунта, окружающего трубчатые колодцы.



Фиг. 89а. Поперечный разрез по галлерее берегового дренажа

В связи с отмеченными преимуществами сифонным проводящим устройствам, несмотря на дополнительные расходы на устройство приемного резервуара, во многих случаях, а особенно при устройстве дренажных сооружений значительных масштабов, должно отдаваться предпочтение перед всасывающими системами с непосредственным присоединением к насосу.

В качестве примера приведем описание сифонной проводящей системы берегового дренажа.

На четырех ветвях этого дренажа в железобетонной галлерее прямоугольного сечения (фиг. 89, а и б) проложено в общей сложности 8 сифонных всасывающих трубопроводов (по два на каждой ветви).

Всасывающие трубопроводы имеют протяжение от 750 до 1 080 *м*. Каждый трубопровод обслуживает от 31 до 54 трубчатых колодцев.

Проектные дебиты трубопроводов колеблются от 54 до 120 *л/сек*, скорости — от 0,06 до 0,61 *м/сек*. Наибольшие скорости имеют место на подходах к насосным станциям.

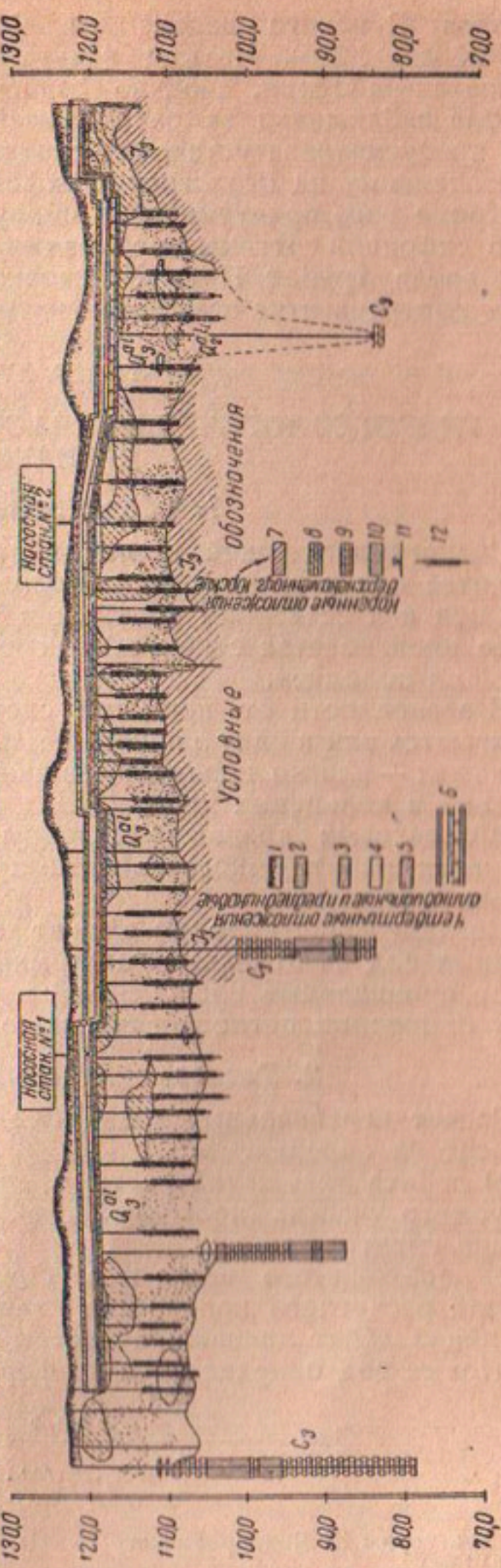
Трубопроводы выполнены из железных труб на сварке. По мере приближения к насосным станциям диаметры трубопроводов увеличиваются от 100 до 500 *мм*.

Всасывающие трубы присоединены к трубопроводам при помощи приварных патрубков. В состав всасывающих труб входят вертикальные трубы, опущенные в колодцы, колена и задвижки. Последние служат для регулирования дебита и выключения в случае надобности отдельных колодцев системы из работы. Вес всасывающих труб передан через надетые на них хомуты на оголовки трубчатых колодцев. Всасывающие трубы погружены под наинизшие динамические уровни в колодцах на 1,0 *м*.

Наибольший проектный вакуум во всасывающих трубопроводах составляет 7,20 *м*. Трубопроводы проложены на основной части протяжения с подъемом 0,0005 к насосным станциям.

Каждый из восьми сифонов дренажа вместе с присоединенными к нему колодцами представляет собой обособленную систему, могущую выполнять свои функции как в случае аварии на параллельном сифоне, так и в случае выключения параллельного сифона из работы по условиям эксплоатации.

В наиболее повышенных точках всасывающих трубопроводов, в местах сопряжений их с „нисходящими" участками сифонов имеются вакуумные котлы, воздух из которых периодически откачивается установленными на насосных станциях вакуум-насосами. На каждой насосной станции дренажа установлено пять вакуум-



Фиг. 896. Продольный профиль по линии того же дренажа

Примечания 1. Геологический разрез составлен по паспортам бурения трубчатых колодцев. 2. Из 347 трубчатых колодцев, осуществленных в системе дренажа, на чертеже показан 51. 3. Отметки поверхности земли отвечают условиям, существовавшей до реконструкции набережной.

насосов Сумского завода им. Фрунзе (типа РМК 200×90 и РМК 200×200). Четыре вакуум-насоса (по числу сифонов) являются рабочими, а один — запасным.

Для наблюдения за работой всасывающих трубопроводов на них предусмотрена установка смотровых „окон" (по типу, осуществленному на Шолларских сифонах)[1] и вакуум-метров.

Кроме того предусмотрено оборудование всех всасывающих труб сифонной системы пробковыми кранами, приспособленными для ввода трубок Пито. Установка нескольких таких кранов предусмотрена и на всасывающих трубопроводах.

ГЛАВА XVII

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

1. Общие замечания

Гидрогеологический расчет вертикальных дренажей обычно сводится или к расчету многоколодезной установки, применяемой при искусственном понижении уровня грунтовых вод в процессе производства строительных работ, или к расчету поглощающих колодцев.

В зависимости от принятой системы дренажа колодцы располагаются или в одну линию — незамкнутая система в береговых дренажах — или по периметру защищаемого участка — замкнутая система в кольцевых дренажах.

В береговых дренажах колодцы работают в условиях, аналогичных работе многоколодезных установок, расположенных вблизи водоемов.

Поглощающие колодцы служат обычно средством сброса застойных вод из отдельных подземных мешков в нижележащие, более проницаемые водоносные слои. Расчет их сводится к расчету одиночных поглощающих колодцев.

2. Расчет кольцевых дренажей

Расчет вертикальных дрен (колодцев) в кольцевых дренажах состоит из определения:

1) дебита дренажной системы, при котором в пределах дренируемого участка (кольца) обеспечивается заданное понижение уровня грунтовых вод;

2) необходимого числа и глубины заложения колодцев для захвата расчетного количества воды.

Общий дебит дренажной системы при свободном горизонте грунтовых вод определяется по формуле Форхгеймера:

$$Q = \frac{(2H - S) \cdot S \cdot \pi \cdot k}{\ln R - \frac{1}{2} \ln x_1 . x_2 . \cdots . x_n} \; м^3/сек, \qquad (1)$$

[1] См. труды IX Водопроводного съезда. Доклад Линдлея „О водоснабжении г. Баку".

где H — мощность водоносного пласта в *м*;
S — заданное, минимально необходимое понижение уровня грунтовых вод в центре дренажного кольца в *м*;
k — коэфициент фильтрации в *м/сек*;
R — радиус действия дренажной системы в *м*;
$x_1, x_2, \cdots x_n$ — расстояния каждого из колодцев системы от центра дренажного колодца в *м*.

В случае недоведения дна колодцев до водоупора (неполные колодцы) полученный по формуле (1) дебит дренажной системы должен быть увеличен на 10—20%.

При напорном горизонте грунтовых вод общий дебит дренажной системы определяется по формуле:

$$Q = \frac{2m \cdot \pi \cdot k \cdot S}{\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n} \; м^3/сек, \qquad (1а)$$

где m — мощность водоносного пласта в *м*.

Остальные обозначения указаны выше.

Для первоначальных подсчетов дебита величину $\frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n$ в формулах (1) и (1а) для упрощения расчета рекомендуется заменять величиной:

$$\ln A = \ln \sqrt{\frac{F}{\pi}},$$

где F — площадь дренажного кольца в $м^2$;
A — радиус круга, площадь которого равна F.

Пусть n — число колодцев;
Q — общий дебит их;
φ — удельная захватная способность колодцев в $м^3/сек$, т. е. производительность на 1 *пог. м* смачиваемого фильтра равна:

$$\frac{f}{y_0},$$

где f — полная захватная способность колодца;
y_0 — уровень воды у наружной стенки колодцев, равномерно расположенных по периметру круга радиусом A, в *м*.

Тогда, зная общий дебит дренажной системы и задаваясь глубиной и диаметром колодцев, число их n в условиях свободного горизонта грунтовых вод определяется из уравнений:

$$n \cdot y_0 = \frac{Q}{\varphi}; \qquad (2)$$

$$y_0 = \sqrt{y^2 - \frac{Q}{n \cdot \pi \cdot k} \ln \frac{A}{n \cdot x_0}}, \qquad (3)$$

где x_0 — радиус колодцев в *м*;
y — уровень воды в центре круга с радиусом A, определяемый заданной величиной понижения уровня грунтовых вод, в дренажном кольце ($y = H - S$) в *м*.

Эта задача решается подбором.

Так как n может быть только целым числом, то принимается такое его значение, при котором:

$$n \cdot y_0 \geqslant \frac{Q}{\varphi} \quad \text{и} \quad (n-1) \cdot y_0 < \frac{Q}{\varphi}.$$

Максимально возможное понижение при заданном расположении и числе колодцев определяется по формуле:

$$S = H - \sqrt{\left(H^2 + W + \frac{1}{2u^2}\right) - \sqrt{W^2 + \frac{2H^2 + W}{u^2} + \left(\frac{1}{2u^2}\right)^2}}, \quad (4)$$

где

$$W = \frac{v}{u};$$

$$v = i_0 \cdot x_0 \cdot \ln \lambda;$$

$$u = \frac{\lambda}{2A \cdot i_0 \cdot \ln \frac{R}{A}};$$

$$i_0 = \frac{1}{15 \cdot \sqrt{k}};$$

$$\lambda = \frac{b}{2\pi \cdot x_0};$$

b — расстояние между колодцами, измеренное по дуге окружности равновеликого круга с радиусом A.

В случае, когда колодцы не достигают водоупора, необходимая их глубина при заданном значении радиуса A дренажного кольца определяется по формуле:

$$h = h_1 + s + y_{\min}, \quad (5)$$

где

$$y_{\min} = \frac{2u^3 \cdot s^3 + 2u \cdot v \cdot s}{1 - 4u^2 s^2} + \sqrt{\frac{u^2 \cdot s^4 + u \cdot v \cdot 2s^2}{1 - 4u^2 s^2} + \left(\frac{2u^2 s^3 + 2u \cdot v \cdot s}{1 - 4u^2 s^2}\right)} \text{ в } м;$$

h_1 — глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли до работы дренажа в $м$.

Остальные обозначения указаны выше.

Для проверки допускаемой производительности, т. е. захватной способности, колодцев определяются y_0 для нескольких, наиболее близких и наиболее удаленных колодцев. Допускаемая производительность колодцев определяется по формуле:

$$f = y_0 \cdot \pi \cdot d \frac{\sqrt{k}}{15} = y_0 \varphi, \quad (6)$$

где

$$y_0 = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi \cdot k}\left(\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_{n-1} \cdot x_0\right)};$$

$x_1, x_2, \ldots, x_{n-1}$ — расстояния всех колодцев дренажной системы от того колодца, для которого определяется y_0, в $м$.

Остальные обозначения прежние.

Если допускаемая производительность согласована с средним притоком воды, приходящимся на один колодец, принятую глубину колодцев оставляют без изменений. В противном случае, изменяя глубину, расчет повторяют.

При работе дренажной системы в условиях напорных грунтовых вод, где требуется только снижение напора, число колодцев может быть определено из условия:

$$\sum_{1}^{n} h_i = \frac{Q}{\varphi}, \tag{7}$$

где h_i — длина фильтрующей части каждого из колодцев при $h_1 = h_2 = \ldots = h_n = h$;

$$n \cdot h = \frac{Q}{\varphi}. \tag{7а}$$

Величина y_0 в приведенных уравнениях представляет собой уровень воды у наружной стенки колодца, который обычно не совпадает с уровнем воды в самом колодце. Этот разрыв уровней воды носит название прыжка.

Величина прыжка согласно эмпирическим данным Эренбергера может быть определена по формуле:

$$\Delta h = h - h_1 = 0{,}5\,\frac{(H - h_1)^{1{,}74}}{H} \text{ в } м \tag{8}$$

или приближенно:

$$\Delta h = h - h_1 = 0{,}5\,\frac{(H - h_1)^2}{H} \text{ в } м, \tag{8а}$$

где Δh — величина прыжка в $м$;

h — уровень воды у наружной стенки колодца (в грунте), равный y_0, в $м$;

h_1 — уровень воды в самом колодце в $м$;

H — первоначальный уровень грунтовых вод в $м$.

Пример.

Дано:

Минимально необходимое понижение в центре кольца $S = 5{,}0$ $м$.

Радиус колодца (по конструктивным соображениям) $x_0 = 0{,}20$ $м$.

Средняя мощность водоносного пласта $H = 12$ $м$.

Коэфициент фильтрации $k = 0{,}0002$ $м/сек$.

Требуется определить число и глубину колодцев в кольцевом дренаже, защищающем сооружение по прямоугольному контуру размером 30×60 $м$, и подсчитать общий дебит воды, подлежащей перекачке из данной дренажной системы.

Радиус действия дренажа определим по формуле Кусакина:

$$R = 575 \cdot S\sqrt{k \cdot H} = 575 \cdot 5{,}0 \cdot \sqrt{0{,}0002 \cdot 12{,}0} \approx 140 \text{ } м.$$

В данных условиях ввиду сравнительно небольшой глубины залегания водоупора целесообразно сделать полные колодцы.

Найдем:

$$v_{min} = H - S = 12{,}0 - 5{,}0 = 7{,}0 \text{ } м.$$

Заменяя прямоугольную площадь дренажного кольца равновеликим кругом, найдем:

$$A = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{30 \cdot 60}{3{,}14}} \approx 24 \text{ } м.$$

Тогда общий дебит системы при понижении уровня грунтовых вод в центре круга на 5,0 *м* будет равен:

$$Q=\frac{(2H-S)\,S\cdot\pi\cdot k}{\ln R-\ln A}=\frac{(2\cdot 12{,}0-5{,}0)\,5{,}0\cdot 3{,}14\cdot 0{,}0002}{\ln 140-\ln 24}=0{,}0336\ м^3/сек.$$

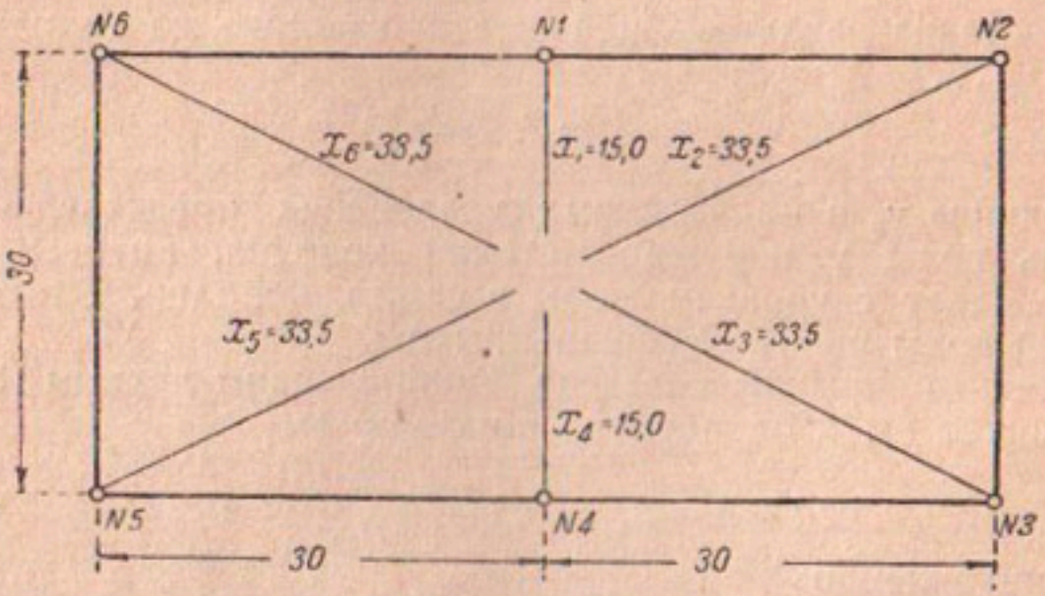
Необходимое количество колодцев найдем подбором, решая уравнения (2) и (3).

Предварительно определим:

$$\varphi=2\pi\cdot x_0\cdot\frac{\sqrt{k}}{15}=2\cdot 3{,}14\cdot 0{,}20\cdot\sqrt{\frac{0{,}0002}{15}}=0{,}00117\ м^3/сек$$

и

$$\frac{Q}{\varphi}=\frac{0{,}0336}{0{,}00117}=28{,}7.$$



Фиг. 90. Схема расположения вертикальных дрен при кольцевой системе дренажа

При $n=5$:

$$y_0=\sqrt{49{,}0-\frac{0{,}0336}{5\cdot 3{,}14\cdot 0{,}0002}\cdot\ln\frac{24}{5\cdot 0{,}2}}=3{,}9;$$

$$n\cdot y_0=5\cdot 3{,}9=19{,}5<\frac{Q}{\varphi}.$$

При $n=7$:

$$y_0=\sqrt{49{,}0-\frac{0{,}0336}{7\cdot 3{,}14\cdot 0{,}0002}\cdot\ln\frac{24}{7\cdot 0{,}2}}=5{,}24;$$

$$n\cdot y_0=7\cdot 5{,}24=36{,}6>\frac{Q}{\varphi}.$$

При $n=6$:

$$y_0=\sqrt{49-\frac{0{,}0336}{6\cdot 3{,}14\cdot 0{,}0002}\cdot\ln\frac{24}{6\cdot 0{,}2}}=4{,}73;$$

$$n\cdot y_0=6\cdot 4{,}73=28{,}3\approx\frac{Q}{\varphi}.$$

Принимаем дренажное кольцо из шести колодцев.

Располагая колодцы по контуру защищаемого участка (фиг. 90), определим уточненный дебит системы. Из фиг. 90 найдем:

$$x_1=x_4=15\ м;\qquad \ln 15=2{,}71;$$
$$x_2=x_3=x_5=x_6=33{,}5\ м;\qquad \ln 33{,}5=3{,}51;$$

$$\frac{1}{n}\cdot\sum_{x_1}^{x_n}\ln x=\frac{19{,}46}{6}=3{,}25.$$

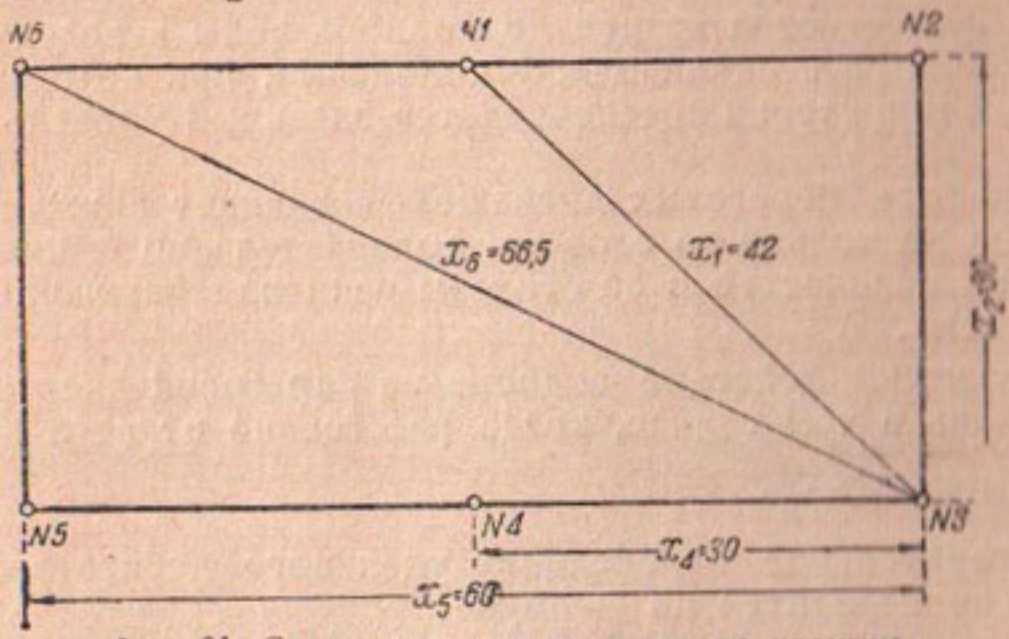
По формуле (1) найдем:

$$Q = \frac{(2H - S)\cdot S\cdot\pi\cdot k}{\ln R - \frac{1}{n}\ln x_1\cdot x_2\cdot\ldots\cdot x_n} = \frac{(2\cdot 12{,}0 - 5{,}0)\cdot 5{,}0\cdot 3{,}14\cdot 0{,}0002}{\ln 140 - 3{,}25} =$$

$$= 0{,}0355\ м^3/сек.$$

Произведем проверку допускаемой производительности колодцев при расположении их по действительному контуру (прямоугольнику). Для этого определим уровень вод у наружной стенки колодца № 3 (фиг. 91) по формуле

$$y_0 = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi\cdot k}\left[\ln R - \frac{1}{n}(\ln x_1 + \ln x_2 + \ldots + \ln x_{n-1} + \ln x_0)\right]}.$$



Фиг. 91. Схема к расчету кольцевого дренажа

Из фиг. 91 имеем:

$x_1 = 42;$	$\ln x_1 = 3{,}72$
$x_2 = 30;$	$\ln x_2 = 3{,}40$
$x_4 = 30;$	$\ln x_4 = 3{,}40$
$x_5 = 60;$	$\ln x_5 = 4{,}10$
$x_6 = 66{,}5;$	$\ln x_6 = 4{,}18$
$x_0 = 0{,}2;$	$\ln x_0 = -1{,}61$
	$17{,}19$

$$H^2 = 144{,}0;$$

$$\frac{Q}{\pi\cdot k} = \frac{0{,}0355}{3{,}14\cdot 0{,}0002} = 56{,}5;$$

$$\ln R = 4{,}95;$$

$$\frac{1}{6}[\ln x_1 + \ln x_2 + \ldots + \ln x_0] = \frac{1}{6}\cdot 17{,}19 = 2{,}86;$$

$$y_0 = \sqrt{144 - 56{,}5\cdot[4{,}95 - 2{,}86]} = 5{,}06.$$

Средний дебит для одного колодца:

$$q = \frac{0{,}0355}{6} = 0{,}0056\ м^3/сек.$$

Допускаемая производительность при $y_0 = 5{,}06$ м:

$$f = \varphi\cdot y_0 = 0{,}00117\cdot 5{,}06 = 0{,}0059\ м^3/сек.$$

Таким образом обеспечен небольшой запас производительности.

Аналогично может быть проверена допускаемая производительность и для остальных колодцев.

3. Расчет береговых дренажей

Расчет вертикальных дрен (колодцев) в береговых дренажах сводится к:

1) Определению дебита дренажной системы, при которой в пределах защищаемой территории обеспечивается заданное понижение уровня грунтовых вод. При проектировании береговых дренажей в условиях существующих населенных и промышленных мест обычно принимается, что на защищаемой территории должен поддерживаться тот же уровень грунтовых вод, который существовал на ней до подпора воды в водоеме.

2) Выбору расстояний между колодцами, при которых на защищаемой территории обеспечивается заданный уровень грунтовых вод.

При работе береговых дренажей возникает движение грунтовых вод не только со стороны водораздела, но обычно также в большом количестве и со стороны реки или какого-либо другого водоема.

Практически действие водоема на береговой дренаж сказывается лишь в том случае, когда расстояние от него до дрены не превышает $\geqslant \frac{R}{2}$.

Предварительное определение удельного дебита дренажной системы производится по формуле:

$$Q_{y\partial} = \frac{(H^2 - y^2)k + 2q_0 \cdot x}{2b} \text{ в } м^3/сутки \text{ на 1 } пог.\ м, \qquad (9)$$

где H — превышение горизонта воды в реке над водоупором после подпора в *м*;

x и y — координаты поверхности грунтовых вод, причем x направлены перпендикулярно берегу и y — вертикально, вверх от водоупора;

q_0 — удельный приток грунтовых вод в реки со стороны водораздела до устройства дренажа в $м^3/сутки$ на 1 *пог. м*

k — коэфициент фильтрации в *м/сутки*;

b — расстояние дренажа от реки в *м*.

Приводимая формула (9) выведена Форхгеймером, исходя из условия работы ряда колодцев, как открытой канавы, при уровне воды в канаве, равной отметке точки кривой депрессии между колодцами на расстоянии $\frac{a}{2}$ от колодца (где a — расстояние между колодцами).

Входящая в формулу (9) величина H представляет собой уровень воды в грунте под бровкой откоса и может приниматься равной уровню воды в реке лишь в случае вертикальных берегов в реке, что не всегда соответствует действительности. При наличии же берегового откоса эти величины будут отличаться друг от друга.

Для определения величины H в этих случаях могут быть по аналогии использованы формулы акад. Н. Н. Павловского, выведенные им для плотины с дренажем:

$$q = k\frac{H_{пл} - d_0 - H}{m} \cdot \ln\frac{H_{пл}}{H_{пл} - H}, \qquad (10)$$

$$q = \frac{k\left(H^2 - h_0^2\right)}{2b}, \qquad (11)$$

где m — заложение водного откоса плотины;
$H_{пл}$ — полная высота плотины;
d_0 — высота гребня плотины над горизонтом воды в верхнем бьефе;
H — горизонт воды в расчетном сечении под бровкой мокрого откоса;
h_0 — горизонт воды в дренаже;
b — расстояние от бровки до дренажа.

Решая совместно уравнения (10) и (11) графически или подбором, можно найти искомую величину H.

По формулам Форхгеймера для ряда колодцев можно, задаваясь определенным расстоянием между колодцами, установить отметки уровней воды у колодца y_r и посредине между ними y_a:

$$y_r = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k}\left(\frac{\pi b}{a} + \ln\frac{a}{\pi r}\right) + \frac{q_0 b}{k}}; \qquad (12)$$

$$y_a = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k}\left(\frac{\pi b}{b} - \ln 2\right) + \frac{q_0 b}{k}}, \qquad (13)$$

где y_r — высота воды в грунте у колодца;
y_a — „ „ „ середине между колодцами;
H — „ „ „ реке;
Q — расход колодца радиусом r;
q_0 — расход грунтового потока со стороны водораздела;
b — расстояние ряда колодцев от реки;
a — половина расстояния между колодцами.

Можно решать обратную задачу, т. е., задаваясь отметками уровня воды у колодца, найти расстояния между колодцами $2a$.

Уравнение Форхгеймера для определения расстояний между колодцами может быть представлено в следующем виде:

$$a \cdot \ln\frac{a}{\pi r} = \left[H^2 - y_r^2 - \frac{2b}{k}(Q - q_0)\right]\frac{\pi k}{2Q}. \qquad (14)$$

Уравнение (14) решается подбором или графически.

Имея расстояние между колодцами ($2a$), можно по следующей формуле, полученной из уравнения (12) Форхгеймера, определить уже уточненный дебит колодца:

$$Q = \frac{H^2 - y_r^2 + \frac{2q_0 b}{k}}{\frac{\pi b}{a} + \ln\frac{a}{\pi r}}\pi k. \qquad (15)$$

По уточненному дебиту колодца и при принятом расстоянии между колодцами по уравнению (12) производится окончательное определение отметок уровня воды между колодцами y_a, которые и должны соответствовать необходимому понижению. Обычно величиной y_r задаются.

Пример. Дано: дренаж представляет собой незамкнутую систему вертикальных трубчатых колодцев, вытянутую вдоль берега реки в расстоянии 28 *м* от уреза воды.

Отметка водоупора — 105,0 *м*.

Бытовой уровень грунтовых вод (до подпора) — 117,10 *м*.

Удельный расход грунтовых вод со стороны водораздела $q_0 = 0{,}50$ *м³/сутки*.

Коэфициент фильтрации $k = 7{,}0$ *м/сутки*.

Существующий бытовой горизонт воды в реке — 117,0 *м*. Предполагаемый горизонт воды в реке после подпора — 120,0 *м*.

Принятый радиус колодца $r = 0{,}20$ *м*.

Общая длина дренажа $L = 800$ *пог.м*.

Требуется определить расстояния между вертикальными колодцами в береговом дренаже и общий расход воды, подлежащей перекачке.

Найдем:

$$H = 120{,}0 - 105{,}0 = 15{,}0 \text{ м}$$

$$v = 117{,}0 - 105{,}0 = 12{,}0 \text{ .}$$

По формуле (9) предварительно определим удельный дебит дренажа:

$$Q_{уд} = \frac{(H^2 - y^2)\,k + 2q_0 x}{2b} = \frac{(15{,}0^2 - 12{,}0^2)\cdot 7{,}0 + 2\cdot 0{,}5\cdot 28{,}0}{2\cdot 28} = 10{,}54 \text{ м}^3\text{/сутки}.$$

Задаемся предварительно уровнем воды в колодцах $y_r = 10{,}0$ *м*, тогда по уравнению (14) подбором находим расстояния между колодцами $2a$:

$$a \ln \frac{a}{\pi r} = \left[H^2 - y_r^2 - \frac{2b}{k}\,(Q - q_0)\right] \frac{\pi k}{2Q};$$

$$a \ln \frac{a}{3{,}14\cdot 0{,}2} = \left[15{,}0^2 - 10{,}0^2 - \frac{2\cdot 28{,}0}{7{,}0}\,(10{,}54 - 0{,}5)\right] \frac{3{,}14\cdot 7{,}0}{2\cdot 10{,}54};$$

$$a \ln \frac{a}{0{,}628} = 47{,}25,$$

откуда $a = 15$ *м*;

$$2a = 30 \text{ м}.$$

Для найденных расстояний между колодцами по уравнению (15) определим уточненный дебит дренажной системы:

$$Q = \frac{H^2 - y_r^2 + \frac{2q_0 b}{k}}{\frac{\pi b}{a} + \ln \frac{a}{\pi r}}\,\pi k = \frac{15{,}0^2 - 10{,}0^2 + \frac{2\cdot 0{,}5\cdot 28{,}0}{7{,}0}}{\frac{3{,}14\cdot 28{,}0}{15{,}0} + \ln \frac{15{,}0}{3{,}14\cdot 0{,}2}} \times$$

$$\times 3{,}14\cdot 7{,}0 = 314{,}0 \text{ м}^3\text{/сутки}$$

или на 1 *пог.м*

$$Q_{уд} = \frac{314{,}0}{30} = 10{,}46 \text{ м}^3\text{/сутки}.$$

Так как полученная величина удельного дебита незначительно отличается от предварительно подсчитанного по формуле (9), то уточнение полученного расстояния между колодцами не делаем.

По уравнению (13) найдем величину y_a:

$$y_a = \sqrt{H^2 - \frac{Q}{\pi k}\left(\frac{\pi b}{a} - \ln 2\right) + \frac{q_0 b}{k}} =$$

$$= \sqrt{15{,}0^2 - \frac{314{,}0}{3{,}14\cdot 7{,}0}\left(\frac{3{,}14\cdot 28}{15{,}0} - 0{,}69\right) + \frac{0{,}5\cdot 28}{7{,}0}} = 12{,}02 \text{ м},$$

которая практически совпадает с уровнем грунтовых вод, имевшим место до подпора.

Произведенные расчеты показывают, что при принятых расстояниях между колодцами на защищаемой территории будет достигнуто примерно то же положение уровня грунтовых вод, что было и до подпора.

Определим общий расход воды, подлежащей перекачке:

$$Q = 10{,}46 \cdot 800 = 8\,368{,}0 \text{ } м^3/сутки \text{ или } = 97 \text{ } л/сек.$$

4. Расчет одиночных водопоглощающих колодцев

Расчет водопоглощающих колодцев состоит в определении величины расхода, который при данных гидрогеологических условиях может быть сброшен в тот или иной поглощающий водоносный слой.

В зависимости от гидрогеологических условий и типа колодцев различают следующие виды водопоглощающих колодцев.

1. Совершенные, работающие в условиях:
а) свободного горизонта грунтовых вод;
б) напорного горизонта грунтовых вод.
2. Несовершенные, работающие в условиях:
а) свободного горизонта грунтовых вод;
б) напорного горизонта грунтовых вод.

Для условий свободного потока различают колодцы, работающие стенками и дном, или только стенками. В напорных условиях при неограниченной мощности водоносного пласта выделяют кроме того колодцы, работающие только дном.

Расход совершенного водопоглощающего колодца, т. е. колодца, доведенного до водоупора (фиг. 92, *а*), работающего в условиях свободного горизонта грунтовых вод, может быть определен по формуле:

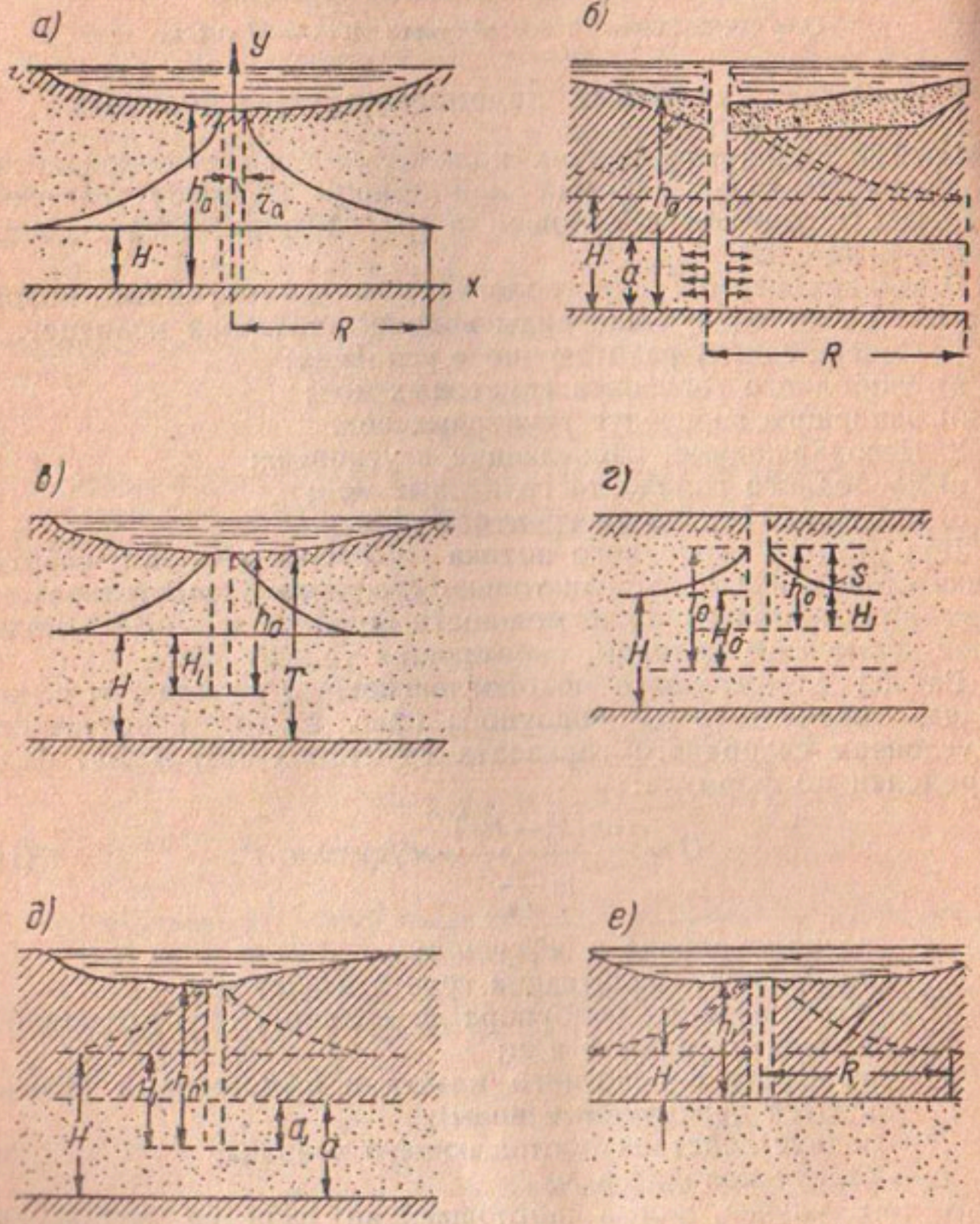
$$Q = \frac{\pi k \left(h_0^2 - H^2\right)}{\ln \frac{R}{r_0}} \text{ } м^3/сутки, \qquad (16)$$

где Q — расход колодца в $м^3/сутки$;
k — коэфициент фильтрации грунта в $м/сутки$;
h_0 — расстояние от водоупора до дренируемого подземного водяного „мешка" в $м$;
H — мощность водоносного пласта в $м$ (в который сбрасываются дренируемые воды);
R — радиус действия поглощающего колодца;
r_0 — радиус колодца в $м$.

В том случае, когда поглощающий слой не водоносен, $H = 0$. Величина h_0 по мере действия колодца может изменяться и для расчета может приниматься равной среднему из расстояний от водоупора до поверхности уровня воды в водяном скоплении в начальный момент работы колодца и до поверхности подстилающего его водонепроницаемого пласта в конце при спуске всей воды.

Радиус действия колодца может быть приближенно подсчитан по одной из существующих эмпирических формул или же

определен опытным путем. Необходимо учитывать, что радиус действия колодца и его расход будут уменьшаться с течением времени.



Фиг. 92. Схемы поглощающих колодцев

Расход колодца при работе его в условиях напорного горизонта грунтовых вод (фиг. 92, *б*) определяется по формуле:

$$Q = \frac{2\pi ka\,(h_0 - H)}{\ln \frac{R}{r_0}}\ м^3/сутки, \qquad (17)$$

где a — мощность напорного водоносного пласта в *м*;
H — его пьезометрический напор в *м*.
Остальные обозначения указаны выше.

Для несовершенных водопоглощающих колодцев, закладываемых в условиях свободного потока (фиг. 92, *в* и *г*), расход может быть определен по формулам:

а) при работе только стенками:

$$Q = \frac{\pi k (T^2 - H^2)}{\ln \frac{R}{r_0}} \cdot \sqrt{\frac{h_0}{T}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2T - h_0}{T}} \text{ в } м^3/сутки; \qquad (18)$$

б) при работе стенками и дном:

$$Q = \frac{\pi k (T^2 - H^2)}{\ln \frac{R}{r_0}} \cdot \sqrt{\frac{h_0 - 0{,}5r_0}{T}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2T - h_0}{T}} \text{ в } м^3/сутки, \qquad (19)$$

где T — расстояние от дренируемого водяного мешка до водоупора в *м*;
H — мощность водоносного пласта в *м*;
h_0 — высота уровня грунтовых вод у стенок колодца в *м*;
H_1 — глубина погружения колодца в водоносный слой в *м*;
H_0 — глубина активной зоны, считая от свободного горизонта воды в *м*.

Остальные обозначения указаны выше.

Формулы (18) и (19) применимы лишь в тех случаях, когда $H < H_0$.

При $H > H_0$ нужно определить глубину активной зоны H_0, а затем в формулах (18) и (19) вместо T и H подставить значение T_0 и H_0.

Глубина активной зоны может быть определена с некоторым приближением, данным еще Паркером:

$\frac{S}{H_1}$	0,2	0,3	0,5	0,8
H_0	$H_0 = 1{,}3(S + h) = 1{,}3H_1$	$1{,}5H_1$	$1{,}70H_1$	$1{,}85H_1$

Расход подобного же типа колодца, но при работе его в условиях напорного горизонта грунтовых вод (фиг. 92, *д*) может быть определен по формуле:

$$Q = \frac{2\pi k a (h_0 - H_1)}{\ln \frac{R}{r_0}} \left(1 + 7\sqrt{\frac{r_0}{2a}} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{a}} \cdot \cos\frac{\pi a_1}{2a}\right) \text{ в } м^3/сутки, \qquad (20)$$

где a_1 — глубина погружения колодца в водоносный слой в *м*;
a — мощность водоносного пласта в *м*;
h_0 — высота уровня грунтовых вод у стенок несовершенного колодца над его дном в *м*;

H_1 — глубина от дна колодца до бытовой пьезометрической высоты водоносного слоя в *м*.

Остальные обозначения указаны выше.

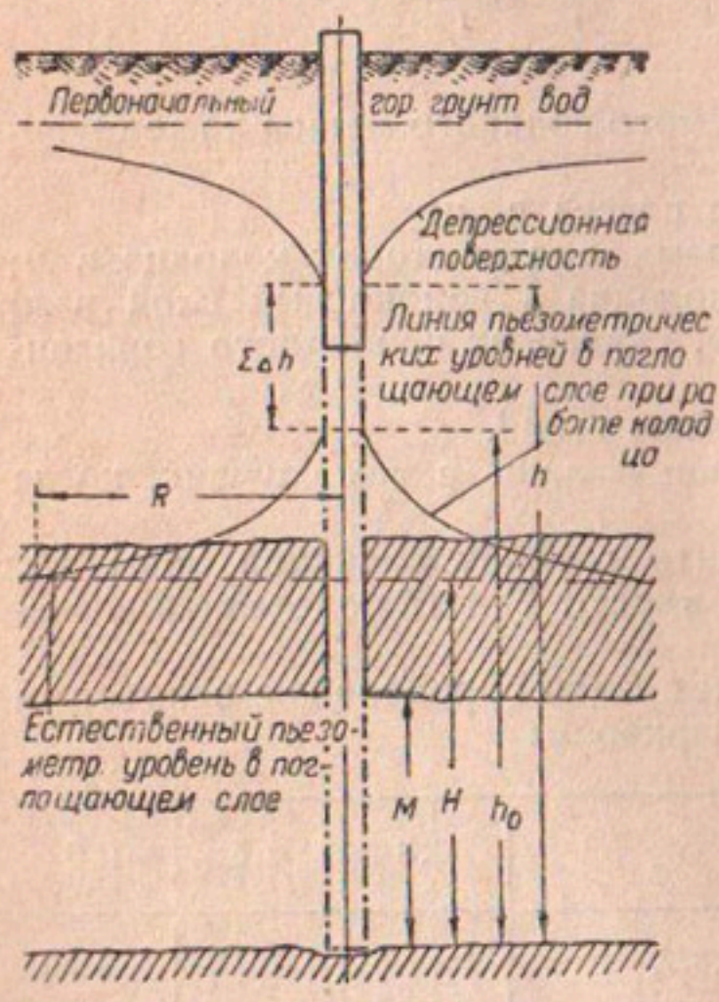
Расход поглощающего колодца, опущенного в водоносный напорный пласт неограниченной мощности, при работе его только дном (рис. 92, *е*) может быть определен по формуле:

$$Q = 4kr_0(h_1 - H) \text{ в } м^3/сутки, \qquad (21)$$

где h_1 — высота пьезометрического уровня воды у стенки колодца в *м*;

H — глубина от дна колодца до бытовой пьезометрической высоты водоносного пласта в *м*.

Остальные обозначения указаны выше.



Фиг. 93. Схема к расчету поглощающих колодцев

Расход поглощающего колодца, опущенного в трещиноватые породы, может быть определен по формуле Шези-Краснопольского:

$$Q = \pi M k_ш \sqrt{\frac{h_0 - H}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R}}}. \qquad (22)$$

В отношении величины h_0 следует отметить, что она не может быть принята равной высоте уровня грунтовых вод — h (фиг. 93) у стенок каптажной части колодца, так как на пути грунтовых вод от осушаемого слоя к поглощающему неизбежно возникает ряд сопротивлений, а именно:

а) сопротивление при входе в колодец — Δh_1;

б) сопротивление на пути движения грунтовых вод по внутренней полости колодца — Δh_2;

в) сопротивление при выходе грунтовых вод из внутренней полости колодца в поглощающий слой — Δh_3.

Величины Δh_1 и Δh_3 суммарно определяются по формуле Эренбергера. Величина Δh_2 определяется по общеизвестным формулам гидравлики.

Вследствие наличия перечисленных сопротивлений при проверке отводоспособности поглощающего колодца в приведенные формулы должна вводиться величина:

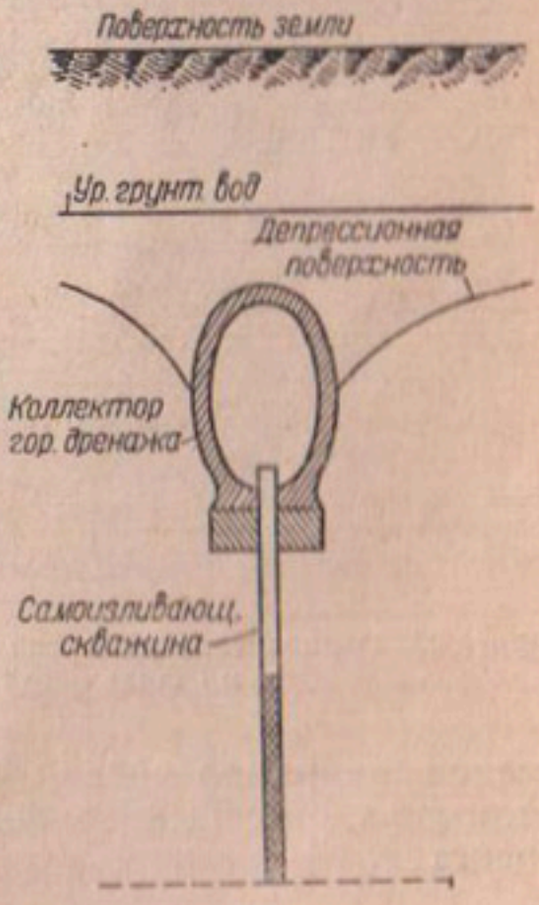
$$h_0 = h - (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3).$$

Описанная схема расчета допустима лишь в случаях, когда поглощающий горизонт обладает хорошей естественной дренированностью. В противном случае, например при сбросе в „бассейн" подземных вод малых размеров, естественный пьезометрический уровень в поглощающем слое, характеризуемый величиной H, под влиянием притока дренажных вод может повыситься настолько, что это неблагоприятно скажется на работе выведенных в него колодцев. Возможная величина такого повышения при достаточной разведанности геологических и гидрогеологических условий может быть приближенно определена в простейших случаях специальными расчетами.

ГЛАВА XVIII

КОМБИНИРОВАННЫЙ ДРЕНАЖ

Комбинированные дренажи представляют собой сочетание горизонтальной дрены с рядом вертикальных дрен. Применяются они главным образом при береговых системах дренажей в тех случаях, когда водоупор залегает на сравнительно большой глубине и со стороны реки к дренажу поступает значительный расход воды. Идея комбинированного дренажа заключается в использовании безнапорных трубчатых колодцев, причем принудительная откачка здесь заменена самоизливанием воды в горизонтальную дрену (фиг. 94). При комбинированном дренаже горизонтальная дрена закладывается на обычной глубине, а со дна ее до водоупора опускаются трубчатые колодцы. Каждый такой колодец работает, как самоизливающийся, так как верхний конец его обязательно расположен ниже общего уровня грунтовых вод.



Фиг. 94. Общая схема комбинированного дренажа

При дренировании оползневых склонов[1] или при осушении шахтных полей[2] применяют и другие типы комбинированных дренажей, но по характеру своей работы они при городском и промышленном строительстве использованы быть не могут.

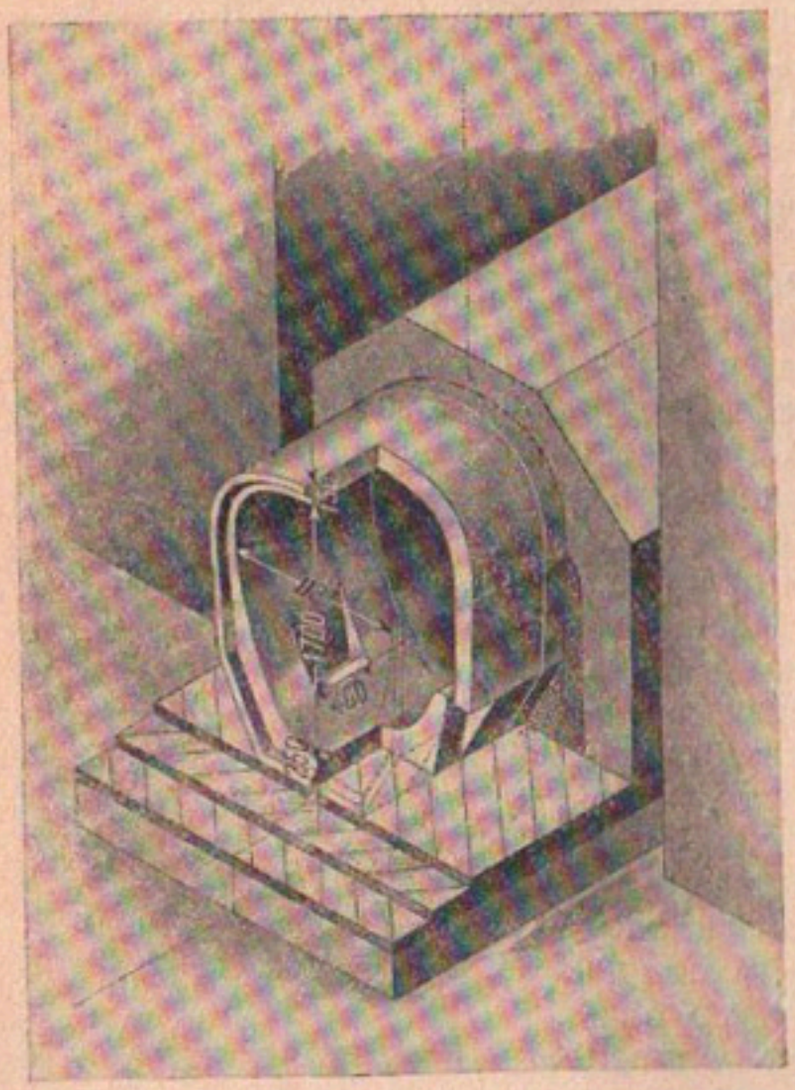
Горизонтальная дрена в комбинированных дренажах представляет собой железобетонную трубу обычно нормального

[1] Абрамов С. К. и др., Противооползневые сооружения, Институт Водгео, 1940.

[2] Троянский С. В. и Беляев Д. Д., Методика проектирования осушения угольных шахт подмосковного бассейна, Спецгео, 1939.

овоидального очертания ($h:d=3:2$). В некоторых случаях могут найти себе применение и круглые трубы. Размеры горизонтальных дрен назначаются, исходя из необходимости доступа в нее людей при эксплоатации (для осмотра, прочистки, ремонта и т. д.).

Для того чтобы такая труба могла работать как дрена, она помимо трубчатых колодцев снабжается также специальными дренажными отверстиями — окнами, через которые в нее и поступает вода. Эти отверстия располагаются обычно в нижней части боковых стенок дрены: для прикрытия от выпадания окружающего дрену грунта они или закрываются специальными рамами с натянутой на них сеткой (фиг. 28) или же снабжаются навесами наподобие колокольчатых фильтров (фиг. 95). В обоих случаях указанные приспособления окружаются фильтрующей засыпкой, лучше многослойной.



Фиг. 95. Горизонтальная дрена с колокольчатыми фильтрами

Подбор фильтрующего материала в данном случае представляет собой весьма ответственную задачу. Указания по подбору фильтров были сделаны выше.

Следует только отметить, что по последним данным А. Н. Патрашева [1], проверенным экспериментальным путем, соотношение двух сопряженных слоев (например дренируемого грунта и внешней части фильтра или двух смежных слоев фильтра) должно удовлетворять неравенству:

$$\frac{D}{d} \geqslant 10-12.$$

Горизонтальные дрены укладываются на специальные стеллажи, обычно состоящие из двух-трех рядов досок, связанных между собой болтами для большей монолитности во избежание неравномерных осадок трубы.

[1] Патрашев А. Н., Движение фильтрационного потока при суффозии грунта. Диссертационная работа, Рукопись 1939 г.

На всех поворотах и во всяком случае не реже чем через 50 *м* по трассе горизонтальной дрены предусматривается устройство смотровых колодцев, через которые и обеспечивается спуск в нее людей в процессе эксплоатации. Как правило, смотровые колодцы устраиваются непосредственно над трубчатыми колодцами, благодаря чему облегчаются их прочистка и ремонт, а в случае надобности и замена.

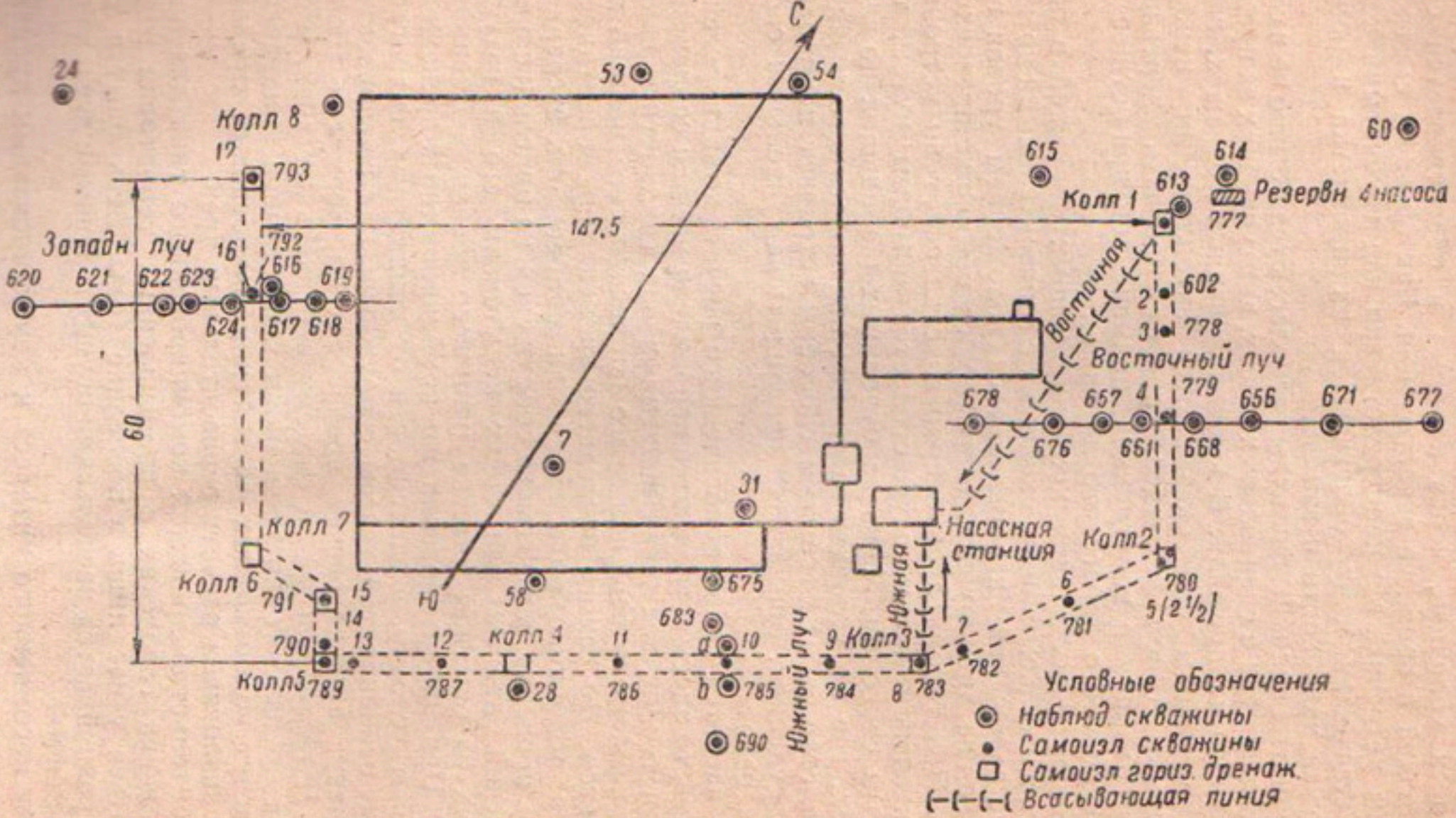
Трубчатые колодцы-фильтры располагаются обычно не в самой трубе-галлерее, а в специальных нишах, выступающих за пределы нормального их профиля. В комбинированных дренажах, где по условиям работы они оказываются затопленными, наиболее приемлемым типом колодцев следует признать деревянные фильтры (например конструкции, примененной при осуществлении Московского берегового дренажа).

Условия расположения комбинированных дренажей в плане являются в общем вполне сходными с горизонтальными дренами. Глубина заложения их определяется положением уровня грунтовых вод на дренируемой территории и обычно не превосходит 5—6 *м*. При такой глубине производство работ по устройству горизонтальной дрены осуществляется обычным путем, т. е. открытым способом. Лишь на отдельных (небольших по длине) участках, где по условиям застройки или подземного хозяйства производство работ открытым способом встречает непреодолимые затруднения, приходится переходить на туннельный способ ведения работ.

Что касается гидрогеологического расчета комбинированных дренажей, то здесь встречаются непреодолимые при современном развитии теории движения подземных вод трудности и какого-либо приемлемого решения этого вопроса на сегодняшний день не имеется. До самого последнего времени при практическом решении подобного рода задач или прибегают к экспериментальной проверке намечаемого сооружения на модели (например Московский дренаж) или же к испытаниям его в натурных условиях на опытном участке (например дренаж в Днепропетровске). При проектировании же комбинированных дренажей их принимают условно, в зависимости от конкретных гидрогеологических особенностей трассы сооружения, или за горизонтальную дрену, причем расчет производят по формулам Дюпюи-Тима и Чугаева, или же за систему вертикальных дрен, расчет которых производят по уравнениям Форхгеймера. Гидравлический расчет водоотводных частей комбинированных дренажей вполне аналогичен расчету горизонтальных дрен.

Строительство дренажей комбинированного типа для целей дренирования городских и промышленных территорий начало развиваться у нас лишь в последние годы. Весь опыт в этом деле ограничивается несколькими осуществленными дренажными сооружениями.

Ввиду несомненного интереса к комбинированным дренажам на описании некоторых из них мы остановимся ниже более подробно.



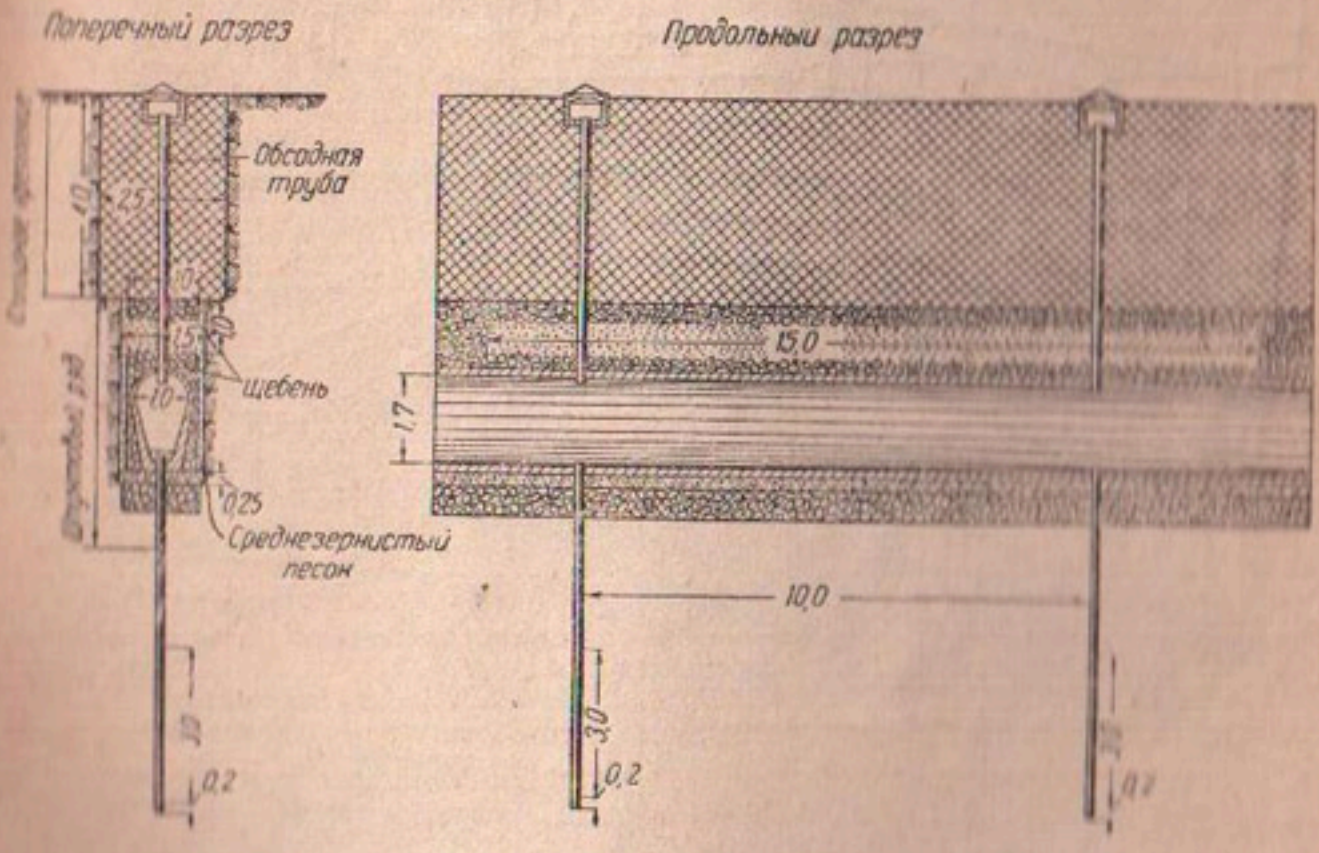
Фиг. 96. Схема расположения опытного дренажа

Пример № 1

Устройство дренажа было вызвано подъемом уровня грунтовых вод. Нормальный уровень грунтовых вод здесь должен был повыситься с отм. 48,00 *м* до отм. 51,20 *м*. Высокий уровень грунтовых вод и его колебания, в особенности в период ежегодных паводков, оказывали бы отрицательное действие на работу отдельных сооружений.

Дренаж был запроектирован в виде двух параллельных реке линий комбинированного дренажа, перехватывающих грунтовый поток как со стороны водораздела, так и со стороны реки. По имеющимся данным фактически осуществлен был лишь опытный участок.

Вторая речная терраса, на которой был осуществлен опытный дренаж, представлена помимо пород четвертичной системы также третичными поро-



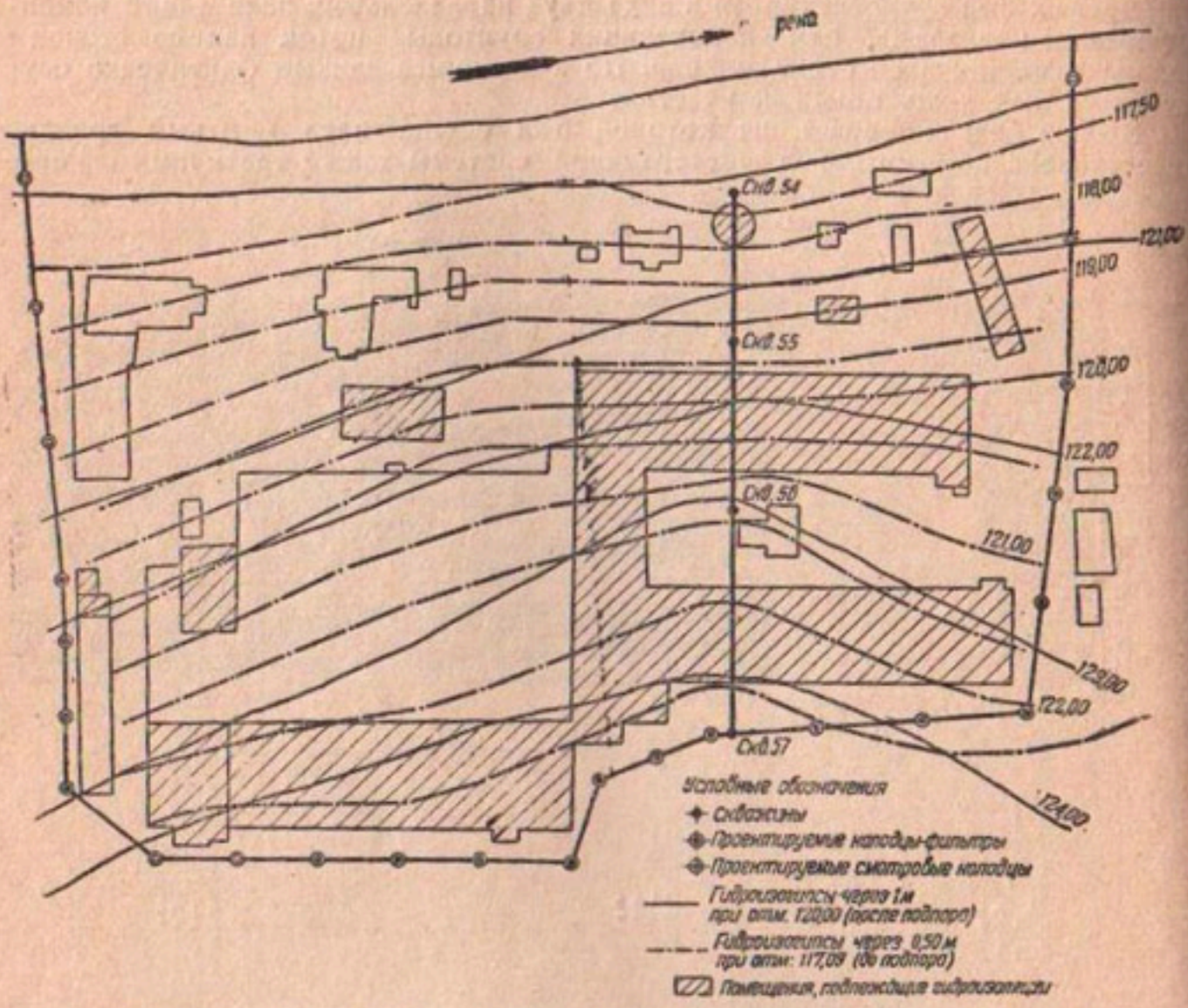
Фиг. 97. Конструкция комбинированного дренажа

дами. На гранитах с весьма неровной поверхностью, наклоненной в общем к реке, залегает каолин мощностью до 8 *м*, в верхних частях перекрывающийся глауконитовыми глинами и песками харьковского яруса. Местами каолин отсутствует и тогда на поверхности кристаллических пород лежат другие продукты их разрушения — по преимуществу дресвы, состоящие из плохо окатанных или совершенно неокатанных зерен кварца и полевого шпата. Верхняя часть дресвы имеет следы перемывания; мощность ее значительно колеблется. Над дресвой залегают мелкозернистые кварцевые пески, в различной степени глинистые. Над мелкозернистыми песками лежат делювиальные суглинки. Поверхность второй террасы покрыта кроме того насыпными грунтами небольшой мощности.

Водоносный горизонт приурочен к мелкозернистым пескам, в нижней своей части обладающим плывунными свойствами. Водоупором для него служат каолин и глауконитовая глина.

Осуществленный дренаж длиной 250 *м* (фиг. 96) ограничивает защищаемый участок с трех сторон — западной, южной и восточной. В конструктивном отношении он представляет собой железобетонную трубу овоидального сечения, составленную из отдельных колец длиной 1,0 *м* и снабженную в нижней части отверстиями диам. 20 *мм* (фиг. 97). Размеры колец приняты на всем восточном участке и на большой части южного 1,0 × 1,72 *м*, на западном

и в остальной части южного участка 0,6 × 1,13 *м*. Снаружи дрена обсыпана двухслойным фильтром с размером частиц, уменьшающимся к периферии первый слой толщиной 0,15 *м* из мелкого щебня диаметром от 1 до 3 *см* и второй слой толщиной 0,15 *м* из крупного песка диаметром от 2 до 3 *мм*. Основанием для дрены служит бетонная подушка толщиной 0,25 *м*, уложенная на слое утрамбованного щебня толщиной 0,5 *м*. По оси горизонтальной дрены



Фиг. 98. Схема расположения комбинированного дренажа.

через 15—20 *м* на глубину от 13—14 *м* от поверхности земли заложены самоизливающие трубчатые колодцы диаметром 3″.

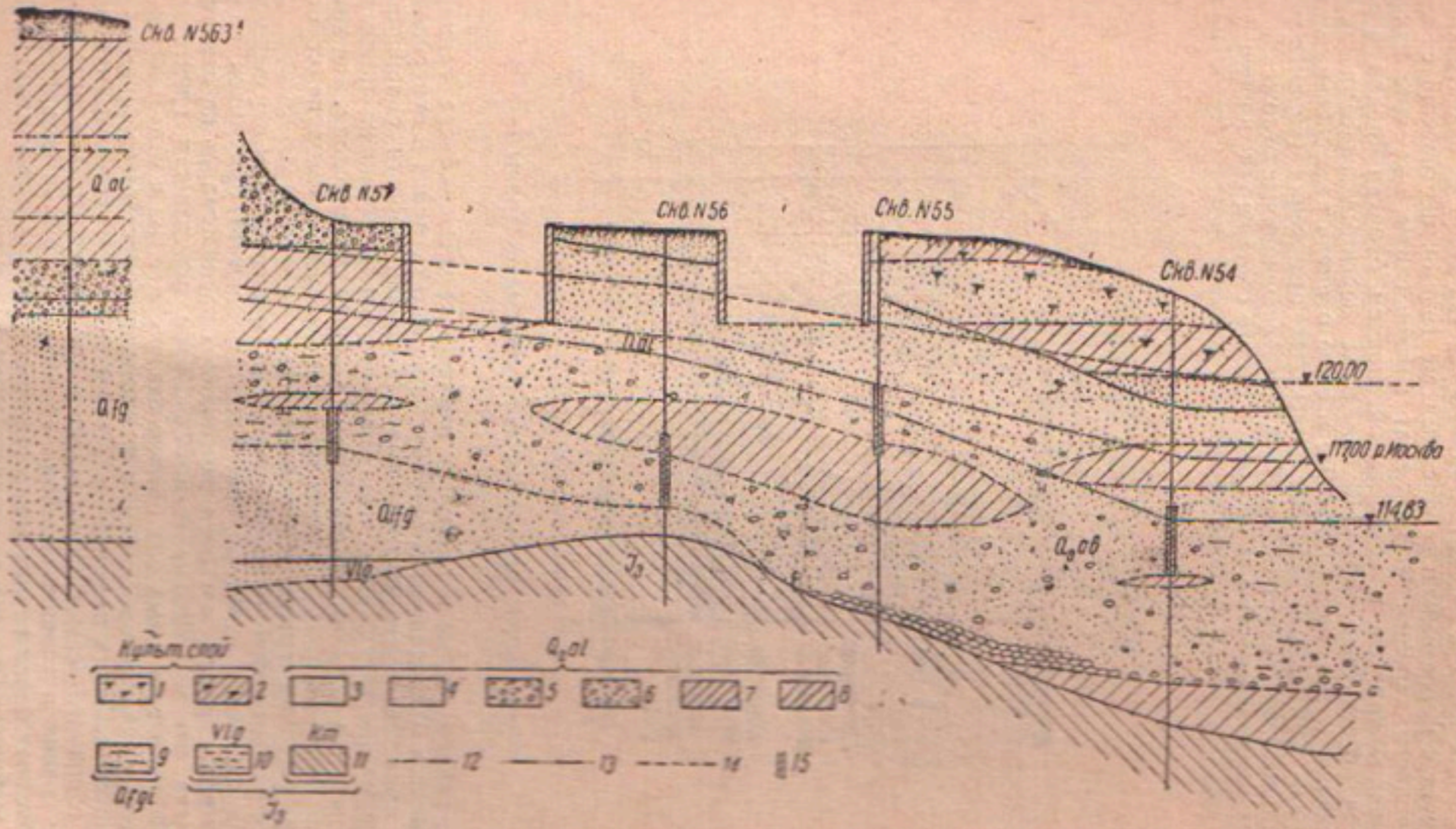
Для откачки воды из горизонтальной дрены-коллектора оборудована насосная станция с четырьмя центробежными насосами $d = 6''$ и одним паровым $d = 3''$.

Опыты показали, что основная масса воды поступала в горизонтальную дрену-коллектор через самоизливающие колодцы и стыковые щели дрен; большинство же конструктивных отверстий оказалось засоренным и совершенно не работало.

Последнее следует, повидимому, отнести за счет неудачной конструкции дренажных отверстий горизонтальной дрены (отсутствие защиты от непосредственного попадания грунта) и неправильного подбора фильтрующей обсыпки их (что подтверждено значительным выносом с водой взвешенных частиц).

Пример № 2

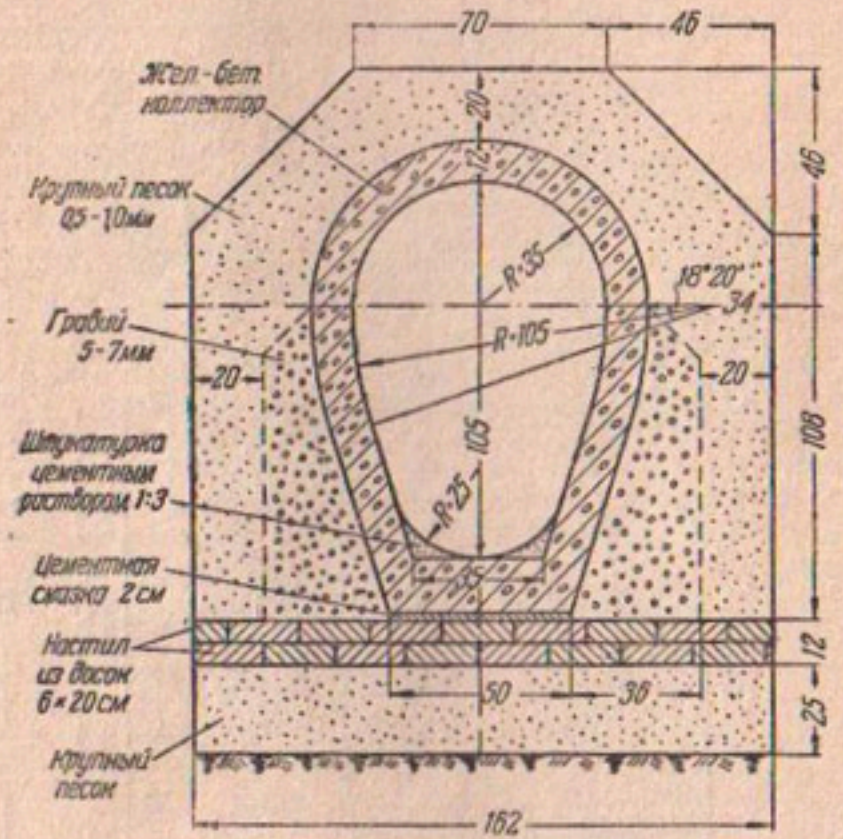
Защищаемые сооружения расположены на пойменной террасе правого берега реки, к набережной которой они и примыкают (фиг. 98). Отметки поверхности территории в пределах пойменной террасы колеблются от 123



Фиг. 99. Геолого-гидрогеологический разрез

до 125 *м*; не выходя еще за ее границы, пойменная терраса довольно крутым подъемом переходит в древнюю террасу реки, отметки которой в этой ее части составляют 138—140 *м*.

В основании разреза рассматриваемого участка залегают известняки, переслаивающиеся с мергелями и глинистыми мергелями и относящиеся к отложениям верхнего карбона. Выше лежат юрские глины, имеющие наклон от древней речной террасы к современной, причем отметки кровли в районе русла реки составляют 109—110 *м*. Над юрскими глинами залегают верхневолжские пески, перекрываемые в свою очередь аллювиальными отложениями (фиг. 99). Общая мощность песчаных отложений (верхневолжских и аллювиальных) составляет около 10—11 *м*. Аллювиальные отложения характеризуются неоднородностью и пестротой своего состава: так, в нижней своей части они представлены крупнозернистыми песками, часто с довольно боль-



Фиг. 100. Конструкция горизонтальной дрены

шим содержанием гравия и гальки; в верхней же части — более глинистыми песками, иногда с прослоями и линзами иловатого суглинка и супеси. Тот же суглинок прикрывает сверху песчаные отложения, образуя сплошной слой небольшой мощности. Сверху весь перечисленный комплекс покрывается довольно мощным (до 4 *м*), так называемым „культурным" слоем, под которым здесь понимаются отложения, связанные с деятельностью человека (строительный мусор, насыпной грунт, отбросы и т. п).

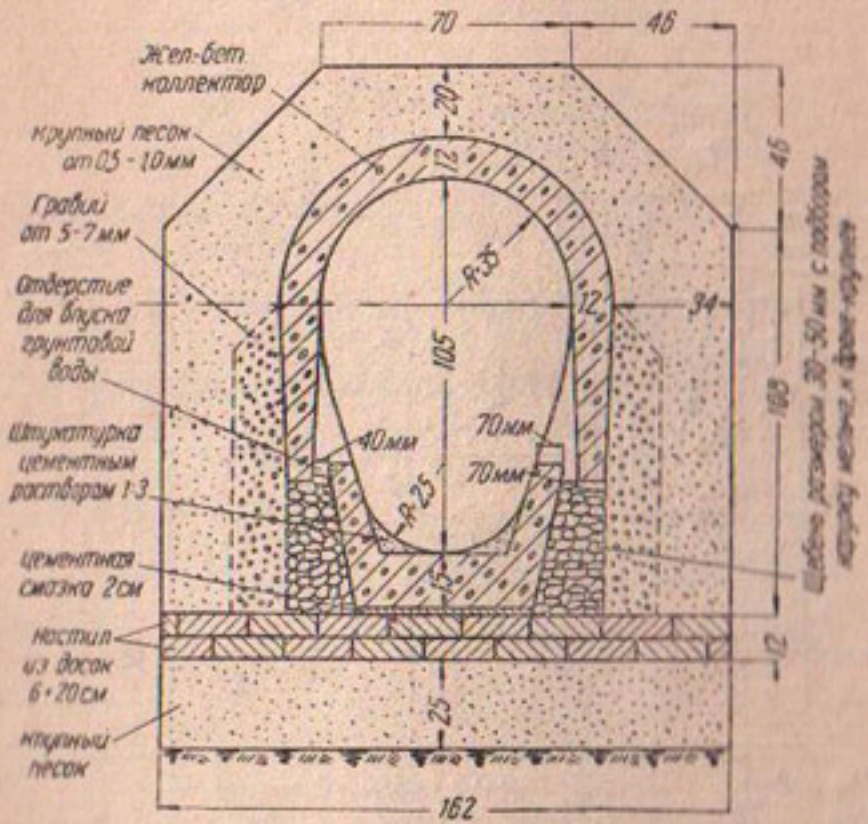
К песчаным отложениям (в основном к аллювию, так как верхневолжские пески развиты слабо и имеют небольшую мощность) приурочен горизонт грунтовых вод, зеркало которого до подпора располагалось на отметках от 117,26 *м* (скв. 54) до 122,61 *м* (скв. 57). Уклон поверхности грунтовых вод $I = 0{,}03$. Зеркало грунтовых вод обычно безнапорное, но в отдельных местах, где имеются глинистые прослойки или линзы, приобретает напорность. Водопропускная способность аллювиальных отложений, к которым приурочен водоносный горизонт, весьма непостоянна: в нижней части, где имеет место скопление гравия и гальки, величина ее больше, нежели в верхней части где преобладают более глинистые отложения. Средний коэфициент фильтрации всей водоносной толщи в среднем равен 1,16 *м/сутки*.

В целях определения положения зеркала грунтовых вод после повышения уровня воды реки сделаны соответствующие расчеты, согласно которым уровни грунтовых вод на территории должны были бы значительно повы-

ситься (см. гидроизогипсы на фиг. 98), благодаря чему большинство подвальных помещений расположенных на ней оказывалось под угрозой подтопления их грунтовыми водами.

Для защиты подвальных помещений и подземного хозяйства от подтопления в 1936 г. был запроектирован комбинированный дренаж, охватывающий территорию в виде буквы П, обращенной своей незамкнутой стороной к набережной (фиг. 98).

Этот дренаж представляет собой горизонтальную дрену (коллектор) и ряд вертикальных самоизливающих колодцев, прорезающих водоносную толщу от дна горизонтальной дрены до водоупора (юрские глины). Горизонтальная дрена представляет собой железобетонную трубу овоидальной формы с размерами 1,05 *м* (высота) × 0,70 *м* (диаметр) (фиг. 100).



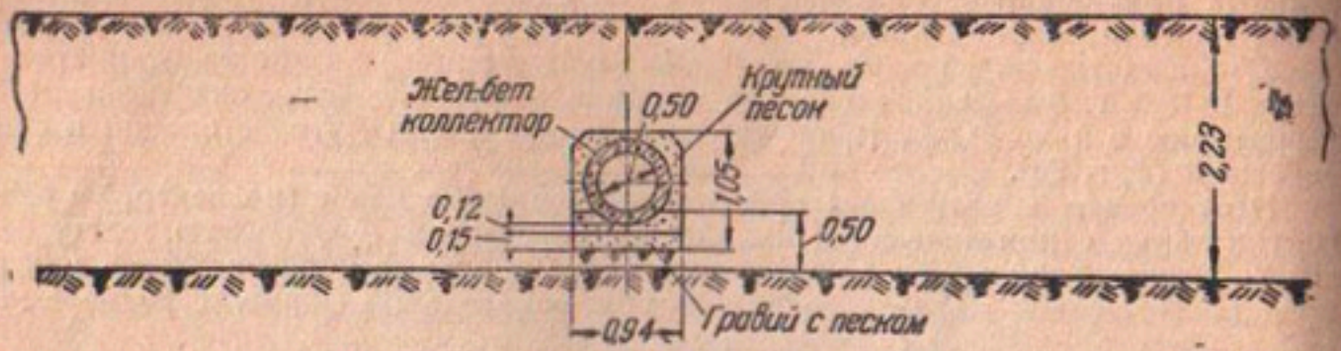
Фиг. 101. Конструкция горизонтальной дрены в местах расположения дренажных отверстий

Для поступления грунтовых вод в боковых стенках дрены устроены специальные отверстия размером 5 × 40 *см*, расположенные по длине ее через 1 *м*. С целью предохранения дрены от попадания грунта каждое отверстие защищено бетонным козырьком и снабжено обратным фильтром (фиг. 101).

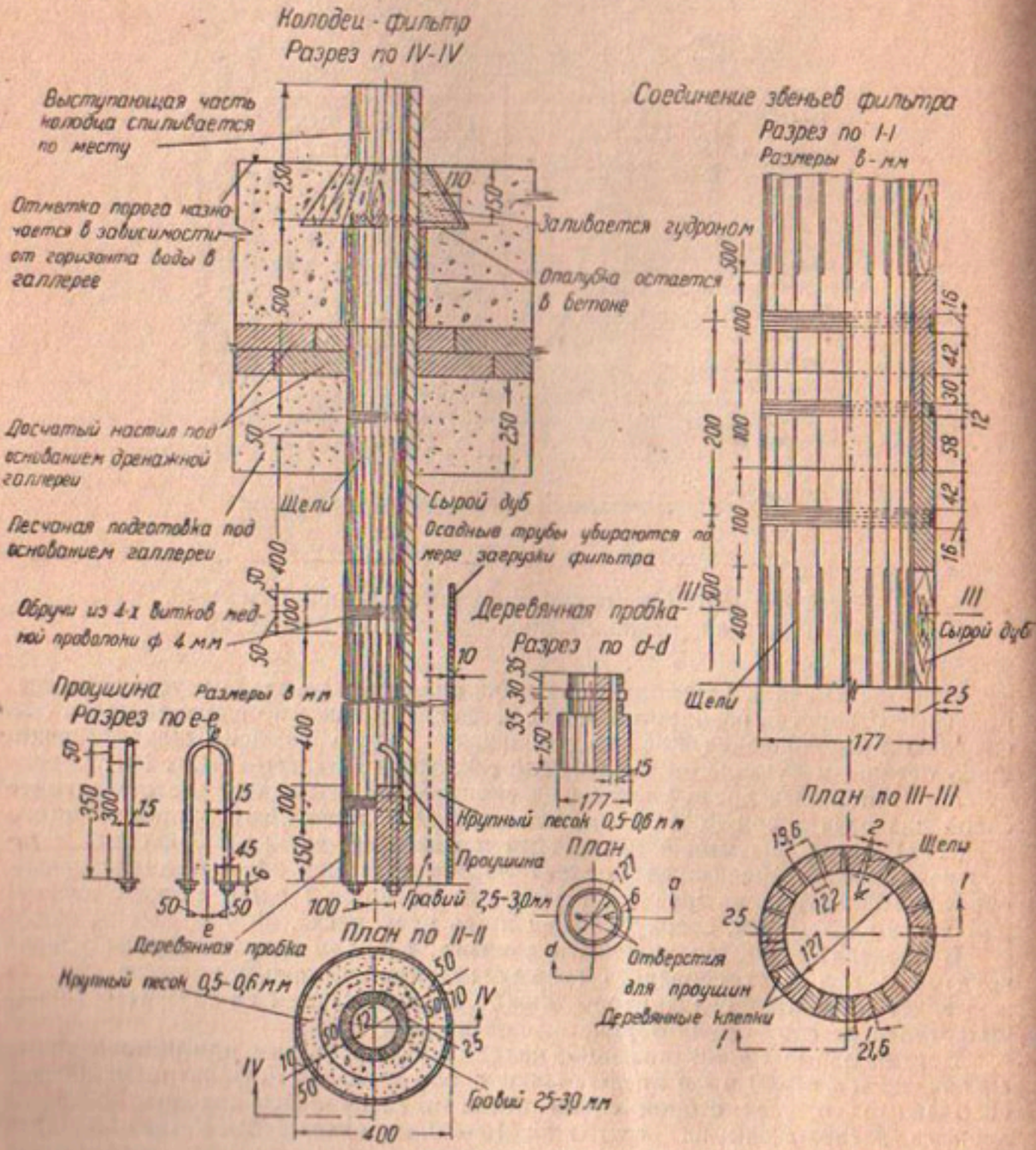
Горизонтальная дрена уложена на специальное основание, представляющее собой два ряда досок (6 × 20 *см*), лежащих на подсыпке из крупнозернистого песка. Между дощатыми прокладками и железобетонной трубой сделана цементная смазка. Дренажный коллектор с двух сторон обсыпан двухслойным обратным фильтром из гравия с размерами частиц 5—7 *мм* и песка с диаметром частиц 0,5—1 *мм*; сверху уложен лишь слой песка.

В пределах водоотводной части дренажа, т. е. там, где понижения уровня грунтовых вод не требовалось (между зданиями и рекой), уложена круглая железобетонная труба диаметром $d = 50$ *см*; основанием ее служит бетонная подготовка на слое крупнозернистого песка (фиг. 102).

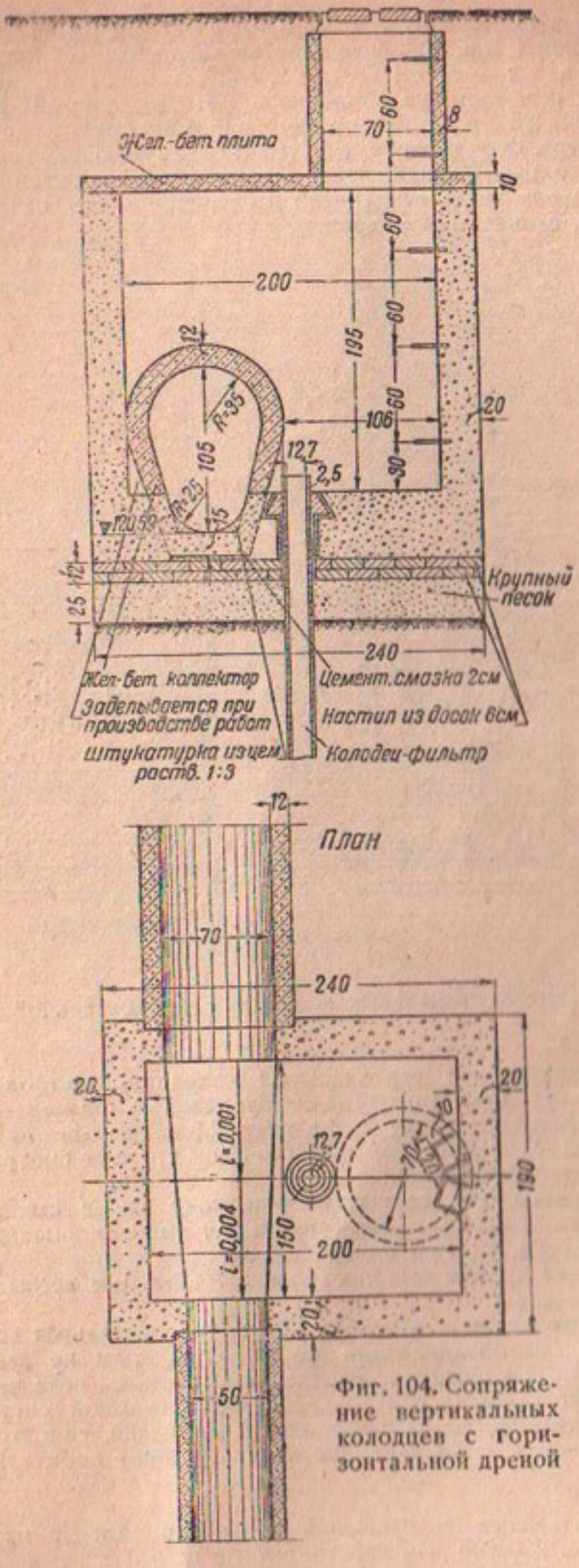
Вертикальные самоизливающие колодцы осуществлены при помощи буровых скважин $d = 400$ *мм* и представляют собой деревянный фильтр $d = 200$ *мм*, обсыпанный со всех сторон слоем песка и гальки. Эти колодцы по трассе дренажа расположены на расстоянии 15—30 *м* (фиг. 103). Устья колодцев устроены не по оси горизонтальной дрены, а сбоку от нее в специальных смотровых колодцах. Внутренний диаметр деревянных фильтров 127 *мм*; со-



Фиг. 102. Конструкция горизонтальной дрены в пределах сбросной части

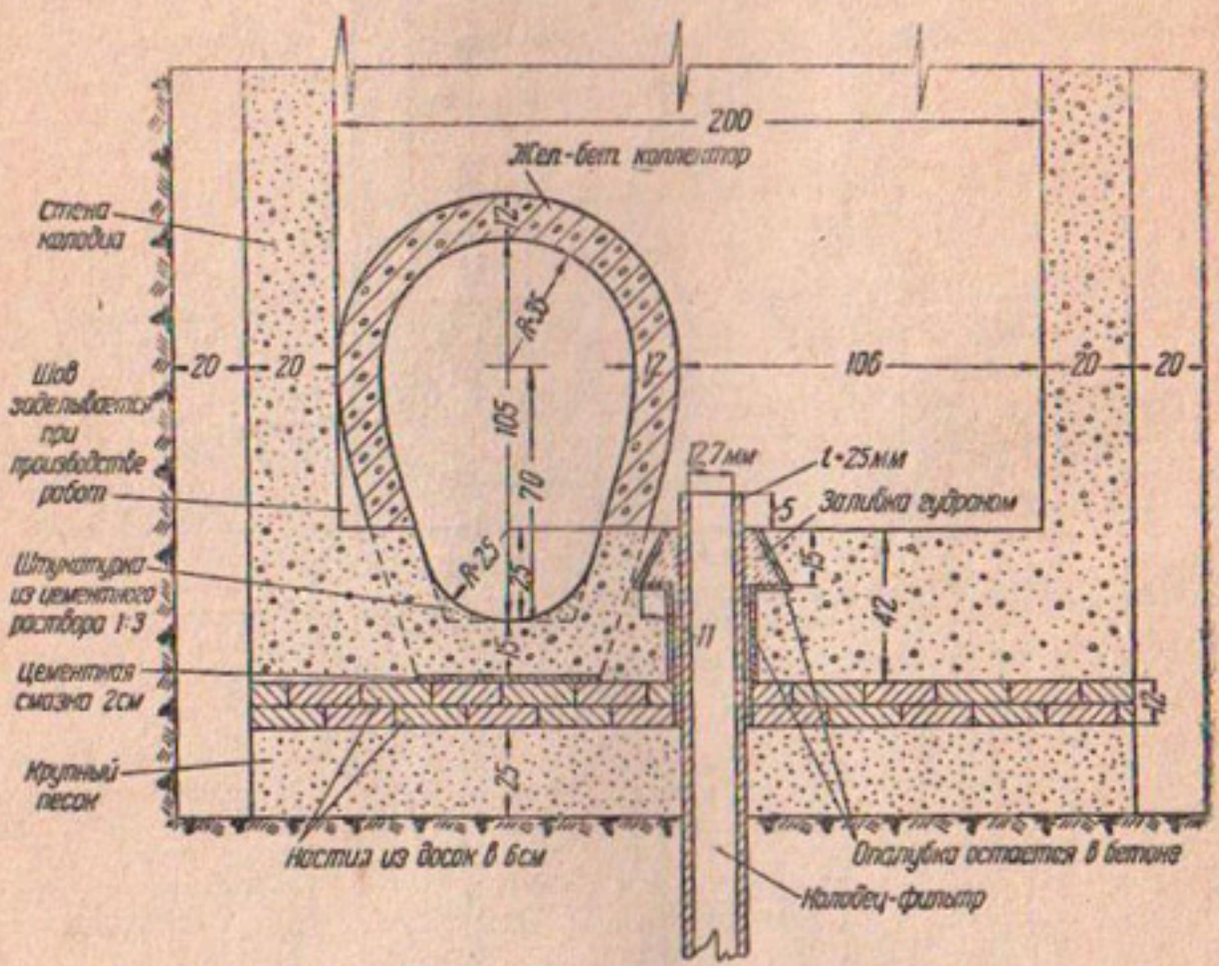


Фиг. 103. Конструкция самоизливающихся колодцев



Фиг. 104. Сопряжение вертикальных колодцев с горизонтальной дреной

ставлены они из дубовых досок 25 × 16 *мм* с оставлением между ними щелей шириной в среднем 3 *мм*. Снаружи деревянный фильтр обложен двухслойным фильтром из гравия диаметром частиц 2,5—3 *мм* и песка с диаметром частиц $d = 1{,}5 - 1{,}6$ *мм* при толщине обсыпки 50 *мм*. Деревянный фильтр заканчивается деревянной же пробкой с проушиной, за которую может быть произведен подъем фильтра. Фильтр пропускается через деревянный настил и бетонную часть основания горизонтальной дрены, причем для преграждения доступа воды вдоль фильтра около устья последнего в бетонной части основания делается выступ из досок, заливаемый гудроном.



Фиг. 105. Сопряжение вертикальных колодцев с горизонтальной дреной. Деталь

В местах расположения вертикальных колодцев-фильтров устраиваются смотровые железобетонные колодцы с внутренними размерами 1,5 × 2,0 *м* (фиг. 104 и 105). Высота их 2 *м*; выше идет горловина $d = 70$ *см*. По линии водоотводной части горизонтальной дрены сделаны круглые смотровые колодцы $d = 1{,}5$ *м* из железобетонных колец.

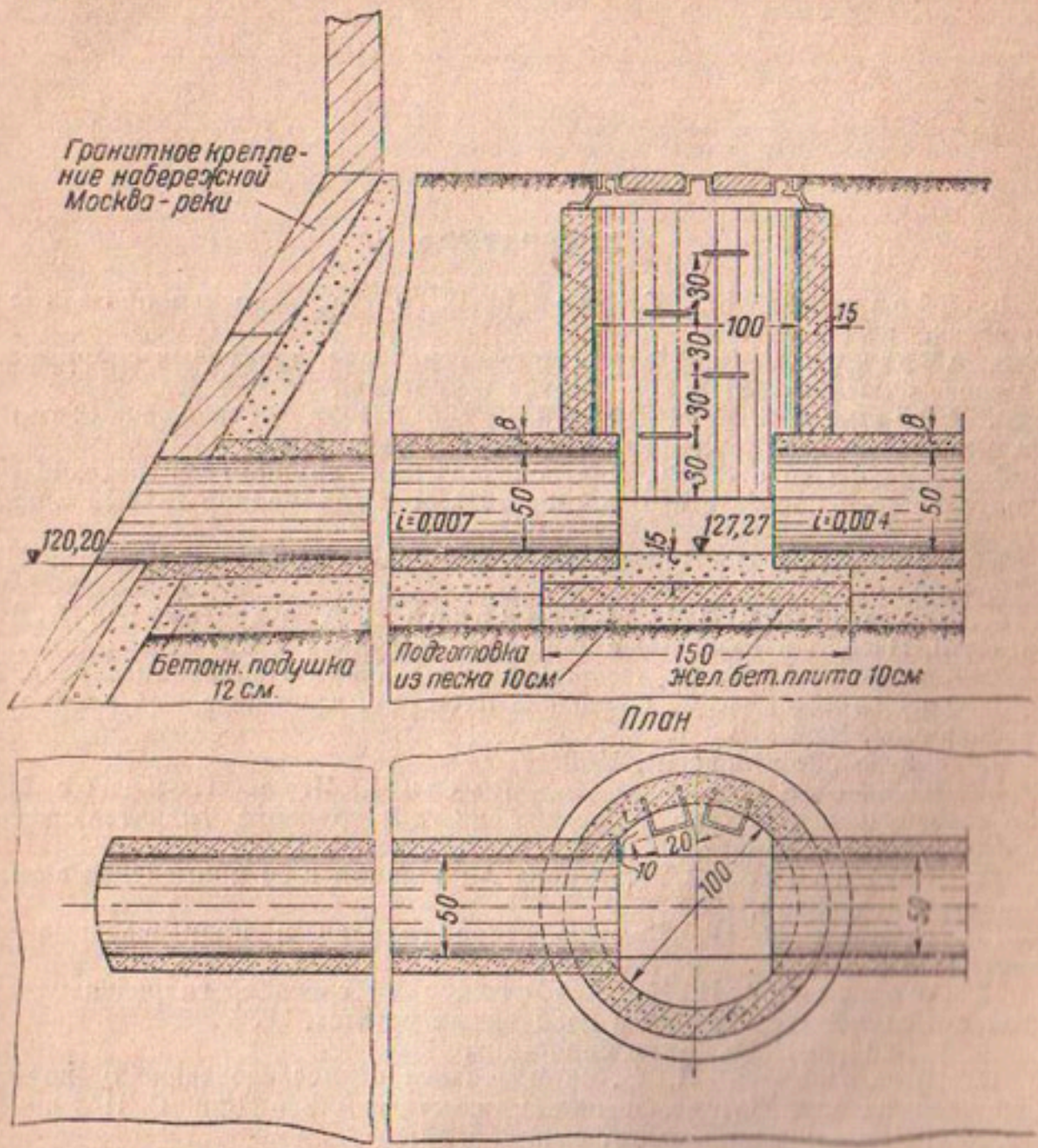
Выпуск дренажных вод осуществлен в реку через стенку набережной (фиг. 106). Выпуски в ней заложены на 20 *см* выше нормально-подпертого горизонта воды в реке, т. е. на отм. 120,20 *м*.

Описанный выше дренаж был построен в 1937 г. и с весны того же года находится в эксплоатации[1].

При осмотре его автором в апреле 1939 г. горизонтальная дрена работала удовлетворительно; самоизливающие же колодцы воды не давали, хотя по свидетельству местных работников в отдельные периоды года часть колодцев также работает. Что касается общего действия дренажной системы на понижение уровня грунтовых вод на защищаемой площадке, то в этом отношении дренаж свое назначение выполняет достаточно удовлетворительно, так как

[1] Из производственных соображений коллектор заменен на круглые железобетонные трубы $d = 600$ *мм*, изготовленные центробежным способом.

подтопления подвальных помещений на защищаемой территории не наблюдается. Вместе с тем отмечается довольно интенсивное засорение горизонтальной дрены и смотровых колодцев, а также, повидимому, и вертикальных фильтров.



Фиг. 106. Выпуск дренажных вод через стенки набережной

Опыт эксплоатации дренажа показывает, что даже в условиях глубокого залегания водоупора и большого притока воды надлежащего эффекта можно добиться устройством одной только горизонтальной дрены, т. е. без применения комбинированного дренажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов С. К., Глазов Н. В. и др., Противооползневые сооружения, 1940.
2. Абрамов С. К., Методы проектирования дренажных сооружений в оползневых массивах, Институт Водгео (рукопись), 1939–1940.
3. Абрамов С. К. и Разин К. И., Расчет несовершенных горизонтальных водозаборов (рукопись), Институт Водгео, 1940.
4. Аверьянов С. Ф., Подтопление при крупном гидротехническом строительстве и борьба с его последствиями. Гидромелиоративный институт (рукопись), 1937—1938.
5. Аравин В. И., Приток грунтовых вод к водосборам, Известия НИГИ № 18, 1936.
6. Берловский В. М., Богомолов В. А. и др. (под ред. А. А. Лаговского), Насосы и насосные станции для водопроводов и канализаций, 1938.
7. Брудастов А. Д., Осушение минеральных и болотных земель, 1934.
8. Брудастов А. Д., Осушение площадок промышленных предприятий и аэродромов, 1936.
9. Bleske „Rohrbrunnen", 1929.
10. Вевиоровская М. А., Разин К. И. и Семенов М. П., Методика изучения режима подземных вод для крупного гидротехнического, промышленного и ирригационного строительства, 1937.
11. Ведерников В. В., Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа, 1939.
12. Гениев Н. Н., Водоснабжение городов и промышленных предприятий, 1931.
13. Гиринский Н. К., Графическое построение гидродинамических сеток для случая фильтрации в однородных грунтах, 1939.
14. Глебов П. Д., Курс ирригации, 1938.
15. Жуковский Н. Е., Теоретические исследования о движении подпочвенных вод, Журнал физико-химического об-ва при С. П. Университете, т. XXI, Физический отдел, вып. 1, 1889.
16. Замарин Е. А., Гидродинамические сетки движения, научные записки МИИВХ, 1937.
17. Каменский Г. Н., Корчебоков Н. А., Разин К. И., Движение подземных вод в неоднородных пластах, ОНТИ, 1935.
18. Каменский Г. Н., Основы динамики подземных вод, ч. I, 1933.
19. Каменский Г. Н., Основы динамики подземных вод, ч. II, 1935.
20. Кайков М., Бурение на воду и устройство трубчатых колодцев, 1932.
21. Кене, Учение о грунтовых водах, 1932.
22. Клют Г., Исследование воды на месте, 1931.
23. Козлов В. С., Розрухунок дренажных споруд, 1936.
24. Костяков А. Н., Основы мелиорации, 1938.
25. Костяков Н. И., Гидроизоляция и дренаж, 1939.
26. Кирилейс, Искусственное понижение грунтовых вод, 1933.
27. Кусакин И. П., Искусственное понижение уровня грунтовых вод, 1935.
28. Куценок и Моргенштерн, Подземное хозяйство современных городов, 1937.

29. Лантов Ф. Ф., Агрессивное действие воды на карбонатные породы, гипсы и бетон, 1939.
30. Лейбензон Л. С., Нефтепромысловая механика, ч. II, 1934.
31. Люгер, Водоснабжение городов, 1898 (русский перевод).
32. Matt, Drainage by Means of Pumping from Wells in Salt River Vallgy, Arizona, 1926.
33. Новиков С. С., Отвод поверхностных и подземных вод от железнодорожного полотна, 1938.
34. Патрашев А. Н., Движение фильтрационного потока при суффозии грунта. Энергетический институт Академии наук (рукопись), 1938.
35. Пащенко Б. В., Дренажные сооружения для укрепления полотна железных дорог, 1936.
36. Саваренский Ф. П., Гидрогеология, 1935.
37. Саваренский Ф. П., Инженерная геология, 1939.
38. Сурин А. А., Водоснабжение, ч. I и II, 1926 и 1932.
39. Справочник по инженерной геологии, 1940.
40. Тржинский С. В. и Беляев Д. Л., Методика проектирования осушения угольных шахт подмосковного бассейна, Спецгео 1939.
41. Технические условия на исследование грунтов как основания сооружений, 1939.
42. Hopf und Trefftz, Grundwasserströmung in einem abfallenden Gelände mit Abflußgraben, ZAMM — 1921 — H.4.
43. Чугаев Р. Р., Приток грунтовой воды к траншеям и горизонтальным водосборам, заложенным выше водонепроницаемого слоя. Известия НИИГ № 23, 1938 г.
44. Шпетле, Осушение почвы подземным дренажем, 1926.
45. ШНИПС, Инструкция по защите бетона от коррозии, 1939.
46. Форхгеймер, Гидравлика, 1935.

2572

Редактор *инж. Р. А. Токарь*

Подп. в печать 10/VI 1941 г. 12,25 печ. л. Уч. № 6228.
Уил. 13,9 Заказ № 214. Тираж 2000. Л113357. Цена 5 р. 60 к.

13-я тип. ОГИЗ РСФСР треста «Полиграфкнига». Москва, Денисовский, 30.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
70	фиг. 31		Рисунок перевернуть	Типографии
87	формула (13а)	$[R^2 + H_1^2]$	$[R^2 + H^2]$	Автора
166	формула (1)	$\ln R - \frac{1}{2} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n$	$\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n$	Автора
171	4 снизу	$= \ldots$	$y_{min} = \ldots$	Типографии

5