УДК 624.152.612

Рекомендации по проектированию и расчётам защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. М.,ВНИИ "ВОДГЕО", "ПНИИИС", 1979, 328 стр.

В Рекомендациях приведена краткая характеристика процесса подтопления и рассмотрены причины и факторы, вызывающие этот процесс на промышленных площадках; даны указания по проектированию предупредительных мероприятий, позволяющих уменьшить (а иногда и полностью исключить) опасность проявления подтопления, как в период строительства, так и в годы последующей эксплуатации промышленных предприятий; описаны системы и конструктивные типы, защитных сооружений и устройств, применяемых при борьбе с подтоплением, и даны рекомендации по их гидрогеологическим и гидравлическим расчётам.

Рекомендации могут быть использованы при проектировании мер предупреждения и инженерной защиты территорий промышленных предприятий от подтопления грунтовыми водами и предназначаются для инженеров-гидрогеологов, гидротехников и строителей проектно-изыскательских, строительных и эксплуатационных организаций.

Разработаны:
Всесоюзным научно-исследовательским институтом водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВНИИ "ВОДГЕО").
Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве ("ПНИИИС")

Рекомендации публикуются в соответствии с решением секции инженерной гидрогеологии научно-технического совета ВНИИ "ВОДГЕО" от 6 февраля 1978 г.

Утверждены директором ВНИИ "ВОДГЕО" д.т.н., проф. С.В.Яковлевым 6 февраля 1979г., директором "ПНИИИС" С.А.Долодаренко 7 февраля 1979г.

Научные редакторы: д.т.н.,проф. С.К.Абрамов и к.т.н. В.С.Алексеев.

О Г Л А В Л Е Н И Е

стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ 5
ГЛАВА I. Общие положения 8
ГЛАВА II. Предупредительные мероприятия I3
§ I. Предварительные замечания I3
§ 2. Обвалование затопляемых территорий и искусственное повышение их поверхности I3
§ 3. Организация стока дождевых и талых вод и усиление дренирующего действия водоемов I7
§ 4. Перехватывающие дренажные сооружения 20
§ 5. Противофильтрационные устройства 2I
§ 6. Наружная гидроизоляция подземных сооружений 30
§ 7. Пристенные и пластовые дренажи 33
§ 8. Вентиляционные дренажи 39
§ 9. Предупреждение утечек из водопроводящих сооружений 39
§ I0. Упорядочение отвального хозяйства промышленных предприятий 4I
§ II. Технико-организационные мероприятия 4I
ГЛАВА III. Защитные мероприятия 44
§ I. Предварительные замечания 44
§ 2. Мероприятия по общей защите промплощадок от подтопления грунтовыми водами 47
§ 3. Мероприятия по локальной защите сооружений и коммуникаций от подтопления грунтовыми водами 55
§ 4. Конструкции защитных дренажей 58
а) Горизонтальные дренажи трубчатого типа 58
б) Горизонтальные дренажи галерейного типа 72
в) Вертикальные дренажи 76
г) Комбинированные дренажи 80
д) Лучевые дренажи 82
е) Вакуумные дренажи 86
ж) Электродренажи 90
ГЛАВА IV. Гидрогеологические расчеты дренажных сооружений и противофильтрационных устройств 93
§ I. Расчеты горизонтальных дренажей 93
а) Систематический дренаж 94
б) Кольцевой дренаж II0
в) Перехватывающий дренаж I46
г) Пластовый и пристенный дренажи I60

стр.

§ 2. Расчеты вертикальных дренажей 168
§ 3. Расчеты комбинированных дренажей 188
§ 4. Расчеты лучевых дренажей 192
§ 5. Особенности расчетов дренажей при вакуумировании. 200
§ 6. Об определении радиуса влияния дренажных сооружений 201
§ 7. Расчеты противофильтрационных завес (барражей) . . 203
а) Расчет удлиненных завес 205
б) Расчет круглых в плане завес 208
§ 8. Примеры расчета дренажей и завес 212
ГЛАВА У. Гидрогеологические расчеты сложных дренажных систем методом моделирования 229
§ I. Предпосылки, средства и общие положения фильтрационных расчетов дренажных систем методом моделирования 229
§ 2. Схема и модель проницаемого пласта 233
§ 3. Границы области фильтрации и условия на них . . . 239
§ 4. Дренажные сооружения 245
§ 5. Распределенное питание, внутренние водотоки и водоемы 255
§ 6. Техника моделирования 260
§ 7. Приемы упрощения техники моделирования 264
ГЛАВА УI. Гидравлические расчеты дренажных сооружений . . . 267
§ I. Расчет водоприемной поверхности дренажных труб . . 267
§ 2. Подбор и расчет дренажных обсыпок 275
а) Подбор обсыпок в горизонтальных дренажах 276
б) Подбор обсыпок в вертикальных дренажах 283
§ 3. Расчет водопропускной способности дренажных труб 304
§ 4. Расчет водопропускной способности фильтрующих постелей 308
§ 5. Расчет сифонных систем 310
§ 6. Расчет эрлифтных систем 316
Литература 319

ПРЕДИСЛОВИЕ

На территориях промышленных предприятий и прилегающих к ним населенных мест, в особенности если они располагаются в районах развития слабопроницаемых грунтов, в период их строительства и эксплуатации, как правило, происходит устойчивый подъем уровня грунтовых вод, изменяется их химический состав и температура; при этом обычно наблюдается подтопление подземных сооружений и коммуникаций, а часто также и снижение несущей способности грунтов оснований и загрязнение поверхностных и подземных вод, используемых для бытовых нужд населения.

Это затрудняет и удорожает строительство и нарушает нормальную эксплуатацию промышленных предприятий и жизнедеятельность населенных мест, а в отдельных случаях приводит даже к возникновению серьезных аварий.

При проектировании промышленных предприятий и населенных мест на слабопроницаемых грунтах, в случае глубокого залегания грунтовых вод (или их отсутствия), обычно никаких защитных мероприятий от возможного подтопления не предусматривается.

Все это приводит к тому, что территории промышленных предприятий и населенных мест через некоторое (сравнительно короткое) время подтопляются грунтовыми водами; причем подтопление начинает проявляться часто уже во время строительства, но особенно интенсивный характер оно принимает в период эксплуатации.

Подтопление промышленных предприятий и населенных мест не только вызывает большие строительные и эксплуатационные трудности, но и приносит весьма ощутимый народнохозяйственный ущерб.

Во избежание этого при проектировании новых промышленных объектов строительства следует составлять прогнозы возможного процесса подтопления и его развития на различных участках территории во времени и в зависимости от получаемых результатов предусматривать и своевременно осуществлять необходимые предупредительные и защитные мероприятия.

Практически же пока такие прогнозы составляются редко, мероприятия не разрабатываются и не осуществляются. В результате еще во время строительства промышленных предприятий, а чаще всего в период их эксплуатации начинает проявляться подтопление со всеми вытекающими последствиями; при этом осуществление

мероприятий по его ликвидации или локализации становится делом достаточно трудным и дорогим.

Этому положению, в значительной мере, способствует отсутствие соответствующих рекомендаций, в которых излагался бы весь комплекс вопросов, необходимых для составления прогнозов подтопления и проектирования мер предупреждения и защиты.

Это обстоятельство явилось причиной включения в координационный план ГКНТ при СМ СССР на 1975-80 г.г. научно-исследовательских работ по проблеме подтопления промышленных площадок грунтовыми водами и их инженерной защите.

Научно-исследовательские работы проводились ВНИИ ВОДГЕО и ПНИИИС"ом Госстроя СССР с привлечением ряда других организаций, причем функция координации работ осуществлялась ВНИИ ВОДГЕО.

Работы проводились поэтапно. На первом этапе проводились работы по сбору и обобщению материалов (обычно с выездом на место); были охвачены предприятия черной (исполнители: институты ПНИИИС, ВИОГЕМ, ВОДГЕО) и цветной (исполнители: институты Гипроцветмет, ВОДГЕО) металлургии, химической и нефтехимической промышленности (исполнители: институты ПНИИИС, ВОДГЕО), тепловые электростанции (исполнители: Киевское отделение Теплоэлектропроекта, ВНИИ ВОДГЕО), хлебоприемные пункты, элеваторы и мелькомбинаты (исполнители институты Госсибпромниизернопроект, ВОДГЕО) и некоторые другие, расположенные в Западной Сибири, в Казахстане, Средней Азии, на Южном Урале и Украине и в некоторых других районах нашей страны.

В результате этих работ были выявлены причины, источники и факторы подтопления промышленных площадок и получены материалы для составления классификации промышленных предприятий по условиям их подтопляемости. На этом этапе институтами ВОДГЕО и ПНИИИС"ом, при участии Киевского отделения Теплоэлектропроекта, были составлены и опубликованы "Рекомендации по изучению режима и баланса грунтовых вод на подтопляемых промышленных площадках" (издание ВОДГЕО, 1973 г.).

Такие наблюдения уже проводятся на ряде промышленных объектов; их целью является получение данных для количественной оценки источников и факторов подтопления, а также расчетных параметров, необходимых для прогноза подтопления и проектирования защитных мероприятий.

На втором этапе ВНИИ ВОДГЕО были проведены теоретические и экспериментальные исследования, в результате которых разработаны методы прогноза подтопления промышленных площадок как на основе аналитических решений, так и электромоделирования, а институтом ПНИИИС типизированы причины, источники и факторы подтопления и разработана классификация промышленных предприятий по их потенциальной подтопляемости.

На этой основе институтами ВОДГЕО и ПНИИИС были составлены и опубликованы "Рекомендации по прогнозу подтопления промышленных площадок грунтовыми водами" (издание ВОДГЕО, 1976 г.).

На третьем этапе исследования были направлены на разработку мероприятий по предупреждению и защите промышленных площадок от подтопления.

Во ВНИИ ВОДГЕО проведен, в связи с этим, комплекс теоретических и экспериментальных исследований, а также выполнены работы по разработке и усовершенствованию защитных сооружений и устройств.

В результате разработаны системы и конструктивные типы защитных сооружений и устройств, методы их проектирования и расчета; при этом получен ряд новых аналитических зависимостей для проведения гидрогеологических расчетов дренажных сооружений и противофильтрационных устройств.

На основе выполненных исследований и разработок и были составлены "Рекомендации по проектированию и расчетам защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами".

Вся работа по проведению выше указанных исследований и разработок, а равно и по составлению "Рекомендаций", выполнялась коллективом научных сотрудников институтов ВОДГЕО и ПНИИИС[1], под общим руководством и при непосредственном участии Б.К.Абрамова.

Отдельные части "Рекомендаций" написаны: глава I-я Е.С.Дзекцером и З.П.Гавшиной; глава II-я - Б.М.Дегтяревым и Е.С.Дзекцером;

1) с привлечением к работе по отдельным частным вопросам научных сотрудников и других организаций - Н.Г.Пивовара и Н.Г.Бугая (институт Гидромеханики АН УССР), Л.П.Осипчука и К.К.Карпенко (НИИСП Госстроя УССР), В.И.Фоменко (центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов ЦНИИКИВР Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР).

глава Ш-я - Б.М.Дегтяревым, при участии Г.В.Донского; глава IУ-я - А.Ж.Муфтаховым; глава У-я - Г.В.Донским, при участии А.Ж.Муфтахова; глава IУ-я - Г.В.Донским, А.Ж.Муфтаховым. Общее редактирование работы проведено С.К.Абрамовым и В.С.Алексеевым.

При подготовке "Рекомендации" к печати (текста и графических иллюстраций) большая работа проделана Л.В.Викторсон и Н.С.Сахаровой.

Составители выражают свою признательность доктору технических наук, проф. В.Д.Бабушкину и инженеру А.И.Арцеву за работу по рецензированию рукописи "Рекомендаций" и сделанные ими замечания и предложения по ее улучшению.

Составители полагают, что опубликование "Рекомендаций" по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами" (издание ВОДГЕО, 1976), а также настоящих "Рекомендаций" позволит составлять прогнозы подтопления территорий для вновь строящихся промышленных объектов еще при их проектировании, а также своевременно (заранее или одновременно со строительством) проектировать и осуществлять необходимые меры предупреждения и защиты.

Вместе с тем настоящие "Рекомендации" дадут возможность более рационально проводить защитные мероприятия на тех объектах, где подтопление уже произошло.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. В процессе строительства и эксплуатации промышленных предприятий происходит нарушение природного динамического равновесия между приходом и расходом влаги. Если при этом, при соответствующих инженерно-геологических и гидрогеологических условиях приход влаги превышает расход, то возникает процесс подтопления территории.

I.2. Подтопление территорий промышленных предприятий происходит в две стадии: на стадии строительства и на стадии эксплуатации; при этом изменение естественного водного баланса на застраиваемой территории является основной причиной развития подтопления.

I.3. Основными источниками подтопления территорий являются:

а) естественные - атмосферные осадки, талые и грунтовые во-

ды, сток с окружающих водосборов, пары воды в грунтах зоны аэрации;

б) искусственные - котлованы и траншеи, являющиеся аккумуляторами поверхностных вод, водонесущие трубопроводы (водопроводные, канализационные и т.п.), водоразборные пункты, водооборотные системы и сооружения (градирни, брызгальные бассейны и т.п.), различные резервуары, накопители промстоков, шламоотстойники, гидрозолоотвалы, очистные сооружения, цехи с мокрым технологическим процессом и т.п.

I.4. Основными факторами подтопления являются:

а) инфильтрация поверхностных и производственных вод;

б) концентрация влаги под зданиями и покрытиями вследствие уменьшения испарения;

в) конденсация водяных паров и накопление влаги в толще грунтов оснований зданий и сооружений вследствие процесса тепловлагопереноса.

I.5. Факторы подтопления разделяются на: активные - непосредственно вызывающие подтопление грунтов или заглубленных помещений и пассивные - не вызывающие подтопления непосредственно, но способствующие ему.

Активные и пассивные факторы подтопления, в свою очередь, разделяются на естественные и искусственные.

Естественные - природные факторы действуют независимо от строительства и эксплуатации предприятий и не могут быть регулируемы или управляемы; искусственные факторы целиком зависят от условий строительства и эксплуатации промышленных объектов и могут быть регулируемы или управляемы (табл.I.I).

I.6. Процесс подтопления территорий промышленных предприятий происходит при наличии определенных природных условий (пассивных факторов подтопления), благоприятных для проникновения влаги в грунт и ее накопления. Наиболее важными из этих условий является литологическое строение территории и ее гидрогеологические условия.

I.7. Интенсивность процесса подтопления в значительной степени зависит от характера технологического процесса предприятий ("сухой" или "мокрый") и количества используемой в технологическом процессе воды на I га занимаемой ими площади.

I.8. В зависимости от природных условий территорий промышленных предприятий и характера их технологического процесса оце-

Таблица I.I

Классификация факторов подтопления территорий промышленных предприятий

Активные						Пассивные	
Естественные		Искусственные				Естественные	Искусственные
			действующие в процессе эксплуатации				
систематические	периодические	действующие в процессе строительства (временные)	систематические	периодические	эпизодические	природные условия	при освоении территории
Конденсация паров под застройкой и в обратных засыпках. Концентрация влаги вследствие уменьшения испарения	Инфильтрация ливневых и талых вод. Сезонная концентрация влаги в грунтах	Инфильтрация поверхностных вод, задержанных насыпями, отвалами и т.п.	Инфильтрация из коммуникаций, цехов с "мокрым" технологическим процессом	Инфильтрация поливных вод, проливов и т.п.	Инфильтрация проливов, аварийных утечек	Гидрогеологические, геологические, геоморфологические условия, климат	Нарушение естественного рельефа, ликвидация естественных дрен и т.п.

нивается степень потенциальной подтопляемости.

I.9. Подтопление территорий предприятий с "сухим" технологическим процессом развивается в основном за счет процессов тепловлагопереноса и инфильтрации атмосферных осадков, накапливающихся в разрыхленных грунтах обратных засыпок и подсыпок.

Подтопление территорий предприятий с "мокрым" технологическим процессом происходит в основном за счет инфильтрации поверхностных и производственных вод и находится в зависимости от количества потребляемой предприятием воды, состояния водопроводящих коммуникаций, наличия различных водоемов, бассейнов и т.п. и их расположения. Процесс подтопления в этом случае происходит более интенсивно.

I.I0. Подтопление территорий промышленных предприятий под действием факторов подтопления приводит к "техногенным" изменениям водного режима территорий, которые проявляются в нарушениях режима поверхностных и грунтовых вод (уровенного, температурного и химического), а также режима влажности в грунтах зоны аэрации.

I.II. Техногенные нарушения водного режима косвенно приводят к изменениям физико-механических свойств и несущей способности грунтов-оснований, что приводит к дополнительным, часто непредвиденным осадкам и просадкам зданий и сооружений.

I.I2. Техногенные изменения химического состава грунтовых вод проявляются в повышении их агрессивного воздействия на бетон и железобетон строительных конструкций и грунты оснований, что приводит к их разрушению и деформациям зданий и сооружений, а также к загрязнению поверхностных и подземных водных источников.

I.I3. С целью оценки процесса подтопления, динамики его развития и выбора комплекса необходимых мероприятий по борьбе с ним производится количественный его прогноз (см. "Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами" Издание "ВОДГЕО", 1976).

I.I4. Прогнозы подтопления осуществляются на основе применения следующих методов:

- аналогии - по степени их потенциальной подтопляемости, основанного на сравнении природных условий территории и характера промышленного объекта по количеству потребляемой им воды на I га площади и выборе соответствующего аналога;

- аналитического - основанного на получении и решении дифференциальных уравнений при соответствующих граничных условиях

и доведения их до вида, удобного для использования в инженерных расчетах;

- моделирования - на ЭЦМ и АВМ - основанного на использовании тех же дифференциальных уравнений, решение которых осуществляется электронными цифровыми машинами и аналоговыми устройствами.

I.I5. Методы прогноза требуют определенной схематизации природных условий, характеристик искусственного питания грунтовых вод, гидравлической характеристики потоков, их структуры и строения, режима фильтрации.

I.I6. В зависимости от результатов прогноза должны приниматься те или иные мероприятия против возможного, развивающегося или уже развившегося процесса подтопления.

I.I7. Мероприятия против подтопления разделяются на:

- предупредительные (профилактические) - предусматривающие предупреждение развития подтопления на потенциально подтопляемой территории и направленные против факторов, действие которых может иметь место при строительстве и эксплуатации предприятий. Эти мероприятия имеют целью предохранить территорию и сооружения от возможного подтопления и должны быть учтены в процессе проектирования предприятия на основе результатов прогноза;

- по борьбе с уже развивающимся процессом подтопления на застроенных или проектируемых к застройке территориях - направлены против факторов, действующих на территории предприятия, а также на борьбу с грунтовыми водами на территориях с высоким положением их уровня до строительства (5 м).

Эти мероприятия имеют целью защитить подтопленные участки территории от грунтовых вод и влаги.

I.I8. Объектами защиты от процесса подтопления и его профилактики являются:

а) территории промышленных предприятий-от внешних источников подтопления (реки, водоемы, массивы орошения, территории ТЭЦ и т.п.);

б) заглубленные помещения производственных зданий и сооружений - подвалы, каналы, подземные склады, а также котлованы, траншеи и другие земляные выемки;

в) бетонные и железобетонные конструкции и трубопроводы - от коррозии агрессивными грунтовыми водами.

I.I9. Многие из предупредительных мероприятий не требуют капитальных затрат и в ряде случаев могут быть ограничены про-

ведением лишь организационно-технических мер, тщательное выполнение которых значительно снижает возможность подтопления территорий промышленных предприятий и тем самым заметно снижает необходимость в дальнейшем применения дорогостоящих мероприятий по борьбе с процессом подтопления.

I.20. Развитие процесса подтопления влечет за собой целый ряд последствий, ликвидация которых иногда вызывает необходимость приостановки технологического процесса, капитального ремонта строительных конструкций, укрепления грунтов оснований и т.п., т.е. требует больших затрат времени и материальных средств.

ГЛАВА П. ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

§ I. Предварительные замечания.

П.I. К числу предупредительных мероприятий относятся:

а) мероприятия, предохраняющие территорию промышленного предприятия или ее отдельные участки от повышения уровня грунтовых вод, обводнения и увлажнения грунтов и их последствий - обвалование или искусственное повышение планировочных отметок застраиваемой территории, организация стока атмосферных вод и интенсификация подземного стока, различные перехватывающие сооружения и устройства, регулирование рек и т.п.;

б) мероприятия, предохраняющие отдельные здания и сооружения, а также коммуникации от подтопления грунтовыми водами - внешняя гидроизоляция, пристенные и пластовые дренажи и т.п.;

в) мероприятия, предупреждающие инфильтрацию атмосферных вод, производственных стоков и утечек из коммуникаций, фильтрацию из накопителей, различных водоемов, бассейнов, цехов с "мокрым" технологическим процессом и т.п. - экраны, противофильтрационные завесы и т.д.

г) мероприятия, предупреждающие возможность конденсации водяных паров в основании зданий и сооружений и концентрацию влаги в обратных засыпках котлованов и траншей - вентиляционный дренаж, уплотнение грунтов обратных засыпок и т.п.

§ 2. Обвалование затопляемых территорий и искусственное повышение отметок их поверхности.

П.2. Обвалование территории предприятия оградительными дамбами или повышение ее поверхности путем намыва (или подсыпки)

грунта производится в целях предупреждения затопления водами водохранилищ или паводковыми водами рек.

П.3. Оградительные дамбы могут устраиваться: для защиты всей территории в целом, как правило, нерасчлененной водотоками или при небольшом их стоке - дамбы общего обвалования (рис.П.Iа); для защиты отдельных участков территории, если она расчленена водотоками - дамбы обвалования по участкам (рис.П.Iб).

П.4. Выбор отметки гребня дамбы производится по соответствующим нормативным документам.

Выбор схемы обвалования должен быть обоснован технически и экономически.

П.5. По способу производства работ дамбы могут быть:

а) насыпными и укатанными - выполняются путем послойной отсыпки и укатки из местных грунтов;

б) намывными - выполняются методами гидромеханизации.

П.6. Для выполнения насыпных укатанных дамб используются преимущественно суглинистые грунты, с содержанием глинистых частиц до 20%.

П.7. При возведении дамб обвалования на малопроницаемом основании вблизи ее низового откоса или в теле дамбы должен быть устроен дренаж для понижения кривой депрессии фильтрующегося в ее теле потока и уменьшения высоты его выклинивания в низовом откосе (рис.П.2).

П.8. Искусственное повышение поверхности территории должно выполняться только на незастроенных площадках или на отдельных пониженных ее участках (в оврагах, балках), а также на пойменных участках и т.п..

П.9. Повышение планировочных отметок территории и создание искусственного основания для зданий и сооружений выполняется путем отсыпки или намыва до уровня, превышающего максимальный уровень паводковых вод на высоту, гарантирующую предотвращение ее затопления (рис.П.3). Вместе с тем это мероприятие может служить также и средством предупреждения территорий от подтопления грунтовыми водами (обычно совместно с дренажными мероприятиями).

П.I0. Намыв территории выполняется методами гидромеханизации до той же высоты; при этом для намыва могут быть использованы пески или супесчаные грунты, содержащие не более 20% глинистых частиц.

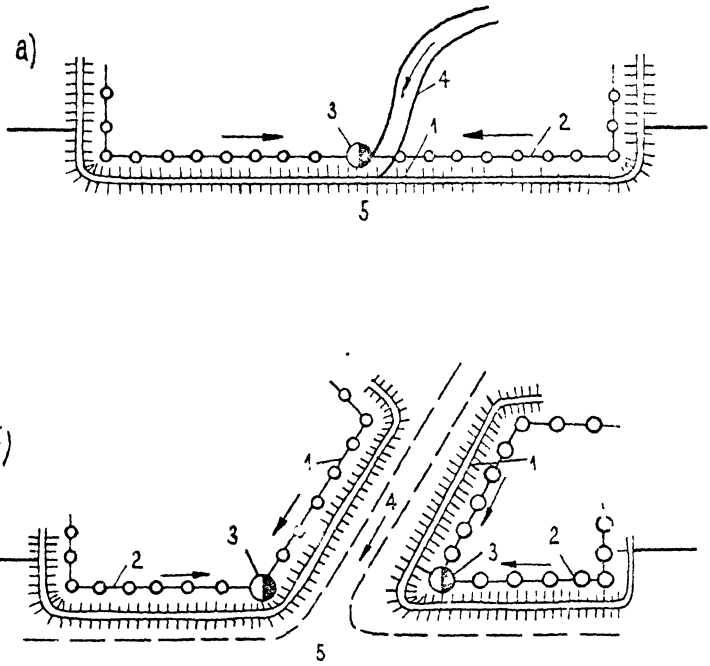


Рис.II.I. Схемы защиты прибрежных территорий от затопления а) общее обвалование территории; б) обвалование территории по участкам; I - дамба; 2 - дренаж; 3 - насосная станция; 4 - речка; 5 - водохранилище.

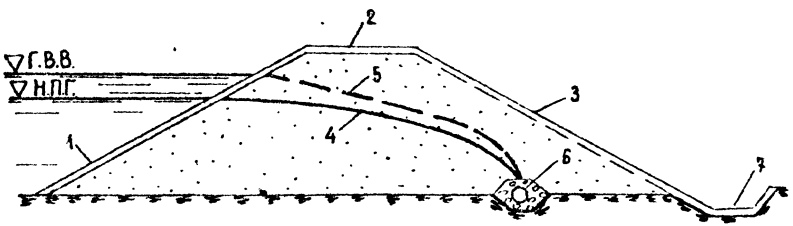


Рис.П.2. Поперечный профиль дамбы обвалование:
I - защитные покрытия верхового откоса; 2 - проезжая дорога;
3 - защитная одерновка низового откоса; 4 - кривая депрессии при НПГ; 5 - кривая депрессии в половодье; 6 - дренаж;
7 - кювет.

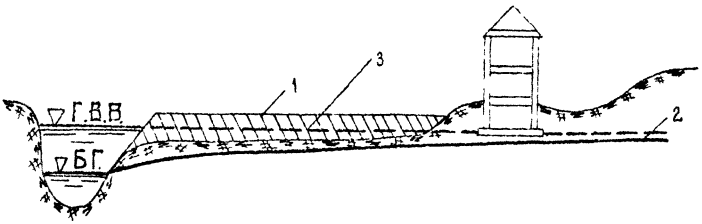


Рис.П.3. Схема искусственного повышения территории:
I - подсыпка или намыв; 2 - бытовой уровень грунтовых вод; 3 - тоже, при подпоре.

П.II. Вода после оседания частиц грунта в процессе намыва должна быть удалена из тела насыпи через специальные сбросные устройства за пределы застраиваемой территории, с целью исключения подпитывания ею грунтовых вод.

П.I2. Подсыпка территории осуществляется местным глинистым грунтом (или песком) слоями, с обязательным послойным уплотнением. Мощность каждого уплотняемого слоя не должна превышать I5-20см.

П.I3. При намыве и подсыпке территории следует предусматривать мероприятия по сохранению работы естественных дрен (оврагов, балок и т.н.).

§ 3. Организация стока дождевых и талых вод и усиление дренирующего действия водоемов.

П.I4. Мероприятия против инфильтрации атмосферных вод выполняются в основном на стадии строительства и направлены на отвод их за пределы территории промышленного предприятия, главным образом, путем организации поверхностного стока дождевых и талых вод - вертикальная планировка территории, устройство нагорных канав и водосточных сетей.

П.I5. Нагорные канавы устраиваются для перехвата и отвода поверхностных вод, поступающих с расположенных выше участков, за пределы защищаемой территории. В макропористых просадочных и набухающих грунтах, а также в песках откосы и дно канав должны быть покрыты водонепроницаемыми одеждами с целью предупреждения инфильтрации воды в грунт. Дно канав должно иметь уклон, обеспечивающий быстрый сток воды в водоприемник. Отвод воды с вышележащих участков через территорию промышленного предприятия не до-

Гипронефтеспецстрой
№ 56143

пускается.

П.I6. Для предохранения промышленных территорий от склонового стока должно быть осуществлено ограждающее обвалование из местных суглинистых грунтов в сочетании с нагорными канавами.

На обвалованных территориях следует предусматривать организацию внутреннего стока атмосферных вод и их отвод за пределы территории.

П.I7. Вертикальная планировка территории выполняется с учетом необходимости ускорения стока поверхностных вод, с отводом их соответствующей водосточной сетью и с широким применением усовершенствованных покрытий на проездах.

П.I8. Водосточная канализационная сеть должна быть выполнена одновременно с вертикальной планировкой. Она может быть открытой или закрытой. Лотки открытой сети битумизируются и укрепляются мощением булыжником и поливкой битумным раствором или бетонируются.

В грунтовых условиях площадок П-го типа по просадочности лотки открытой сети устраиваются из железобетона с нанесением слоя водоупорной штукатурки.

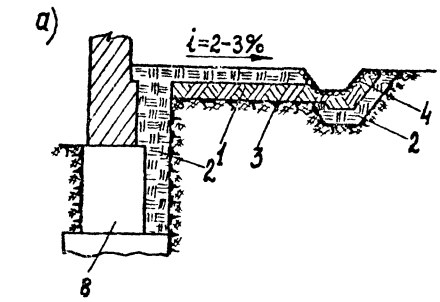
Лотки коллектора открытой сети обычно выполняются из железобетона с покрытием дна и стенок водоупорной штукатуркой и железнением. Если коллектор проходит вблизи здания, то под ним устраивается сопутствующий дренаж.

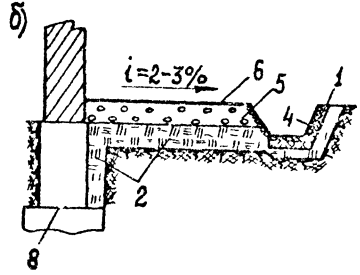
П.I9. Вдоль дорог и проездов одновременно со строительством должны быть выполнены кюветы с обязательным отводом из них воды за пределы территории через водосточную сеть.

П.20. Воды, откачиваемые из затопленных и подтопленных помещений, котлованов, траншей и других строительных выработок, должны отводиться в водосточную сеть. Сбрасывание этих вод в грунт во избежание инфильтрации запрещается.

П.2I. Для отвода атмосферных вод, стекающих с кровли зданий и сооружений, вокруг последних устраиваются отмостки, уложенные на подготовку из уплотненного глинистого грунта, с уклоном от здания до 3%.

Непосредственно к отмостке должен примыкать кювет, отводящий воду в водосточную сеть (рис.П.4). В местах примыкания к зданию в отмостке не должно быть зазоров.





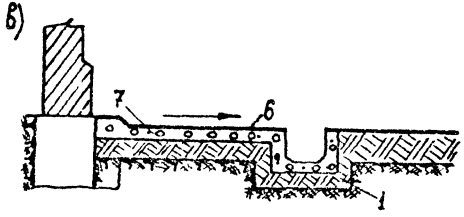


Рис.П.4. Конструкции отмосток у зданий:
а) для одно-двухэтажных зданий; б) для многоэтажных зданий; в) для зданий, возводимых на сильно просадочных грунтах; I - вспаханный и плотноутрамбованный грунт; 2 - уплотненная обратная засыпка; 3 - утрамбованный лесс, смешанный с кирпичным щебнем (I0-I5% по объему); 4 - мощение булыжником с заливкой швов битумом; 5 - щебенистое основание толщиной I0-I2 см, пропитанное горячим битумом; 6 - литой асфальт слоем 2-3 см; 7 - бетонная или шлакобетонная подготовка; 8 - фундамент.

П.22. Производственные корпуса большой протяженности (длиной в 50 м и более) следует по возможности располагать длинными сторонами параллельно направлению поверхностного и подземного стока, в целях предупреждения задержки ими дождевых и талых вод на поверхности территории, а грунтовых вод в толще грунта - подземными конструкциями (подвалами, фундаментами и т.п.). В случае невозможности такого расположения сооружений в зависимости от рельефа или технологических условий следует предусматривать устройство в них специальных проемов - "окон" для пропуска воды вод избежание барражирующего действия сооружений.

П.23. Существующие на территории или вблизи нее естественные дрены (овраги, балки, долины мелких речек и ручьев, старицы и т.п.) следует по возможности сохранять, их русла расчищать и углублять. При невозможности сохранения естественных водотоков на площадке открытыми при их засыпке необходимо укладывать дренажные трубы для сбора и отвода воды за пределы территории.

П.24. При наличии вблизи территории естественных водоемов, которые могут оказать дренирующее действие, следует усиливать его путем понижения базиса эрозии впадающих в них водотоков, расчищая и углубляя дно водоемов.

§ 4. Перехватывающие дренажные сооружения

П.26. Для перехвата (полного или частичного) грунтовых вод со стороны водоразделов, водохранилищ, массивов орошения и т.п. применяются различные перехватывающие устройства и сооружения.

П.27. Для предупреждения подтопления территории грунтовыми водами, поступающими со стороны водохранилища или реки, при расположении ее вдоль береговой линии устраивается береговой дренаж; для перехвата грунтовых вод, поступающих со стороны водораздела - головной дренаж; для перехвата грунтовых вод, поступающих с соседних обводненных территорий (массивы орошения, подтопленные территории промышленных предприятий, например ТЭЦ) - отсечный дренаж. Для усиления дренирующего действия береговые, головные и отсечные дрены при необходимости дополняются поперечными дренами.

Одновременное применение головного и берегового дренажа приводит к образованию двухлинейной дренажной системы.

П.28. Применение берегового дренажа осуществляется не только для перехвата потока грунтовых вод со стороны реки или водоема, но и для создания необходимого понижения уровня на всей территории или на отдельных ее участках. На обвалованной территории при наличии придамбового дренажа береговой дренаж следует относить от береговой линии с целью уменьшения величины дренажного стока и, в итоге, снижения расходов на строительство и эксплуатацию дренажа.

Головной дренаж при большой мощности потока грунтовых вод может быть усилен при необходимости противофильтрационной завесой.

П.29. Преимуществом перехватывающих дренажных систем является то, что они обычно устраиваются вне защищаемой территории или участка, что особенно важно при их применении на уже застроенных территориях. Эти системы позволяют осуществлять интенсивный, вплоть до полного, перехват потока грунтовых вод.

П.30. Для предупреждения подтопления отдельных участков территории, застроенных зданиями и сооружениями, применяется также кольцевой дренаж, оконтуривающий участок в виде кольца или полукольца.

П.31. В ряде случаев возможно применение смешанных дренажных систем, а также сочетание искусственного дренажа с естественными дренирующими водотоками (старицы, овраги и т.п.).

П.32. Конструктивные типы дренажных устройств и условия их применения в зависимости от гидрогеологических условий, характера и плотности застройки описаны в главе Ш.

§ 5. Противофильтрационные устройства.

П.33. Противофильтрационные устройства используются для преграждения движения потока грунтовых вод к промышленной площадке (либо к отдельным сооружениям, располагаемым на ней), а также для исключения инфильтрации воды в грунт из резервуаров и других подземных и наземных емкостей.

В первом случае применяются противофильтрационные завесы, а во втором - противофильтрационные экраны.

Противофильтрационные завесы.

П.34. Противофильтрационные завесы рекомендуется применять в следующих случаях:

а) для преграждения потока со стороны рек, каналов и других водоемов;

б) для предотвращения фильтрации воды и промстоков из каналов и различных бассейнов, расположенных на промплощадке.

П.35. Противофильтрационная завеса представляет собой вертикальную штору в грунте, расположенную с одной или с двух сторон от источника фильтрации или же ограждающую этот источник со всех сторон.

Наиболее эффективны противофильтрационные завесы совершенного типа, т.е. доведенные до водоупора. При глубоком его залегании завесы следует доводить до слабопроницаемых грунтов с коэффициентом фильтрации не свыше 2.10^{-2} м/сут.

П.36. Для устройства противофильтрационных завес существует два метода: метод инъекции твердеющих растворов в грунт и метод траншейных стенок.

П.37. Инъекционные завесы. При инъектировании грунтов в зависимости от их типа рекомендуется применять следующие растворы:

а) цементные растворы - в скальных, щебенистых и гравийно-галечниковых породах;

б) глино-цементные, глинистые растворы и смолы - в крупнозернистых песках;

в) силикатный гель и смолы - в мелкозернистых песках.

В илах и глинах метод инъекции применять не следует.

П.38. Цементационные завесы в практике находят наиболее широкое применение. Они применяются в скальных водоустойчивых породах при раскрытии трещин более 0,1 мм, при скорости движения грунтовых вод не более 600 м/сутки, и в галечниковых отложениях с коэффициентами фильтрации от 80 до 500 м/сутки. При наличии водорастворимых минералов скорость потока не должна превосходить 300 м/сутки.

П.39. При наличии агрессивных грунтовых вод по отношению к цементам (СНиП П-28-73) цементационные завесы применять не рекомендуется. В этих случаях в грунтах с коэффициентом фильтрации до 500 м/сутки допускается применение расплавленного битума.

П.40. Для противофильтрационных завес, устраиваемых в средне- и мелкозернистых песках, целесообразно использовать карбамидные смолы. В мелкозернистых песках (с $K_ф$ = 0,5-5,0 м/сутки), можно применять раствор силиката натрия с отвердителями из фосфорной кислоты или алюмината натрия.

П.4I. В карстовых и сильно-трещиноватых породах следует применять густые цементно-глинистые растворы составов от I:2 до I:3. В полускальных породах эффективно применение силикатизации с последующей цементацией.

П.42. Толщина противофильтрационной завесы назначается в зависимости от допустимого градиента напора, действующего в опасном сечении завесы.

П.43. Сооружение завесы следует производить методом поэтапного разбуривания скважин и нагнетания раствора. Расстояния между скважинами на первом этапе принимаются 8-I0 м, на втором и последующих этапах бурят скважины в промежутках между ними до тех пор, пока не получат сплошной завесы требуемой плотности.

П.44. Закачку раствора в грунт через скважины по глубине следует производить зонально, т.е. участками длиной не более 5 м. Каждая зона ограничивается сверху тампоном, снизу-естественным грунтом или затвердевшим раствором. При этом возможно применение метода инъекции восходящими и нисходящими зонами (рис.П.5).

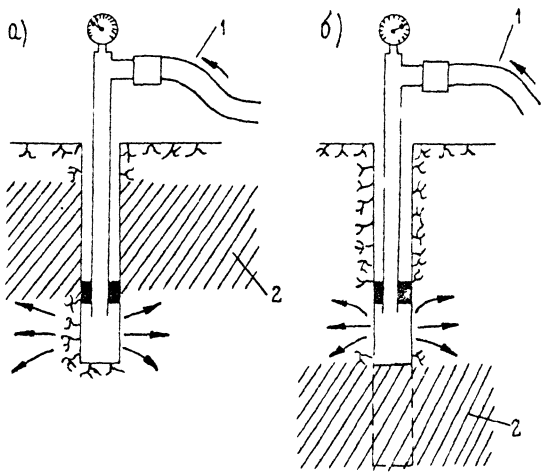


Рис.П.5 Схема нагнетания раствора в скважину.
а) нисходящими зонами; б) восходящими зонами;
I - раствор; 2 - закрепленная зона.

Метод восходящих зон следует применять в песчаных и галечниковых породах, а метод нисходящих зон - в скальных трещинова-

тых породах.

При методе нисходящих зон инъекция производится с поверхностных слоев грунта с последующим заглублением зоны, что требует перебуривания ранее закрепленного участка скважины. При методе восходящих зон инъекция производится от основания скважин с последовательным подъемом трубы.

Траншейные стенки в грунтах.

П.45. Траншейные стенки в грунтах представляют собой водонепроницаемую вертикальную подземных штору, устроенную в узкой траншее из твердеющего или нетвердеющего заполнителя.

П.46. Траншейные стенки на твердеющих заполнителях могут выполнять роль как противофильтрационных завес, так и несущих конструкций, а на нетвердеющих заполнителях - только противофильтрационных завес.

П.47. В качестве твердеющих заполнителей для противофильтрационных завес применяют бетоны (иногда с армированием) и грунтобетоны.

П.48. Заполнитель для бетонных смесей должен соответствовать требованиям ГОСТ-10268-70 "заполнители для тяжелого бетона".

П.49. В качестве вяжущего для бетонов предпочтительно применение пластифицированных портландцементов, шлакопортландцементов, пуццолановых и сульфатостойких цементов.

Вид цементов следует выбирать в зависимости от свойств грунтовых вод (СНиП II-28-73).

В условиях сред,не допускающих применение цементного вяжущего,применяются органические вяжущие (битумы, каучуки, кремнийорганические материалы, фенолформальдегиды и т.п.).

П.50. Технология бетонирования траншей выбирается в зависимости от типа грунтов, ширины траншеи, применяемого типа оборудования. Используются два основных способа устройства стенок из твердеющих заполнителей: разделение траншеи на секции и проходка траншей методом чередующихся блоков.

П.51. Применение нетвердеющих заполнителей основано на том, что заполняющие траншейную полость глинистые частицы кольматируют поры грунта, образуя у поверхности полости глинистую корку толщиною от 0,5 до 20-30 мм, которая препятствует фильтрации.

П.52. В качестве нетвердеющего заполнителя рекомендуется также использование естественных пород с добавками глинистых

суспензий.

Противофильтрационные экраны.

П.53. Противофильтрационные экраны рекомендуется применять в шламохранилищах, наземных и подземных резервуарах, расположенных на промплощадке, для уменьшения питания грунтовых вод.

Специальная подготовка основания выполняется путем уплотнения грунтов трамбованием и устройством глиняных экранов путем послойной отсыпки грунта с уплотнением. В условиях развития просадочных грунтов или набухающих со значительными величинами набухания экраны выполняются с гидрофобными прослоиками или покрытием полиэтиленовой пленкой.

В грунтовых условиях II-го типа (СНиП II-I5-74) по просадочности противофильтрационный экран может быть совмещен с пластовым дренажом, устраиваемом на уплотненном глинистом основании, с отводом воды за пределы территории промышленного предприятия. Устройство пластовых дренажей под экранами сооружений, подверженных опасности всплывания, например, при опорожнении резервуаров, является обязательным.

П.54. Противофильтрационный экран представляет собой площадное устройство на всей смоченной поверхности сооружения.

В практике могут найти применение следующие конструкции противофильтрационных экранов:

а) однослойный глинистый экран;

б) двухслойный глинистый экран;

в) экран с полиэтиленовым пленочным покрытием;

г) экран с применением асфальтобетона.

П.55. Однослойные глинистые экраны допускается применять на потенциально подтопляемых промпредприятиях лишь в исключительных случаях. Этот экран допускает некоторые потери жидкости.

П.56. Однослойный глинистый экран представляет собой слой уплотненной глины толщиной 0,5-1м (коэффициент фильтрации глин должен быть не более $I \cdot IO^{-3}$ м/сут).

Применяемые для экранирования глины должны обладать достаточной стойкостью против агрессивного действия фильтрующихся стоков, а также сопротивлением сдвигу, обеспечивающим устойчивость экрана на откосе.

В шламохранилищах допускается в качестве материала для экрана применять шламы мелкого помола, так как их коэффициент

фильтрации (в слабо уплотненном состоянии) близок к величине 1.10^{-3} м/сут.

П.57. Двухслойные глинистые экраны следует применять на предприятиях со средней интенсивностью подтопления. Эти экраны позволяют существенно снизить инфильтрацию, а при вакуумировании дренажного слоя - даже полностью исключить ее.

Двухслойные глинистые экраны представляют собой комбинированную систему защиты - сочетание экрана с горизонтальным дренажом (рис.П.6).

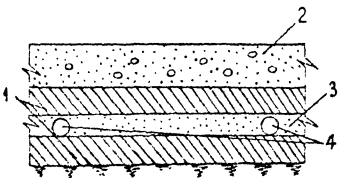


Рис.П.6. Противофильтрационный двухслойный глинистый экран: 1 - слой слабопроницаемого грунта; 2 - защитный слой из местного грунта; 3 - дренажный слой из хорошо проницаемого грунта; 4 - керамические или асбестоцементные дренажные трубы.

П.58. Экраны с полиэтиленовым пленочным покрытием следует применять на сильно обводненных предприятиях с высокой интенсивностью подтопления. Эти экраны при качественном выполнении позволяют почти полностью исключить инфильтрацию воды в грунт. Их можно использовать для экранирования резервуаров с жидкими продуктами и водными растворами различных химических реагентов. Во избежании разрыва пленочного экрана под сооружениями (периодически опоражниваемыми) и их всплывания под ними следует устраивать пластовый дренаж.

П.59. Экран с полиэтиленовым покрытием (рис.П.7) выполняется из трех слоев: нижнего, подстилающего слоя грунта, защитного слоя из полиэтиленовой пленки и верхнего защитного слоя грунта, играющего роль прагрузки.

Подстилающий и защитный слои грунта не должны содержать частиц более 3 мм. Толщина слоев принимается 0,15-0,2 м.

Для экранов следует применять полиэтиленовую пленку толщиной 0,2 мм (ГОСТ 10354-73).

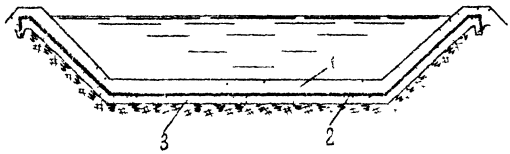


Рис.П.7. Экран с полиэтиленсвой пленкой:
1 - защитный слой; 2 - пленка; 3 - подстилающий слой.

П.60. Укладка и сварка пленки в сплошное водонепроницаемое покрытие может осуществляться путем контактного нагрева специальными аппаратами и склеиванием рулонов пленки липкой полиэтиленовой лентой.

П.61. Асфальтобетонные экраны рекомендуется применять для резервуаров и емкостей, содержащих воду или жидкие продукты, кроме продуктов, имеющих сильнощелочную агрессивность.

Не следует применять асфальтобетонные экраны при среднемесячной температуре наиболее холодного месяца ниже - 30°С.

П.62. Асфальтобетонные экраны устраиваются из асфальтовых материалов и представляют собой сплошные покрытия толщиной от 30 до 40 см, укладываемые на специальное основание, протравленное ядохимикатами. На сильно набухающих грунтах следует устраивать песчаную или гравийную подготовку толщиной 20-30 см. Поверхность асфальтобетонного покрытия следует покрывать слоем литого асфальтового раствора или мастики толщиной 10-20 мм. Конструкции асфальтовых экранов приведены на рис.П.11.

П.63. На промышленных хранилищах вредных сбросных вод рекомендуется устраивать асфальтовые покрытия с дренажной прослойкой из пористого асфальтобетона (рис.П.8в).

Дренажная прослойка выполняется в виде лент шириной 1-2 м, и толщиной 8-12 см. У основания откоса должен устраиваться дренажный коллектор, через который обеспечивается отвод воды за пределы площади.

П.64. Конструкции асфальтовых экранов должны быть снабжены деформационными швами в виде щели шириной 5-10 см, заполненной литой асфальтовой мастикой или литым асфальтовым раствором, а в районах с суровым климатом - битумно-полимерными герметиками.

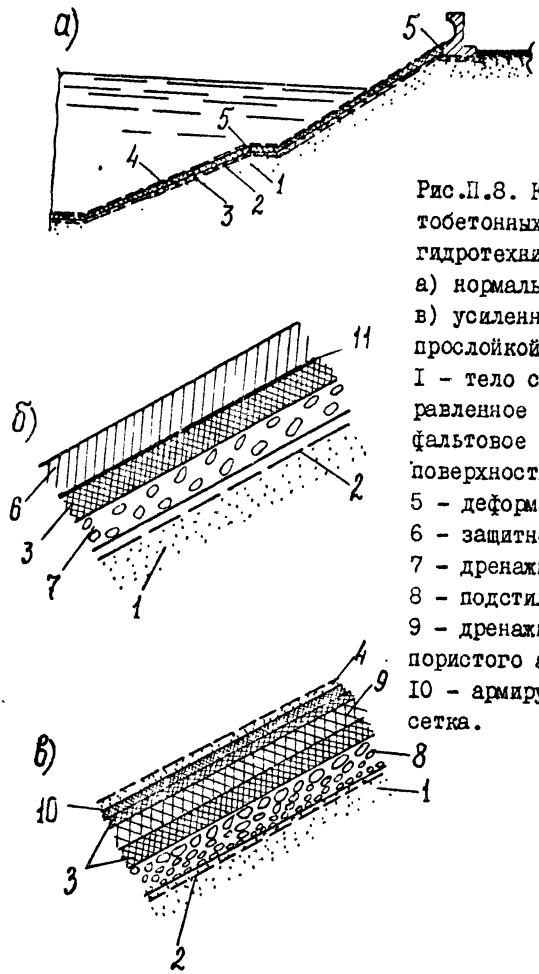


Рис.П.8. Конструкции асфальтобетонных покрытий земляных гидротехнических сооружений.
а) нормальное; б) усиленное; в) усиленное с дренажной прослойкой.
I - тело сооружения; 2-протравленное основание; 3 -асфальтовое покрытие; 4 - слой поверхностной обработки; 5 - деформационные швы; 6 - защитное покрытие; 7 - дренажная подготовка; 8 - подстилающий слой; 9 - дренажная прослойка из пористого асфальтобетона; I0 - армирующая стальная сетка.

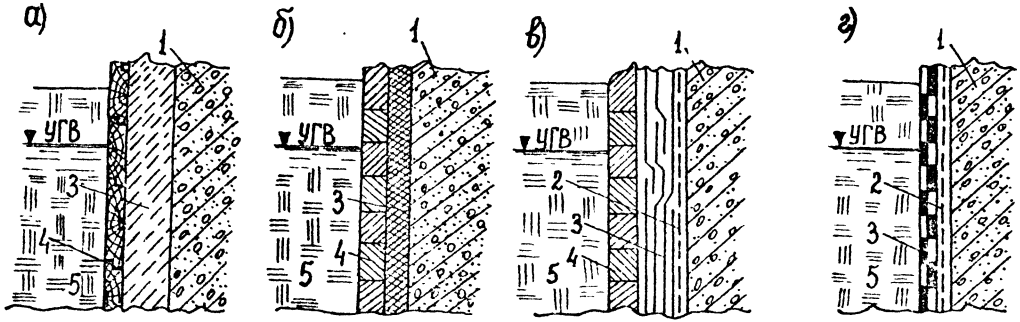


Рис.П.9. Типы наружных гидроизоляционных покрытий:
а) засыпная; б) литая; в) оклеечная; г) штукатурная;
1 – изолируемая конструкция; 2 – грунтовка основания;
3 – гидроизоляционное покрытие; 4 – защитное ограждение;
5 – присыпка грунтом.

Деформационные швы устраиваются в местах сопряжений облицовки с жесткими частями сооружения и в местах изгибов.

§ 6. Наружная гидроизоляция подземных сооружений

П.65. Наружную гидроизоляцию следует применять для предохранения подземных частей зданий и сооружений от подтопления грунтовыми водами и в этом отношении она может представлять альтернативу пластовому и пристенному дренажу.

Наружная гидроизоляция может быть засыпной, литой, оклеечной и штукатурной (рис.II.9).

П.66. Засыпная гидроизоляция рекомендуется главным образом для предохранения подземных помещений от проникновения капиллярной влаги. Она может быть использована также и для предохранения от подтопления грунтовыми водами при напоре до 3 м. В этом случае для снятия напора гидроизоляция устраивается совместно с перифундаментным дренажом (рис.II.10).

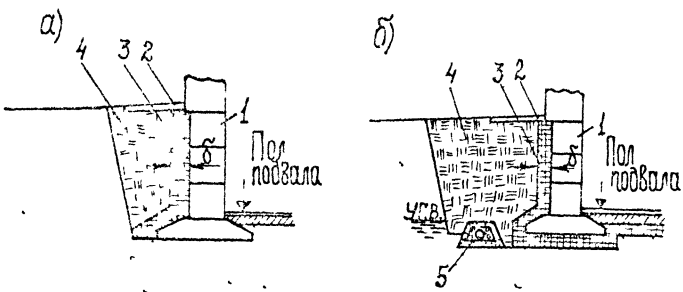


Рис.II.10. Конструкция засыпной гидроизоляции подвалов зданий.

а) в зоне капиллярного увлажнения, б) при гидростатическом напоре.

I - изолируемый фундамент; 2 - отмостка; 3 - засыпка гидрофобным порошком толщиной 20-30 см; 4 - обратная засыпка; 5 - дренаж.

П.67. Засыпные гидроизоляции из гидрофобного материала выполняются в виде засыпки толщиной 10-50 см за съемную опалубку или шпунтовый ряд по контуру стен сооружений. Для этого рекомендуются гидрофобные порошки, разработанные институтом ВНИИГ.

П.68. После выполнения засыпной гидроизоляции, пазухи котлованов заполняются глинистым грунтом или глинобентонитовыми суспензиями.

П.69. Литые асфальтовые гидроизоляции (рис.П.II) следует применять для предохранения подземных помещений от проникновения грунтовых вод, обладающих большим напором, а также в качестве элемента комбинированных гидроизоляций при уплотнении швов.

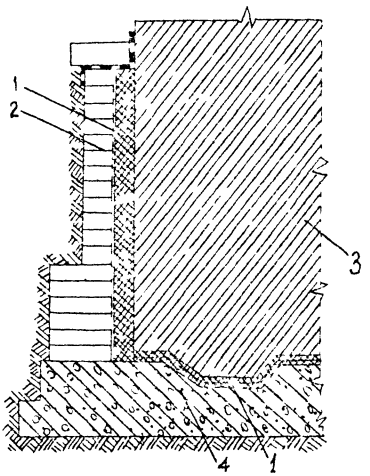


Рис.П.II. Конструкция асфальтовой литой гидроизоляции:
I - литой асфальт; 2 - кирпичная стенка;
3 - защищаемое сооружение; 4 - бетонная подготовка.

П.70. Для литых гидроизоляций используются твердеющие органоминеральные растворы, главным образом асфальтовые, представляющие смесь битумов с порошкообразным наполнителем; при этом в качестве наполнителя применяют тонкораздробленные известняки и доломиты, карбонатные лессы, каолины, серпентинит, андезитовый и диабазовый порошки, кислотоупорный цемент, портландцемент, мел и др.

П.71. Асфальтовое литое покрытие выполняется путем разлива горячего асфальтового раствора на горизонтальную поверхность слоем 10 см. При гидроизоляции вертикальных поверхностей производят заливку асфальтового раствора в полость между опалубкой

(или ограждением) и защищаемой поверхностью.

П.72. Оклеечные гидроизоляции рекомендуются главным образом для защиты подземных помещений от проникновения капиллярной влаги, а при наличии грунтовых вод-в сочетании с пристенным или пластовым дренажом.

П.73. Для оклеечных гидроизоляций используются:

а) гидроизол (ГОСТ 7415-74), представляющий собой асбестоцеллюлозный картон, пропитанный битумом.

В качестве клебемассы для гидроизола следует применять горячие асфальтовые мастики и битумные мастики по ГОСТ 2889-67 (марки МБК-Г-55; МБК Г-65; МБК-Г-75; МБК-Г-85 и МБК Г-100 - цифра означает температуру размягчения мастики). После оклейки 2-3 слоями гидроизола вся поверхность гидроизоляции должна быть окрашена;

б) стеклоизол, представляющий собой стеклохолст ВВ-К, покрытый резинобитумной мастикой; при устройстве гидроизоляции стеклоизол следует укладывать в 2-3 слоя толщиной 2 мм.

В качестве клебемассы на вертикальных плоскостях рекомендуется применять битумно-резиновые и битумные мастики, а на горизонтальных - битум;

в) полиэтиленовая пленка (ГОСТ 10354-73) толщиной 0,2 мм, рекомендуется для гидроизоляции горизонтальных и наклонных плоскостей. Вертикальные плоскости должны, кроме того, защищаться окрасочной гидроизоляцией из этиленовой краски ЭКЖС-40. Возможно также сочетание гидроизоляции из пленки на горизонтальных плоскостях и штукатурных гидроизоляций - на вертикальных.

Для механической защиты полиэтиленовой пленки под нее и сверху следует укладывать пергамин или битумизированную бумагу.

П.74. Рулонные материалы (гидроизол, стеклоизол) следует стыковать между собой внахлестку по ширине не менее 10 см в продольных стыках и не менее 20 см - в поперечных.

Полотнища полиэтиленовой пленки необходимо сваривать при помощи термоимпульсного полоза или электроутюга.

П.75. Штукатурные гидроизоляции рекомендуются для защиты сооружений от проникновения грунтовых вод; они представляют собой водонепроницаемое покрытие толщиной от 10 до 25 мм, наносимое на защищаемую поверхность штукатурным способом. Применяются холодная асфальтовая штукатурка и штукатурка из коллоидно-

цементных растворов.

П.76. Холодные асфальтовые штукатурки представляют собой мастики из смеси битумных эмульсионных паст с различными минеральными порошкообразными наполнителями; их следует применять как для поверхностной гидроизоляции (в том числе при температуре поверхности до 80°С), так и для заполнения деформационных швов, при защите подземных помещений и галерей от подтопления грунтовыми водами при напорах до 15 м.

П.77. Холодная асфальтовая мастика должна наноситься на сухую или влажную поверхность с обязательным последующим высушиванием. Покрытие наносится в два слоя общей толщиной до 10-15 мм на предварительно подготовленную поверхность (удаление поверхностной корки и грунтовка разжиженной битумной пастой); в особых случаях наносится 3 слоя мастики толщиной до 20 мм. Мастика наносится в два-три намета путем набрызгивания специальными аппаратами или вручную с помощью мастерка. Каждый последующий намет следует производить после высыхания и затвердения предыдущего.

П.78. Коллоидно-цементный раствор (КЦР) представляет собой высокодисперсную смесь песка и вибромолотого портландцемента с песком, измельченным до удельной поверхности 5000 ± 500 $см^2/г$. КЦР, приготавливаемый по правилам обычного торкрета, представляет собой активированный торкрет.

П.79. Коллоидно-цементные растворы рекомендуется применять для защиты подземных помещений и галерей от проникновения грунтовых вод, обладающих большими напорами, а также при гидроизоляции внешних поверхностей от температурных воздействий до +200°С. При этом КЦР следует применять для гидроизоляции горизонтальных поверхностей, а активированный торкрет - для вертикальных.

Рекомендуется нанесение раствора в два слоя - 1-й слой из КЦР повышенной прочности и 2-й слой через 1 час - нормальной прочности.

§ 7. Пристенные и пластовые дренажи.

П.80. Пристенные и пластовые дренажи в отличие от линейных горизонтальных являются "плоскостными" дренирующими устройствами, обвалакивающими своими фильтрующими элементами внешние контуры защищаемых сооружений и тем самым предохраняющими их от подтопления грунтовыми водами. Они отбирают гравитационную воду из окру-

жающих грунтов у внешних контуров защищаемых сооружений, прерывают капиллярную кайму и не допускают проникновения влаги внутрь этих контуров; следовательно, пристенные и пластовые дренажи имеют такое же назначение, что и наружная гидроизоляция. Однако, по характеру своей работы пристенные и пластовые дренажи прямо противоположны наружной гидроизоляции, так как они имеют хорошо проницаемую для воды "рубашку", которая, принимая в себя воду из окружающего грунта, не допускает ее непосредственного контакта с защищаемыми сооружениями и безпрепятственно отводит воду.

Пристенные и пластовые дренажи устраивают одновременно с проведением работ по строительству самих защищаемых сооружений; они довольно просты и надежны при эксплуатации и их защитный эффект весьма высок.

П.81. П р и с т е н н ы е д р е н а ж и. Применяют при необходимости защиты от подтопления грунтовыми водами подвалов зданий (или фундаментов), располагаемых на водоупоре (на плотных суглинках и глинах), в особенности, если вышележащая водоносная толща имеет слоистое строение.

Следует отметить, что пазухи котлованов в случае недостаточно плотной их засыпки часто являются местом скопления воды. Пристенные дренажи предохраняют подвалы от затопления и этой водой.

П.82. Пристенные дренажи укладывают с наружной стороны фундаментов зданий; представляют собой дренажные трубы с фильтрующей обсыпкой и призмой над ними. Следовательно, они способны перехватить новые воды, притекающие "сбоку", не допустить их к защищаемым конструкциям и отвести собранные дренажные воды за пределы защищаемого сооружения. Это особенно важно в том случае, когда грунтовые воды обладают агрессивными свойствами или когда вблизи сооружения проходят водопроводные или канализационные линии, из которых возможна утечка воды в грунт.

Прокладка пристенных дренажей не требует разработки для них отдельных траншей, что удешевляет работы.

П.83. Пристенный дренаж для случая разработки котлована в откосах показан на рис.П.12; при разработке же котлованов с креплением несколько изменяются лишь контуры его засыпки.

При разработке котлованов в креплениям, т.е. с вертикальными стенками, над дренажными трубами следует укладывать песча-

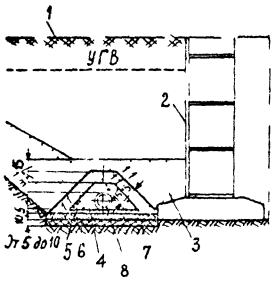


Рис.П.I2. Пристенный дренаж с двухслойной обсыпкой в здании подвала. I - местный грунт; 2 - обмазочная гидроизоляция; 3 - песок с коэффициентом фильтрации не менее 5м/сутки 4 - щебень и высевки; 5 - песок крупнозернистый; 6 - глинобетон; 7 -щебень, втрамбованный в грунт; 8 - асбестоцементная труба.

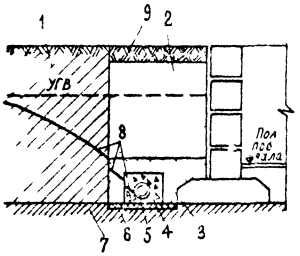


Рис.П.I3. Схема устройства фильтрующей призмы при разработке котлована в креплением:
I - дренируемый грунт в естественном залегании; 2 - песчаная призма; 3 - крупнозернистый песок; 4 - гравий или мелкий щебень; 5 - дренажная труба; 6 - щебень, втрамбованный в грунт; 7 - водоупор; 8 - кривая депрессии; 9 - глиняный экран с отмосткой.

ные призмы (рис.I3а). В случае же разработки котлованов без крепления, т.е. с откосами, необходимо предусматривать наклонную укладку таких призм, т.е. на откосах. В последнем случае пространство между песчаной призмой и наружными стенами защищаемого сооружения засыпаются любым местным (по возможности песчаным) грунтом.

П.84. Дренажные трубы в основании фильтрующих призм снабжаются фильтром из рыхлого или волокнистого материала. Возможно применять также и трубофильтры из пористого бетона (см.ниже, главу Ш).

Взамен призм из рыхлых материалов возможно применение плит из пористого бетона размером I500 x I500 x I50 мм.

П.85. П л а с т о в ы е д р е н а ж и применяют для защиты подвалов отдельных зданий и коммуникаций, когда дно котло-

вана не достигает водоупора и под ним лежат водоносные грунты, применяются также при защите транспортных тоннелей, подземных галерей и резервуаров, каналов-теплопроводов и т.д.; используются также в подземных сооружениях с горячим технологическим процессом (с высокой температурой)-под фундаментами мартеновских и доменных печей и коксовых батарей.

Применение пластовых дренажей особенно эффективно в слабопроницаемых грунтах, где линейные дренажи часто не дают необходимых результатов, а также при наличии в этих грунтах маломощных, хорошо проницаемых прослоек и линз.

П.86. Конструкции пластовых дренажей весьма разнообразны, что зависит от конфигурации защищаемых сооружений. После разработки котлована под здание в его основании укладывают слои из крупнозернистого песка и гравия; подобные же слои насыпают и за наружные стены сооружения (или по откосу котлована). По внутренним контурам сооружения в подстилающем грунте устраивают канавки, в которые часто укладывают дренажные трубы небольшого диаметра, снабженные обратным фильтром с уклоном в сторону водоприемника. Вода, отбираемая дренирующим слоем из грунта, поступает далее в трубы и отводится в водоприемник.

Водоприемником для пристенных и пластовых дренажей может служить водосточная сеть; иногда для этого требуется принудительный отвод воды (перекачка).

Подпольный пластовый дренаж с пристенным можно соединить при помощи чугунных труб (ГОСТ 5525-61*), заполненных гравием или щебнем и пересекающих фундаменты. Если фундамент устроен из отдельных колонн, то подпольный пластовый дренаж соединяют с пристенным иногда непосредственно через дренирующие обсыпки, т.е. без укладки труб.

Конструктивные схемы пластового дренажа подземных сооружений приведены на рис.П.14 и П.15.

П.87. При защите подземных коллекторов и галерей, транспортных тоннелей, каналов-теплопроводов, подземных резервуаров, оснований проездов, земляного полотна трамвайных путей и т.п., лежащих на водоносных грунтах, также следует предусматривать устройство под ними фильтрующих постелей, а с боков, обычно с одной стороны - укладывать дренажные трубы с фильтрующими обсыпками.

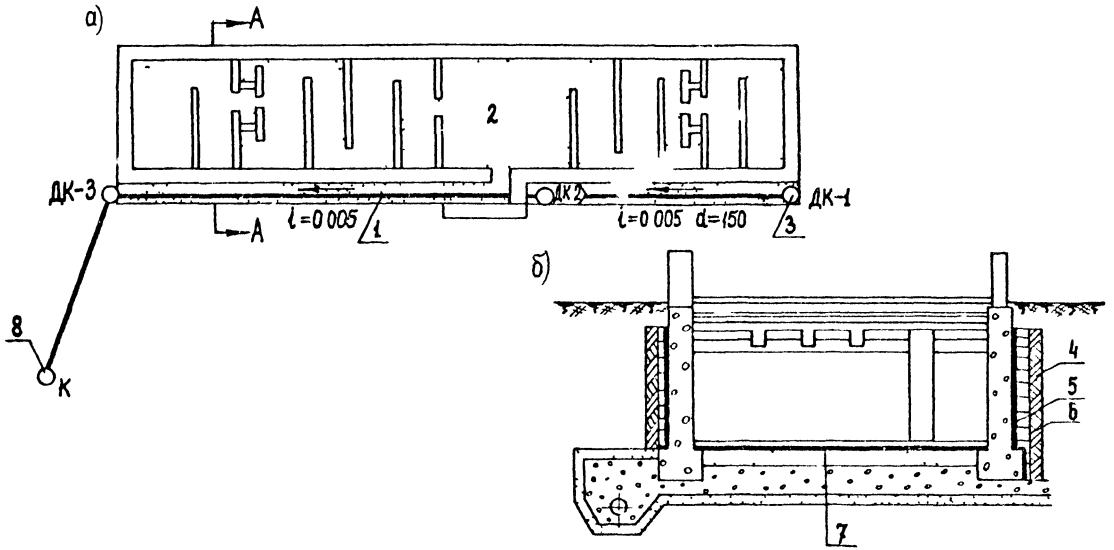


Рис.П.I4. Пластовый дренаж для защиты от подтопления бытовых помещений одного из цехов металлургического завода:

а) план, б) разрез по А-А; I - трубчатая дрена; 2 - пластовый дренаж; 3 - смотровой дренажный колодец; 4 - набивка из мятой глины; 5 - два слоя рубероида на нефтебитумной мастике; 6 - прижимная стенка; 7 - два слоя рубероида на нефтебитумной мастике, бетонная подготовка; крупнозернистый песок 0,5-2,0 мм, гравий 5-I5 мм, крупнозернистый песок 0,5-2,0 мм; 8 - колодец закрытой дождевой сети.

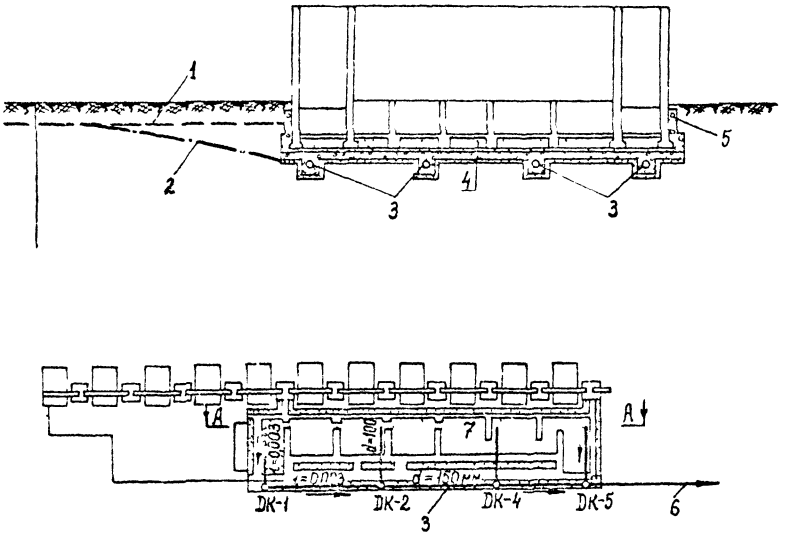


Рис.П.I5. Пластовый дренаж для защиты от подтопления бытовых помещений окрасо-разделочного цеха металлургического завода.

I - непониженный уровень подземных вод; 2 - пониженный уровень подземных вод; 3 - трубчатая дрена; 4 - обратная засыпка, бетонная стяжка, рубероид, песчаная прослойка, гравий, песок; 5 - песчано-гравийная смесь; 6 - выпуск в производственно-дождевую канализацию; 7 - песчаная засыпка.

П.88. При заложении подземных резервуаров ниже уровня грунтовых вод в случае опорожнения возникает опасность их всплывания. Во избежание этого под ними часто устраивают пластовые дренажи.

При защите железобетонных резервуаров пластовые дренажи предохраняют их не только от всплывания, но также и от попадания в них воды.

П.89. Пластовые дренажи можно также применять и для дренирования основания полотна проезжей части дорог и улиц. Это бывает необходимо в тех случаях, когда в основании залегают пылеватые пески, суглинки или супеси, склонные при промерзании к пучению, которое приводит к деформации полотна проезжей части. В этом случае вдоль дороги, сбоку от проезжей части, прокладывают трубчатую дрену, а под самой проезжей частью - дренирующие слои. Водоприемником для такого дренажа обычно служит водосточная сеть.

Дренаж пластового типа применяют также и при дренировании переувлажненных оснований трамвайных путей, когда они сложены из глинистых грунтов, способных под нагрузкой деформироваться и выжимать грунт в межшпаловое пространство, образуя балластные корыта, в которых скапливается вода. От этого происходят перекосы и осадки труб, а в зимнее время - пучение грунта. Чтобы избежать этого, проводят мероприятия по отводу поверхностных вод, а также устраивают пластовый дренаж в виде трубчатой дрены, прокладываемой между путями и дренирующим слоем под ними. Вода из дрены самотеком отводится в водосточную сеть.

§ 8. Вентиляционные дренажи.

П.90. Для осушения переувлажненных глинистых грунтов в основании зданий и сооружений, где роль конденсации влаги в основании фундаментов зданий особенно велика, может быть применен вентиляционный дренаж. Для его осуществления прокладываются специальные трубы из пористого материала, через которые непрерывно продувается воздух (иногда подогретый). Вентиляционный дренаж целесообразно осуществлять одновременно со строительством фундаментов зданий и сооружений. Эффективность его зависит от скорости продуваемого воздуха и его температуры.

§ 9 . Предупреждение утечек из водопроводящих сооружений.

П.91. В целях предупреждения фильтрации из водонесущих коммуникаций - водопроводов, канализации и других-рекомендуется

выполнение специальных мероприятий.

П.92. Основание трубопроводов в траншеях должно быть тщательно уплотнено на глубину 0,4-0,5 м с целью уменьшения фильтрации через слагающие его грунты. На площадках П-го типа грунтовых условий по просадочности толщина уплотненного слоя должна быть увеличена до 0,8-1,0 м, в зависимости от величины возможной просадки основания.

Трубопроводы больших диаметров целесообразно прокладывать в проходных и полупроходных каналах.

П.93. Основания из просадочных грунтов при прокладке параллельно расположенных труб с разрывом между ними менее мощности просадочной толщи должны быть взрыхлены, обработаны битумным материалом и уплотнены. На таких участках должен быть выполнен дренаж аварийных вод в виде фильтрующей подсыпки из гравия или щебня с отводом воды за пределы территории.

П.94. Обратная засыпка траншей должна быть выполнена из местного суглинка с обязательным тщательным послойным уплотнением

П.95. На площадках I-го типа грунтовых условий по просадочности основание траншей под трубопроводы рекомендуется выполнять втрамбованием, что сопровождается достаточным уплотнением дна и стенок траншей (СНиП П-15-74).

П.96. Магистральные трубопроводы в грунтовых условиях П-го типа и в набухающих грунтах следует проектировать и укладывать в одной траншее с сопутствующим дренажом (см.главу Ш).

П.97. Основания градирен, бассейнов, резервуаров и других содержащих воду сооружений должны быть тщательно уплотнены. В просадочных грунтах подготовка оснований должна обеспечить полное устранение просадочных свойств грунтов трамбованием тяжелыми трамбовками или другими способами на глубину, при которой обеспечивается прочность и устойчивость сооружения.

В грунтовых условиях П-го типа по просадочности трамбование грунтов производится после его гидрофобизации битумными или дегтевыми материалами. Для перехвата просочившейся воды под днищами градирен, бассейнов, резервуаров и т.п. устраивается пластовый дренаж с отводом воды за пределы территории предприятия.

П.98. В просадочных и набухающих грунтах рекомендуется применять для водонесущих коммуникаций стальные трубы со стыками сварной конструкции или предварительно напряженные железобетонные трубы и из других прочных материалов с герметичными стыковы-

ия соединениями.

П.99. При устройстве компенсирующих песчаных подушек в набухающих грунтах рекомендуется прокладывать в них пластовый дренаж для отвода возможных утечек или накапливающихся в них вод.

§ 10. Упорядочение отвального хозяйства промышленных предприятий.

П.100. Организация отвального хозяйства промышленного предприятия и план складирования отвалов должны разрабатываться одновременно и в увязке с проектом благоустройства и планировки территории.

П.101. Размещение строительных и производственных отвалов на территории предприятия не допускается. Места складирования твердых промышленных отвалов должны выбираться так, чтобы они не препятствовали естественному стоку поверхностных вод (исключение подпружного эффекта), т.е. преимущественно на отметках более низких по отношению к территории промышленного предприятия.

Места складирования жидких отвалов или уложенных гидравлическим способом должны размещаться таким образом, чтобы возможная фильтрация из них воды или промышленных стоков не вызывала подтопления и загрязнения грунтовых вод.

П.102. Производственные отвалы, укладываемые гидравлическим способом, должны быть оборудованы искусственным дренажом для отвода отработанных вод.

П.103. Поверхность производственных твердых отвалов должна быть спланирована, а в необходимых случаях на них должна быть организована сеть водоотводных лотков или канав.

П.104. При проектировании мест складирования твердых и жидких стоков предприятий металлургической, угольной, теплоэнергетической, горнорудной промышленности, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и т.п. (шламонакопители, хвостохранилища, гидрозолоотвалы, "белые моря", пруды-накопители, поля фильтрации и т.п.) необходимо учитывать возможность загрязнения подземных вод и в связи с этим предъявлять к организации отвального хозяйства таких предприятий и защите грунтовых вод от фильтрации в них различных загрязняющих компонентов из промышленных стоков особые требования.

§ 11. Технико-организационные мероприятия.

П.105. Строгое соблюдение норм застройки территории в соот-

ветствии с требованиями СНиП II-М.I-71 (приложение: наименьшая площадь застройки территории промышленных предприятий) для различных отраслей промышленности является необходимой предпосылкой для предупреждения подтопления.

П.106. Своевременное (до начала строительства) выполнение вертикальной планировки территории промышленного предприятия является обязательным условием, т.к. ее отсутствие к моменту застройки приводит к усиленной инфильтрации поверхностных вод, вследствие нарушения их естественного стока.

П.107. Также обязательно проведение тщательного уплотнения планировочных подсыпок и обратных засыпок траншей и котлованов, в целях уменьшения возможности инфильтрации поверхностных вод и конденсации водяных паров в грунтах с нарушенной структурой

П.108. Устройство водосточной сети следует проводить одновременно с вертикальной планировкой территории. Отсутствие организованного стока поверхностных вод приводит к инфильтрации их в грунты планировочной подсыпки и в грунты естественной структуры при планировке срезкой. При этом снятие почвенного и растительного покрова, обнажение при срезке поверхности грунта способствуют инфильтрации воды.

П.109. Уплотнение срезанной поверхности грунта при планировке срезкой в макропористых грунтах, в целях снижения возможной инфильтрации в них поверхностных вод и последующего замачивания, ведущего к проявлению их просадочных свойств, является обязательным.

П.110. При строительстве нулевого цикла (закладка фундаментов, прокладка коммуникаций и т.п.) не следует допускать разрывов во времени между земляными и общестроительными работами. Открытые котлованы и траншеи являются коллекторами поверхностных вод и способствуют инфильтрации их в грунты.

П.111. С целью предупреждения стока поверхностных вод в котлованы и траншеи и их последующей инфильтрации в грунт следует предусматривать устройство отводных канавок и ограждающих валиков.

П.112. При отсыпке грунтовых подушек в основании зданий и сооружений до требуемой плотности, а также обратных засыпок котлованов и траншей необходимо производить тщательное послойное уплотнение грунтов.

Подготовка дна траншей для водопроводящих коммуникаций выполняется путем трамбования тяжелыми трамбовками, а в макропористых грунтах-путем пропитки гидрофобными материалами и т.п.

П.113. В целях уменьшения возможности инфильтрации в грунт дождевых и талых вод необходим постоянный контроль за работой и состоянием системы водосточной и дренажной сетей.

С той же целью осуществляется тщательный контроль за утечками из водопроводящих коммуникаций и емкостей и их своевременный ремонт. Для этого необходимо:

- организовать учет подаваемой насосными станциями и расходуемой потребителями воды путем установки соответствующих счетчиков и расходомеров;

- установить в колодцах задвижки для выключения отдельных участков водопроводной сети на время ремонта или повреждения;

- установить вантузы на самых высоких точках сети для выпуска этой сети воздуха;

- установить предохранительные клапаны для предотвращения гидравлических ударов в сети;

- врезать специальные штуцера на водоводах при наличии стальных труб для измерения давления;

- производить периодический осмотр и проверки сооружений водного хозяйства предприятия;

- своевременно выполнять текущий и капитальный ремонт водопроводной сети и сооружений (см.Инструкцию по борьбе с утечками и потерям воды на городских водопроводах. Москва, 1973 г.).

П.114. Необходима тщательная герметизация стыков трубопроводов водонесущих коммуникаций (заделка стыков путем устройства водонепроницаемой шпонки). При этом сопряжение труб с кирпичной кладкой не должно устраиваться жестким, стенки колодцев не должны ставиться на трубы во избежание их поломки; основания под трубы и днища колодцев должны устраиваться до опускания труб в траншею; укладка труб на уклонах должна производиться раструбом вверх; т.е. снизу вверх; в местах поворота труб обязательно должны устраиваться упоры.

П.115. Допускаемые величины утечек из напорных трубопроводов при их гидравлических испытаниях не должны выходить за пределы, указанные в СНиП Ш-30-74.

П.116. Ликвидация возможных аварийных утечек должна производиться в кратчайшие сроки.

П.II7. Следует производить сброс и отвод всех производственных стоков только в промышленную канализацию, сокращая при этом их размер.

П.II8. Должен быть запрещен бесконтрольный полив зеленых насаждений, так как излишние поливные воды инфильтруются в грунт и пополняют грунтовые воды. Расход воды на полив насаждений не должен превышать величин, предусмотренных СНиП II-3I-74 .

П.II9. Необходимо своевременно производить очистку территории от снега и вывоз его за ее пределы, т.к. задержка снега и его таяние приводит к инфильтрации значительной части талых вод в грунт и пополнению ими грунтовых вод.

П.I20. Во избежание затруднения стока поверхностных вод следует запретить скопление земляных масс, строительных отходов и т.п. на территории предприятия.

ГЛАВА Ш. ЗАЩИТНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

§ I. Предварительные замечания.

Ш.I. Защитные мероприятия при борьбе с подтоплением промышленных площадок необходимо осуществлять на тех объектах, где подтопление интенсивно развивается или уже достигло предельного своего положения.

В состав таких мероприятий входит осуществление комплекса защитных сооружений и устройств, предназначаемых:

а) для общего понижения уровней грунтовых вод на всей промплощадке или на отдельных ее участках;

б) для локальной защиты подземных частей зданий, сооружений и коммуникаций от подтопления и увлажнения.

Ш.2. Защитные сооружения и устройства, предназначенные для общего понижения уровней грунтовых вод, направлены на регулирование уровенного их режима с целью предотвращения подтопления заглубленных объектов и создания благоприятной санитарной обстановки на территории промышленного предприятия.

Ш.3. Исходя из санитарных требований, глубина залегания грунтовых вод в условиях любой застройки должна быть не менее 2 м от поверхности земли; такая глубина обычно отвечает и требованиям предохранения пучения пылеватых и глинистых грунтов, служащих основанием для дорожных покрытий проездов и дорог.

Ш.4. Основными видами подземных сооружений и коммуникаций на промышленных предприятиях, нуждающихся в защите от подтопления, являются: фундаменты и подвалы зданий, тоннели и подземные галереи теплофикационные каналы, борова дымовых труб, подземные части коксовых батарей, мартеновских печей и т.п.

Для обеспечения защиты перечисленных сооружений от подтопления необходимо, чтобы пониженный в результате регулирования уровень грунтовых вод располагался ниже их основания не менее чем на 0,5 м. В сооружениях с высоким температурным режимом часто необходима также защита от воздействия капиллярной влаги.

Ш.5. Локальная защита сооружений и коммуникаций должна быть направлена на недопущение проникновения в них грунтовых вод, а иногда также и на предохранение их от увлажнения (борьба с сыростью).

Защите от грунтовых вод подлежат все здания и сооружения (а частично также и коммуникации, не допускающие подтопления и увлажнения), заглубленные ниже их уровня.

Ш.6. Для общего понижения уровней грунтовых вод на промплощадках в основном следует применять дренажные системы, а в качестве вспомогательных мер защиты - противофильтрационные устройства, предназначаемые для преграждения поступления на промплощадку грунтовых и фильтрационных вод со стороны.

Ш.7. Для защиты отдельных зданий, сооружений и коммуникаций следует применять локальные дренажи, иногда в сочетании с противофильтрационными устройствами.

Ш.8. Для защиты от увлажнения отдельных сооружений, основания которых расположены выше уровня грунтовых вод, можно применять внутреннюю гидроизоляцию.

Ш.9. Защитные сооружения и устройства классифицируются по характеру их действия, назначению, схемам расположения и конструктивным признакам.

По характеру отбора воды из грунта защитные сооружения делятся на гравитационные дренажи, принимающие воду из грунта под действием силы тяжести, и дренажи с принудительным водоотбором (вакуумные, вентиляционные, электродренажи и др.).

Ш.10. Защитные дренажи по назначению могут быть сооружениями и устройствами:

а) перехватывающими поток грунтовых вод;

б) понижающими уровни грунтовых вод;

в) снижающими влажность грунтов.

Ш.II. По расположению в плане защитные дренажи могут быть подразделены на:

а) перехватывающие системы - головные, береговые и отсечные дренажи (см.главу П-ю);

б) площадные системы - в виде параллельно расположенных или взаимно пересекающихся линий, так называемые "систематические дренажи",

в) кольцевые (контурные) системы, дрены которых располагаются вокруг защищаемых сооружений и образуют замкнутый контур.

Все перечисленные выше дренажные системы располагаются по линиям и поэтому называются также линейными.

В отличие от линейных дренажей следует еще различать "плоскостные" дренажи, которые перехватывают грунтовые воды по всей фильтрующей площади - так называемые "пластовые" и "пристенные" дренажи (см.главу П-ю).

Ш.I2. По конструктивным признакам защитные дренажи могут быть подразделены на:

а) горизонтальные, трубчатого и галерейного типов;

б) вертикальные;

в) комбинированные;

г) лучевые.

Ш.I3. Противофильтрационные завесы по характеру действия относятся к устройствам, преграждающим движение грунтовых вод и влаги к защищаемым объектам (см.главу П-ю).

Они должны располагаться выше по потоку грунтовых вод от защищаемого участка или "отсекать" потоки в непосредственной близости от источников обводнения (т.е. вблизи водоемов, шламохранилищ, различного рода накопителей и т.п.), образуя отсечные системы.

Иногда завесы располагаются по контурам защищаемых объектов и используются в сочетании с кольцевым дренажом, образуя контурные системы.

Ш.I4. Внутренняя гидроизоляция устраивается непосредственно на внутренней поверхности защищаемого сооружения с целью борьбы с сыростью подвальных помещений в существующих сооружениях.

§ 2. Мероприятия по общей защите промплощадок от подтопления грунтовыми водами.

Ш.I5. Мероприятия по общему понижению уровней грунтовых вод применяются в тех случаях, когда на промплощадках располагается большое количество сооружений и коммуникаций и все они нуждаются в защите от подтопления грунтовыми водами.

В этом случае при наличии интенсивно распределенного по площади инфильтрационного питания грунтовых вод (или их питания за счет напорных вод) обычно применяются площадные системы защитного дренажа.

Ш.I6. При наличии же мощного бокового притока грунтовых вод на промплощадку устраиваются перехватывающие (отсечные) системы защитного дренажа: береговые - в случае притока со стороны водоемов и головные - в случае притока со стороны водораздела. В целях уменьшения величины дренажного стока (в особенности если дренаж работает с перекачкой дренажных вод), а также повышения дренирующего действия системы последние используются в едином комплексе с противофильтрационными завесами.

Ш.I7. При разработке систем общей защиты промплощадок от подтопления должны решаться следующие основные задачи: выбор схемы расположения защитных сооружений в плане и выбор их конструкций.

При правильном выборе схемы и конструктивных типов сооружений будет обеспечено заданное регулирование уровней грунтовых вод по высоте и по площади. При этом эффективность действия системы оценивается на основе гидрогеологических расчетов (см.главу IУ).

Ш.I8. Для правильного выбора схемы расположения защитных сооружений и их конструкций необходимо разрабатывать несколько вариантов и оценивать степень их рациональности по основным технико-экономическим показателям.

Ш.I9. При назначении вариантов системы защиты необходимо иметь ввиду следующее:

а) защитные сооружения должны назначаться с учетом как существующей, так и проектируемой застройки;

б) необходимо учитывать особенности рельефа местности и возможности использования для дренирования естественной гидрографической сети;

в) понижение уровней грунтовых вод на защищаемой территории не должно сопровождаться неблагоприятными последствиями, например, снижением производительности водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения, увеличением фильтрационных потерь из искусственных водоемов.

В случае невозможности избежать этого следует учитывать приносимый ущерб в технико-экономических расчетах;

г) необходимо рассматривать возможность и целесообразность использования дренажных вод для нужд водоснабжения промпредприятия;

д) выбранный вариант защиты должен быть экономичным не только по сравнению с другими вариантами, но и с другими возможными способами защиты.

Вместе с тем его экономичность должна быть также сопоставлена и с возможным ущербом от подтопления.

...20. Схема защитных сооружений выбирается так, чтобы она наиболее эффективно учитывала основные причины подтопления, а именно:

а) подпор грунтовых вод гидротехническими сооружениями;

б) приток грунтовых вод с вышележащих территорий, так называемый "боковой приток";

в) локальные источники питания грунтовых вод на защищаемой территории или вблизи нее (разного рода накопители и шламохранилища);

г) распределенное по площади питание грунтовых вод на защищаемой территории и в окружающей ее зоне.

Ш.21. На выбор схемы дренажа влияет форма и размер защищаемой территории, ее положение в районе, удаленность от основных источников питания и от естественных дрен, характер движения грунтовых вод в плане, геологическое строение и гидрогеологические условия промплощадки и прилегающего к ней района.

Ш.22. При подпоре грунтовых вод промплощадку необходимо защищать со стороны берега водоема или водотока. Для этой цели может быть применен береговой дренаж, расположенный между берегом водоема и защищаемой промплощадкой. В целях уменьшения притока воды к такому дренажу дренажную линию следует по возможности удалять от береговой линии. В случае высокой проницаемости грунтов в тех же целях рекомендуется предусматривать устройство противофильтрационной завесы между дренажом и береговой линией.

(рис.Ш.I).

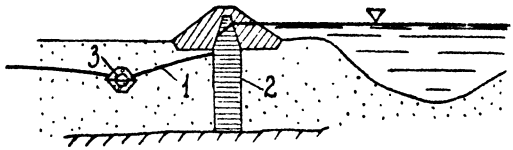


Рис.Ш.I. Комбинация берегового дренажа с противофильтрационной завесой.
I - кривая депрессии; 2 - противофильтрационная завеса; 3 - горизонтальный береговой дренаж.

Ш.23. Береговым дренажом следует защищать узкие вытянутые вдоль берега площадки (рис.Ш.2а) или широкие площадки в прибрежной зоне. В последнем случае необходимо учитывать, что концевые участки дренажа вследствие возникновения обходной фильтрации могут не дать требуемого водозащитного эффекта. Поэтому дренажную линию приходится или выводить за боковые площадки, или же предусматривать специальные ответвления от основной дрены вдоль боковых границ (рис.Ш.2б).

Ш.24. Небольшие промплощадки, в особенности если они удалены от берега водоема, часто целесообразно защищать кольцевыми дренажами во избежание обходной фильтрации (рис.Ш.2в).

Ш.25. В случае притока грунтовых вод с вышележащей территории (со стороны водораздела) промплощадку следует защищать головным дренажом, который располагается по верхней ее границе и предназначается для перехвата этих вод (рис.Ш.3а). В зависимости от соотношения размеров промплощадки и фронта фильтрационного потока головная дрена может иметь различную плановую конфигурацию (рис.Ш.3б).

Ш.26. При наличии распределенного инфильтрационного питания грунтовых вод в однородных пластах относительно небольшой мощности и хорошей проницаемости следует применять систематический дренаж горизонтального типа (рис.Ш.4а), а при большой его мощности - систематический дренаж вертикального типа. В этом случае, при очень большой плотности застройки промплощадки иногда систематический дренаж заменяется системой кольцевых дренажей, объединенных в общий коллектор (рис.Ш.4б).

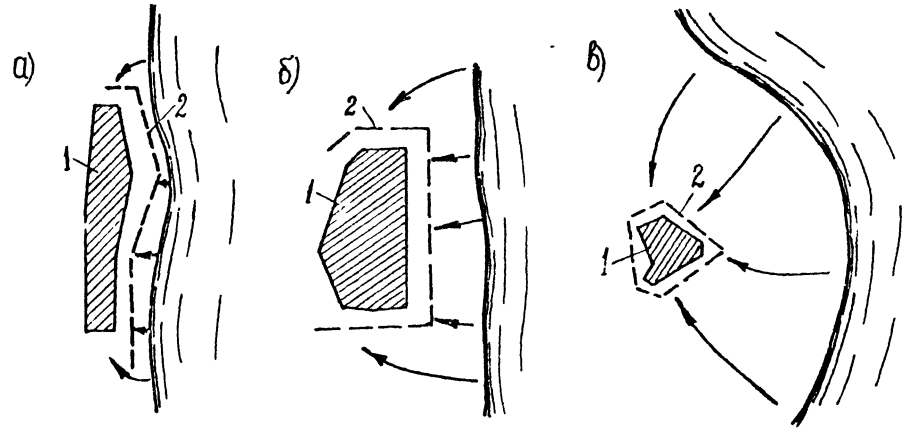


Рис.Ш.2. Схема защитных дренажей для общего понижения уровней грунтовых вод в прибрежной зоне водохранилища.
а) береговой линейный дренаж; б) береговой дренаж с ответвлениями;
в) кольцевой дренаж;
I - защищаемая территория; 2 - трасса дренажа.

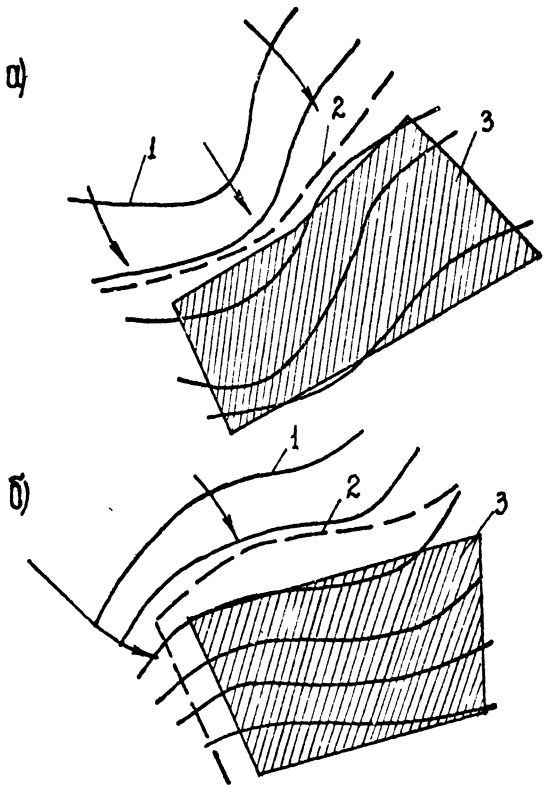


Рис.Ш.3. Схемы защиты промплощадок при наличии притока воды со стороны водораздела.
а) головная линейная дрена; б) головная линейная дрена с ответвлениями;
1 - гидроизогипсы; 2 - дренаж; 3 - промплощадка.

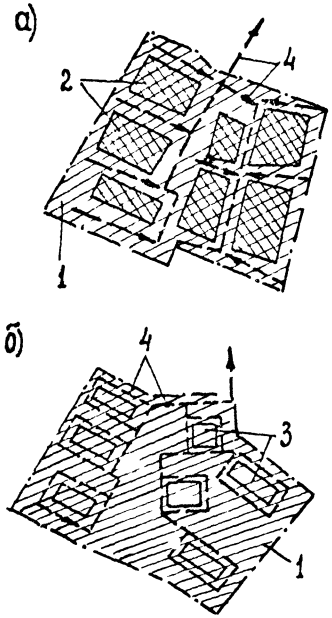


Рис.Ш.4. Схемы систематических дренажей:
а) система линейных дренажей; б) система кольцевых дренажей;
I - защищаемая территория; 2 - кварталы застройки;
3 - отдельные здания; 4 - дренажные линии.

Ш.27. При двухслойном строении промплощадки и относительно высокой проницаемости нижнего слоя целесообразно рассмотреть вариант снижения напоров в нижнем слое при помощи систематического или кольцевого дренажа вертикального типа. Нижний слой в данном случае выполняет роль естественной дрены для грунтовых вод, содержащихся в верхнем более слабопроницаемом слое. Поэтому понижение напоров в нижнем слое должно вызвать соответствующее снижение уровней в верхнем слое. При неоднородном строении верхнего слоя на относительно слабопроницаемых прослойках могут образовываться локальные водоносные горизонты, гидравлически не связанные с потоком в нижнем хорошо проницаемом слое. В этом случае необходимо переходить на систематический дренаж комбинированного типа, прорезающий как верхний, так и нижний слои пласта, либо создавать независимые системы дренажа в верхнем и нижнем слоях пласта.

Ш.28. Конструктивный тип дренажа выбирается в зависимости от его заглубления относительно поверхности земли. Обычно выполнение горизонтального дренажа открытым (траншейным) способом экономически целесообразно на глубину не более 6-8 м. На плотнозастроенных территориях эта глубина по условиям сохранения устойчивости оснований близрасположенных сооружений должна быть еще меньшей. Горизонтальные дренажи необходимо закладывать ниже глубины промерзания грунтов.

Ш.29. Горизонтальные дренажи, сооружаемые открытым способом применяются в однослойных пластах (рис.Ш.5а). При двухслойном строении пласта горизонтальный дренаж применяется в тех случаях, когда он может быть заглублен в нижний более проницаемый слой (рис.Ш.5б). В противном случае применяется комбинированный дренаж (рис.Ш.5в).

Ш.30. Вертикальный дренаж может быть применен как при однослойном, так и при двухслойном строении пласта (рис.Ш.5г,д), если пласт обладает хорошей водопроницаемостью. При двухслойном строении пласта скважина обязательно должна быть заглублена в нижней более проницаемый слой (рис.Ш.5д). Обычно вертикальный дренаж применяют в тех случаях, когда необходимо более глубокое понижение уровня грунтовых вод, чем это можно достичь с помощью горизонтального или комбинированного дренажа.

Ш.31. Во всех случаях при проектировании защитного дренажа на промплощадках необходимо учитывать возможность использования естественной дренажной сети.

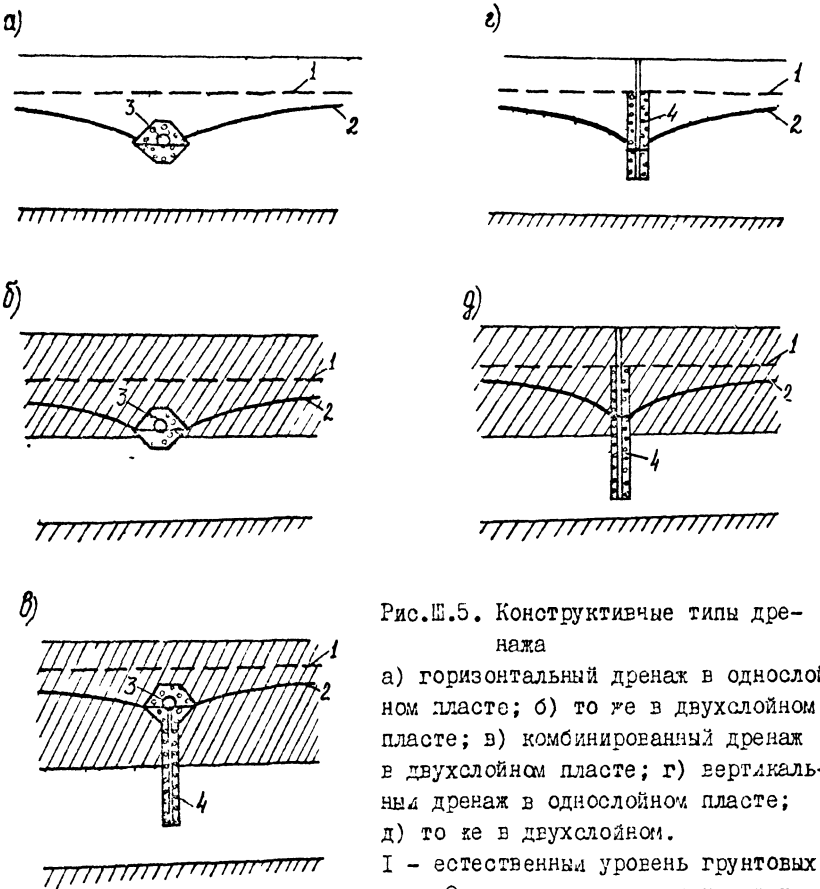


Рис.Ш.5. Конструктивные типы дренажа

а) горизонтальный дренаж в однослойном пласте; б) то же в двухслойном пласте; в) комбинированный дренаж в двухслойном пласте; г) вертикальный дренаж в однослойном пласте; д) то же в двухслойном.

I - естественный уровень грунтовых вод; 2 - пониженный уровень грунтовых вод; 3 - трубчатая дрена с фильтровой обсыпкой; 4 - скважина с фильтровой обсыпкой.

При размещении дренажа в плане следует использовать благоприятные условия рельефа и гидрогеологических особенностей, а именно - дренаж следует трассировать по понижениям рельефа.

Дренаж должен прокладываться, по возможности, по территории не подлежащей застройке - по улицам, проездам и т.п.

§ 3. Мероприятия по локальной защите сооружений и коммуникаций от подтопления грунтовыми водами

Ш.32. Локальную защиту сооружений от подтопления следует применять в тех случаях, когда мероприятия по общей защите промплощадок от подтопления не предусматриваются, не могут быть осуществлены или когда их эффект на отдельных участках территории оказывается недостаточным.

В этих случаях все подвальные помещения зданий, а также сооружения и коммуникации, расположенные ниже уровня грунтовых вод, нуждаются в локальной защите от подтопления.

Ш.33. Для локальной защиты сооружений от подтопления применяются следующие защитные сооружения и устройства (рис.Ш.6):

а) горизонтальные линейные дренажи - однолинейные, двухлинейные и кольцевые;

б) вертикальные дренажи;

в) лучевые дренажи;

г) противофильтрационные завесы;

д) защитные гидроизоляции.

Ш.34. Однолинейные и двухлинейные дренажи применяются для защиты подземных сооружений, коммуникаций, тоннелей и пр.

Ш.35. Кольцевые дренажи применяются для защиты отдельных зданий и сооружений. Они располагаются по внешнему контуру защищаемых объектов, образуя замкнутое кольцо. При этом кольцевой дренаж не примыкает непосредственно к защищаемым сооружениям, а несколько удален от них. Благодаря этому кольцевые дренажи могут применяться не только для дренирования участков нового строительства, но также и для защиты уже построенных ранее зданий и подземных сооружений.

Ш.36. Для защиты территории от локальных источников питания грунтовых вод (отстойники, накопители промстоков, брызгальные бассейны и т.д.), фильтрация из которых вызывает интенсивное питание грунтовых вод, могут найти применение как противофильтрационные завесы, так и контурные дренажи (рис.Ш.7).

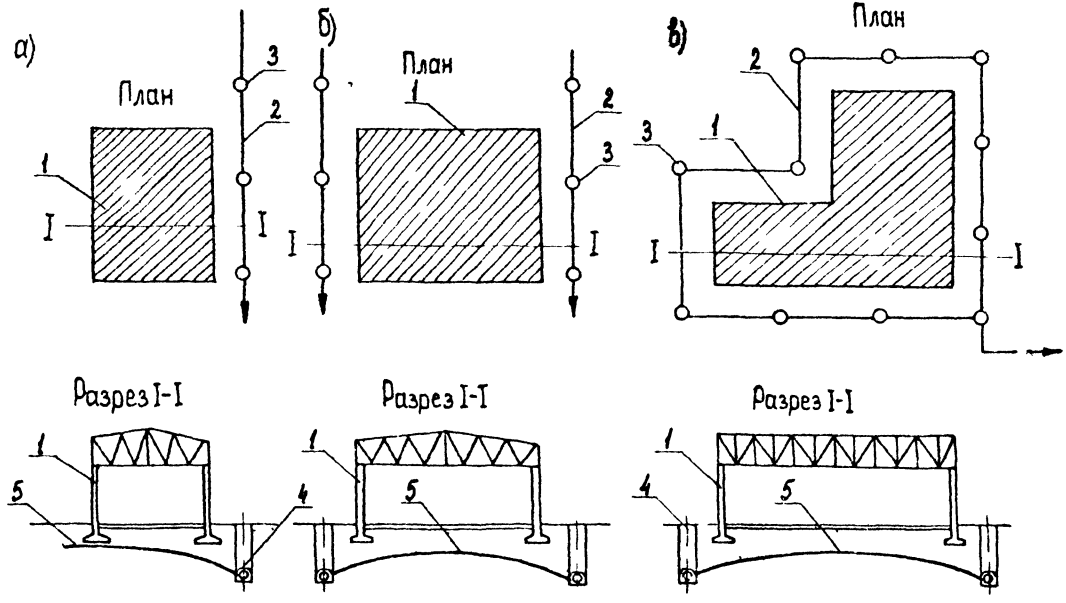


Рис.Ш.6. Системы локальных дренажей.

а) однолинейная; б) двухлинейная, в) кольцевая.

I - защищаемое сооружение; 2 - трасса дренажа; 3 - смотровой колодец; 4 - дренаж; 5 - кривая депрессии.

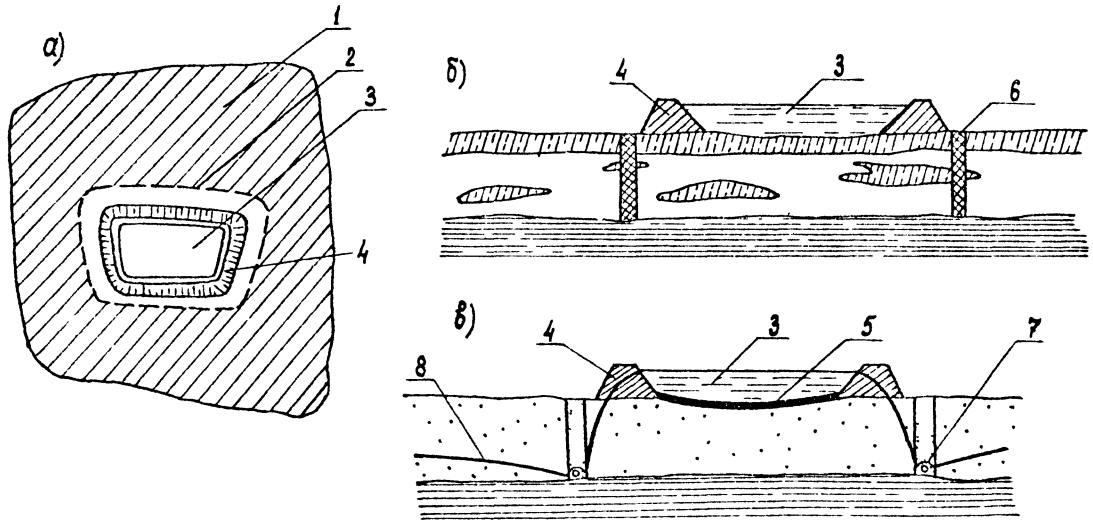


Рис.Ш.7. Схемы защиты промплощадок от локальных источников питания грунтовых вод.
а) общая схема защиты в плане; б) схема защиты с помощью завесы; в) схема защиты с помощью дренажа; I - защищаемая территория; 2 - трасса завесы или дренажа; 3 - источник питания; 4 - дамба обвалования; 5 - противофильтрационный экран; 6 - противофильтрационная завеса; 7 - дренаж; 8 - сниженный уровень грунтовых вод.

Ш.37. Горизонтальные дренажи в качестве локальной защиты целесообразно применять для понижения уровня грунтовых вод внутри контура защищаемого сооружений в однородных пластах относительно небольшой мощности, располагая их на водоупоре.

Ш.38. Вертикальные дренажи целесообразно применять для тех же целей в двухслойных пластах, когда нижний пласт имеет сравнительно большую мощность и более высокую проницаемость, чем верхний.

Их целесообразно также применять для защиты от подтопления небольших по площади сооружений в относительно мощных и хорошо проницаемых пластах, а также в слоистых пластах. При наличии верхнего слоя большой мощности следует применять комбинированные дренажи.

Ш.39. Вертикальные дренажи можно располагать как внутри сооружения (рис.Ш.8а), так и с его внешних сторон (рис.Ш.8б). При этом вертикальный дренаж в плане может представлять группы несимметрично расположенных скважин или линейные и кольцевые системы.

Ш.40. Лучевые дренажи представляют собой установку, состоящую из шахтного колодца и группы радиально расположенных лучей-горизонтальных скважич. Они могут применяться в основном для понижения уровня грунтовых вод на участках уже построенных сооружений.

Ш.41. Защитные гидроизоляции применяются, главным образом, для защиты уже построенных сооружений от капиллярного увлажнения. Они устраиваются на внутренней их поверхности.

§ 4. Конструкции защитных дренажей.

а) Горизонтальные дренажи трубчатого типа.

Ш.42. Конструкции горизонтальных дренажей трубчатого типа весьма разнообразны.

Они зависят от способа производства работ, а также от того, прокладываются ли они в отдельной траншее или же в общей траншее, совмещаясь с другими подземными сооружениями.

По условиям производства работ различают траншеи с вертикальными стенками и в откосах. Траншеи с вертикальными стенками применяют, главным образом, в условиях большой плотности застройки, при этом возникает необходимость в их креплении.

При не очень плотной застройке применяют траншеи с откосами,

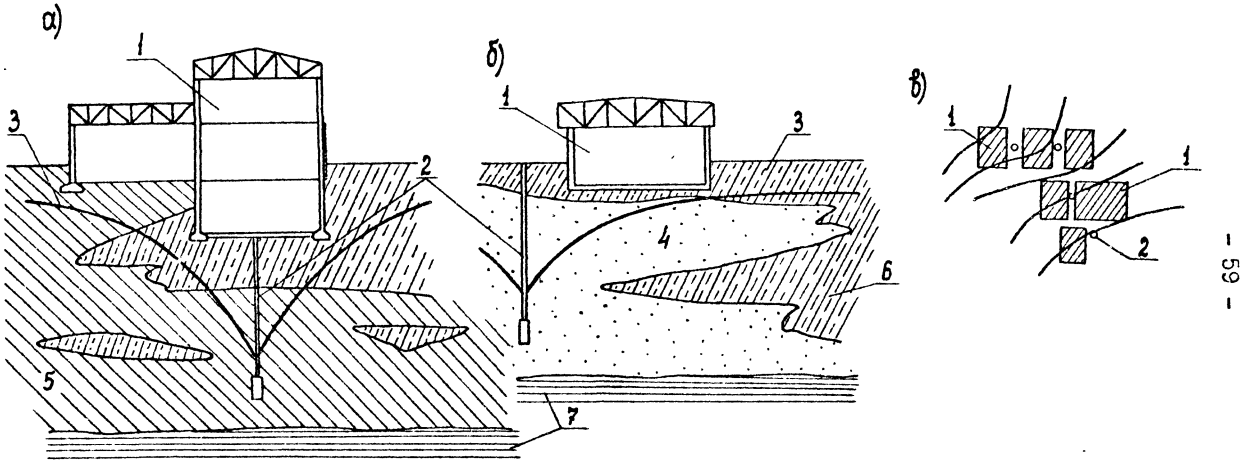


Рис.Ш.8. Схемы расположения вертикальных дренажей.
а) одиночная скважина или линейный ряд скважин, расположенных внутри защищаемого сооружения; б) линейный ряд скважин, расположенных вблизи внешнего контура защищаемого сооружения; в) группа скважин, несимметрично расположенных на защищаемом участке; I - защищаемые сооружения; 2 - вертикальный дренаж; 3 - кривая депрессии:, 4 - песок; 5 - супесь; 6 - суглинок; 7 - глина.

что позволяет полностью механизировать проходку и избавляет от необходимости крепления.

Ш.43. На рис.Ш.9-Ш.I2 приведены наиболее типичные конструкции горизонтальных дренажей трубчатого типа с различными формами обсыпок, укладываемые как в отдельные траншеи, так и совмещенные с трубопроводами подземных сооружений.

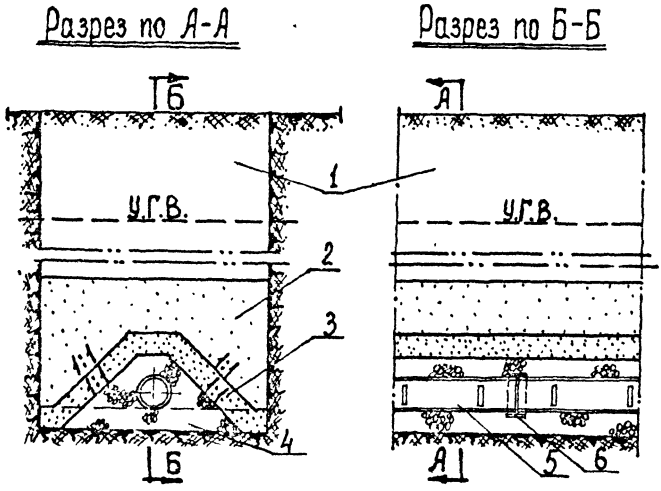


Рис.Ш.9. Конструкция горизонтального дренажа трубчатого типа с вертикальными стенками
I - обратная засыпка местным грунтом; 2 - обратная засыпка песчаным грунтом; 3 - слой обратного фильтра из крупнозернистого песка; 4 - то же из гравия или щебня; 5 - дренажная асбестоцементная труба; 6 - асбестоцементная муфта.

Ш.44. В традиционных конструкциях горизонтальные трубчатые дрены представляют собой сочетание дренажных труб с рыхлыми фильтрующими обсыпками из одного или нескольких слоев.

Их устройство требует наличия вблизи строительной площадки отсортированного материала, который не всегда имеется, поэтому в настоящее время начинают применяться также конструкции, представляющие собой сочетание дренажных труб с обертками из минеральных волокнистых материалов и трубы с пористой фильтрующей поверх-

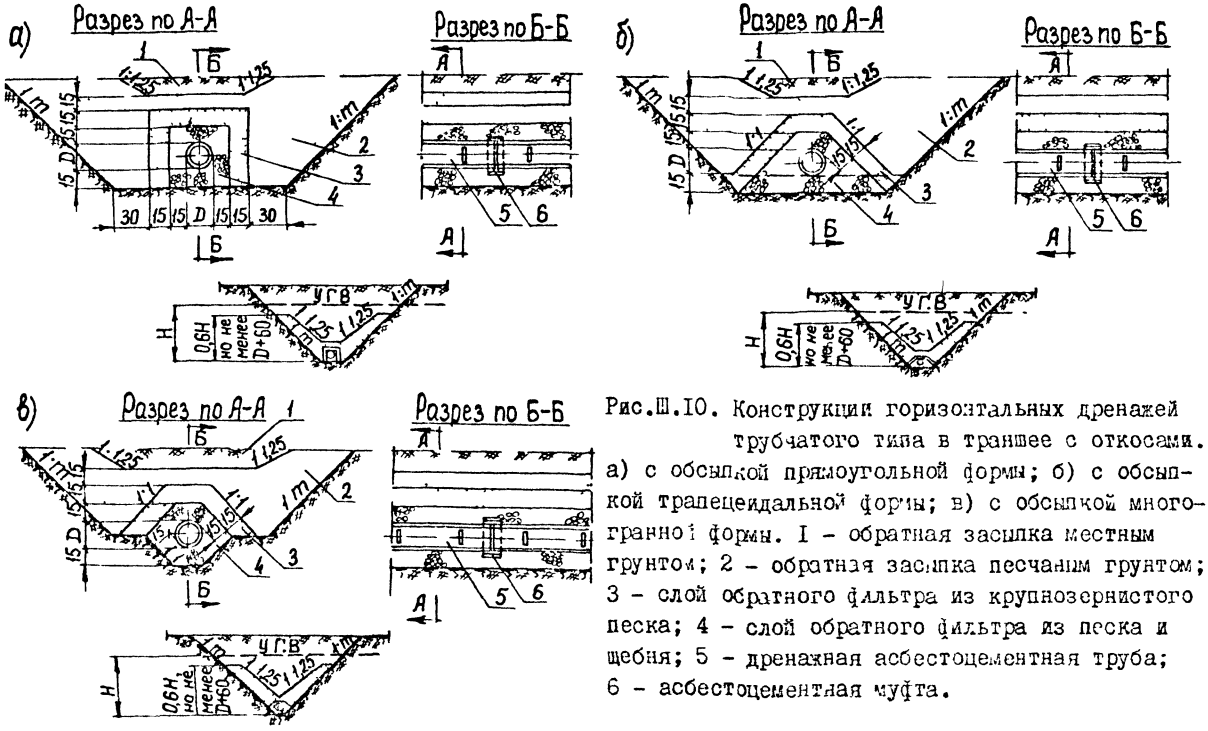
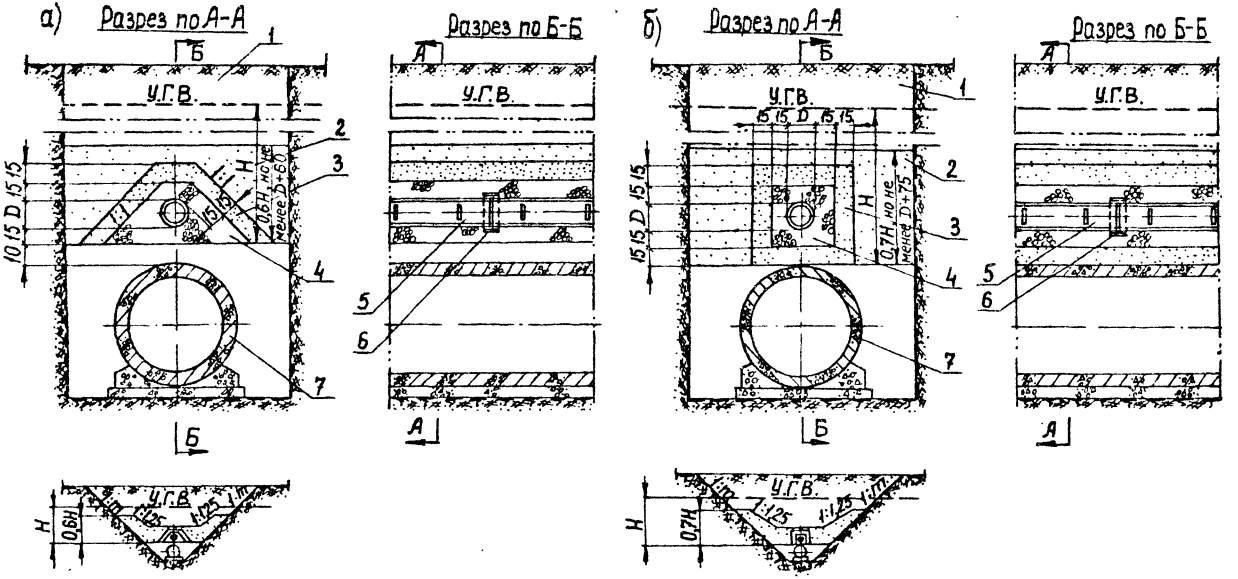


Рис.Ш.10. Конструкции горизонтальных дренажей трубчатого типа в траншее с откосами. а) с обсыпкой прямоугольной формы; б) с обсыпкой трапецеидальной формы; в) с обсыпкой многогранной формы. I – обратная засыпка местным грунтом; 2 – обратная засыпка песчаным грунтом; 3 – слой обратного фильтра из крупнозернистого песка; 4 – слой обратного фильтра из песка и щебня; 5 – дренажная асбестоцементная труба; 6 – асбестоцементная муфта.


а)
Разрез по А-А
Разрез по Б-Б
б)
Разрез по А-А
Разрез по Б-Б
У.Г.В.
Б
А
1
2
3
4
5
6
7
H
0,6H
0,7H, но не менее D+75
1:1
1:1,25
1:1,5
1:2
1:1,75
1:1,25
1:1,5
1:1,75
1:2
1:1,25
1:1,5
1:1,75
1:2
1:1,25
1:1,5
1:1,75
1:2

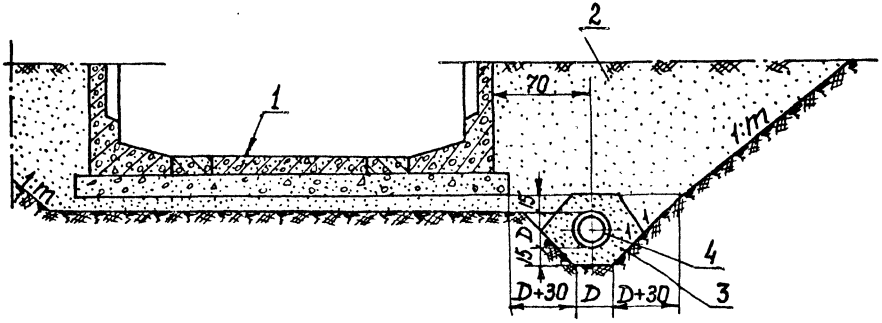


Рис.Ш.I2. Конструкция горизонтального дренажа трубчатого типа для защиты тоннеля или подземного перехода.

I - тоннель; 2 - песчаный слой; 3 - обратный фильтр; 4 - дренажная труба.

ностью, так называемые "трубофильтры".

Ш.45. В конструкциях, представляющих собой сочетание труб с фильтрующими обсыпками, водопроводящим элементом являются дренажные трубы, а элементом, принимающим воду из грунта - рыхлые фильтрующие обсыпки или минеральные волокнистые материалы.

В конструкциях дренажей с применением трубофильтров роль водопроводящей трубы и фильтра выполняется самим трубофильтром.

Ш.46. В промышленном строительстве находят наибольшее применение следующие разновидности дренажных труб:

а) керамические,

б) асбестоцементные,

в) бетонные,

г) железобетонные,

д) гибкие витые поливинилхлоридные,

е) трубофильтры из пористого бетона на плотных заполнителях

ж) трубофильтры из пористого полимербетона.

Ш.47. Керамические, гибкие витые поливинилхлоридные трубы и трубофильтры из пористого полимербетона возможно применять в минерализованных грунтовых водах, агрессивных по отношению к бетону.

Ш.48. Бетонные, железобетонные и асбестоцементные трубы и трубофильтры из пористого бетона следует применять в неагрессивных по отношению к бетонам средам.

Ш.49. Гибкие витые поливинилхлоридные трубы можно применять в любых средах, но при температурах окружающего грунта и воды, не превышающей 40°С.

Ш.50. По условиям прочности допускаются следующие максимальные глубины заложения труб в траншеи с засыпкой грунтом:

керамические дренажные	∅ 150-200 мм	3,5 м
	300 мм	3,0 м
керамические канализационные	∅ 150 мм	7,5 м
	200 мм	6,0 м
	250 мм	5,5 м
	300 мм	5,0 м
бетонные	∅ 200 мм	4,0 м
	300 мм	3,5 м

Трубофильтры из пористого полимербетона можно укладывать на глубину до 5 м, а трубофильтры из пористого бетона на плотных заполнителях - свыше 8 м. Конкретные значения максимального заглубления этих трубофильтров определяется расчетом в соответствии с

указаниями в "Рекомендациях по проектированию и расчетам горизонтальных дренажей с применением трубофильтров из пористого бетона", 1973 (ВНИИ ВОДГЕО).

Глубина заложения в грунт асбестоцементных труб зависит от степени ослабления их перфорацией и также определяется расчетом в соответствии с указаниями в пособии "Кольцевые дренажи в промышленном и городском строительстве", Стройиздат, М., 1971.

Гибкие витые трубы из поливинилхлорида в зависимости от сочетания полосы можно укладывать на глубину до 4-7 м (рис.Ш.13 и табл.Ш.1 и Ш.2).

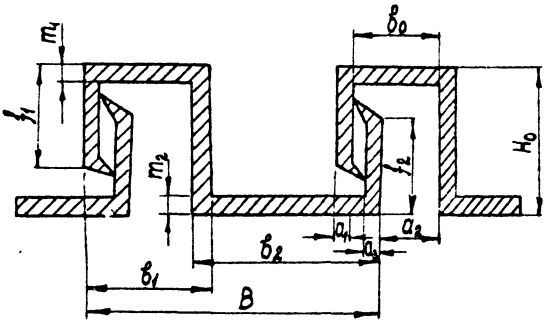


Рис.Ш.13. Схема сечения полосы гибких витых поливинилхлоридных труб.

Таблица Ш.1

Сортамент и геометрические размеры(в мм) сечения полосы гибких поливинилхлоридных труб для укладки на глубину до 4м

Элементы сечения	Внутренние диаметры труб, мм				
	100	125	150	200	250
1	2	3	4	5	6
a_1	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0
a_2	1,0	1,0	1,2	1,4	2,2
a_3	1,0	0,8	0,8	1,0	1,0
b_1	7,5	7,5	8,3	11,9	17,4
b_0	5,5	5,6	6,3	9,5	14,4

Продолжение таблицы Ш.I

I	2	3	4	5	6
m_1	I,2	I,5	I,8	2,2	2,4
f_1	5,7	6,8	7,8	II,0	I6,0
H_0	8,0	9,0	I0,0	I3,4	I9,0
m_2	I,I	I,I	I,2	I,4	2,I
f_2	5,7	6,4	7,2	I0,2	I5,6
b_2	I3,5	I3,6	I3,0	I9,5	24,6
B	20,0	20,0	20,0	30,0	40,0

Таблица Ш.2

Сортамент и геометрические размеры (в мм) сечения полосы гибких поливинилхлоридных труб для укладки на глубину до 7 м

Элементы сечения	Внутренний диаметр труб, мм				
	I00	I25	I50	200	250
a_1	0,8	0,8	I,0	I,0	I,2
a_2	I,0	I,I	I,2	2,0	3,6
a_3	0,8	0,8	I,0	I,0	I,2
b_1	6,8	7,5	8,5	I2,7	I9,9
b_0	5,0	5,6	6,3	9,7	I5,I
m_1	I,6	I,8	2,0	3,0	4,6
f_1	7,4	7,8	9,0	I2,3	I7,2
H_0	I0,0	I0,5	II,2	I5,8	24,0
m_2	I,I	I,I	I,2	2,0	3,8
f_2	6,9	7,2	8,2	II,3	I6,4
b_2	I4,2	I3,6	I2,7	I9,3	23,7
B	20,0	20,0	20,0	30,0	40,0

Ш.5I. Дренажные трубы должны соответствовать следующим стандартам, нормативным документам и рекомендациям:

керамические ГОСТ 84II-74
ГОСТ 286-74

бетонные и железобетонные ГОСТ 6482-7I

асбестоцементные	ГОСТ 1839-72 ГОСТ 539-73
гибкие витые поливинилхлоридные	-"Рекомендации по определению параметров гибких витых дренажных труб из жесткого поливинилхлорида". Научно-исследовательский институт строительного производства Госстроя УССР, Киев, 1973.
трубофильтры из пористого бетона на плотных заполнителях	- ВСН-13-77 "Трубы дренажные из крупнопористого фильтрационного бетона на плотных заполнителях". МЭиЭ СССР, 1977.
трубофильтры из пористого полимербетона	ВТУ по технологии изготовления и применения пористых полимербетонных дренажных трубофильтров. Госстрой Туркменской ССР, г.Ашхабад, 1976.

Ш.52. Прием воды осуществляется:

а) в керамических трубах - через стыки между сочленяющимися звеньями;

б) в асбестоцементных, бетонных и железобетонных трубах - щелевыми или круглыми отверстиями;

в) в трубофильтрах из пористого бетона и полимербетона - пористыми стенками трубофильтров;

г) в гибких витых поливинилхлоридных трубах - через зазоры в замковом соединении между смежными витками полосы.

Ш.53. Дренажные трубы укладывают в траншеи на песчано-гравийную подготовку, которая, как правило, одновременно является и составной частью фильтрующей обсыпки.

Ш.54. Вокруг керамических, асбестоцементных, бетонных, железобетонных и гибких поливинилхлоридных труб устраивают фильтры в виде рыхлых обсыпок или оберток из искусственных волокнистых материалов.

Ш.55. Трубофильтры рекомендуется применять в песчаных грунтах с крупностью частиц более 0,2 мм с обратной засыпкой их местным грунтом, а в супесях, суглинках и мелкозернистых пылеватых песках - с обсыпкой из крупного песка (по СНиП II-15-74).

Ш.56. Фильтры в виде обсыпок из рыхлого фильтрующего материала выполняются в виде призм из раздельных слоев песка и гравия

(или щебня) соответствующего гранулометрического состава (их подбор - см.главу УI.I0).

Ш.57. Фильтры из минеральных волокнистых материалов могут быть двух типов:

а) с фильтром из нетканных волокнистых материалов (рис.Ш.I4) толщиной I0 см в несжатом состоянии. Характеристика этих материалов дана в таблице Ш.3.

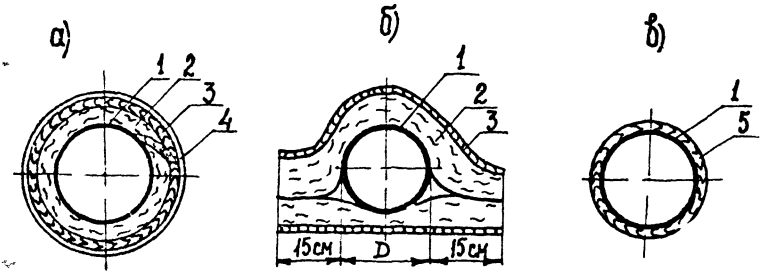


Рис.Ш.I4. Конструктивные схемы волокнистых материалов.
I - дренажные трубы; 2 - маты полужесткие по ГОСТу I0499-67, матч, прошитые из штапельного базальтового волокна по ТУ-33, УССР, I-72;
3 - фильтровая защитная оболочка из стеклохолста марки ВВГ по МРТУ 6-II-64, марки ВВК по ТУ 2I-23-3-68, марки ВВТ по МРТУ 6-II-I3-64, из стеклосеток СЭ (ССТЭ-6) по ГОСТу 848I-75 , СС-I, по СТУ 27-I20-64; 4- хомуты из стекложгутов, шпагата или пластмассовые; 5 - фильтр из стеклохолста марок ВВГ, ВВК, ВВТ.

б) с фильтром из стеклохолстов ВВГ, ВВТ, ВВК в 4 слоя из стеклотканей ВПМ-I - в два слоя, ССТЭ-6 и СС-I - в один слой в сочетании с обсыпкой из несортированных песчаных грунтов более водопроницаемых, чем дренируемые грунты, рис.Ш.I5. Характеристики стеклохолстов и стеклотканей приведены в таблице Ш.4.

Ш.58. Фильтры из минеральных волокнистых материалов допускается применять:

а) в среднезернистых и мелкозернистых песках без песчаной

Таблица Ш.3

Характеристики нетканных волокнистых материалов

№№ пп	Наименование материалов	ГОСТ, СТУ, ТУ	Размеры			Единица измерения	Масса единицы, кг	Диаметр волокна, мк
			длина, м	ширина, см	толщина, мм			
I.	Маты полужесткие стекловатные для строительства	ГОСТ I0499-67	I0	I00±5	40,50,60	$м^3$	25-50	II-I7
2.	Плиты полужесткие стекловатные для строительства	ГОСТ I0499-67	I	I00±5	40,50	$м^3$	50-70	II-I7
3.	Маты прошитые из штапельного базальтового волокна	ТУ 33 УССР I-72	по соглас. с заводом	70±3 85±4	75 75	$м^3$	60-70	I5-25
4.	Войлок из штапельного базальтового волокна	ТУ 6II-2I5-7I	то же	I00±5	50	$м^3$	40,50	I5

Таблица Ш.4

Характеристики стеклохолстов и стеклотканей

№№ пп	Наименование материалов	ГОСТ, СТУ, ТУ	Размеры			Единица измерения	Масса единицы, г	Диаметр волокон, мк
			длина, м	ширина, см	толщина, мм			
I.	Стекловолокнистый холст марки ВВГ	МРТУ 6-II-3-64	I00-200	40±I	0,4±0,I	$м^2$	50±I5	не более I5
2.	Стекловолокнистый холст марки ВВК	ТУ 2I-23-I70 3-68		96±2	0,6±0,2	$м^2$	I00±30	не более I8
3.	Стекловолокнистый холст марки ВВТ	МРТУ 6-II-I3-64	50-I00	I50±2	(0,5-0,8) ±0,3	$м^2$	I00±37	не более I8
4.	Стеклосетки марки СЭ (ССТЭ-6)	ГОСТ 8481-75	50-I00	60,70, 80,90, I00	0,2	$м^2$	200	I4
5.	Стеклосетки СС-I	СТУ 27-I20-64	50-I00	60,70, 80,90	0,I-0,2	$м^2$	-	I4
6.	Стеклоткань марки ВПМ-I			I20±2	0,4±0,5	$м^2$		

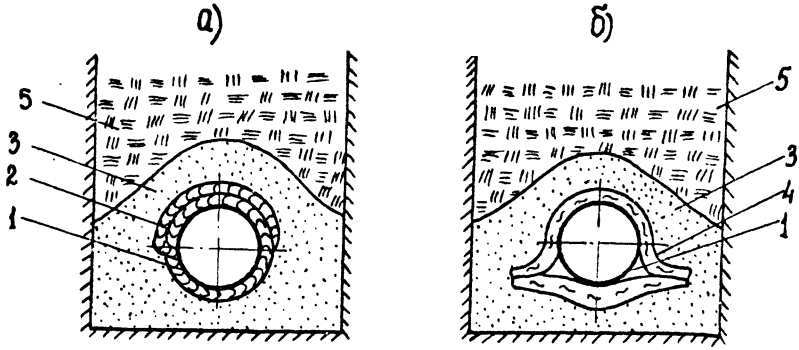


Рис.Ш.I5. Конструктивные схемы фильтров из стеклотканей с обсыпкой.
I - трубы дренажные; 2 - стеклосетка СЭ (ССТЭ-6) по ГОСТу 8481-75 , СС-I по СТУ 27-120-64; 3 - песчаная обсыпка; 4 - стекловолокнистый холст марки ВВ-Г по МРТУ 6-II-3-64, по ТУ 2I-23-3-68, ВВТ по МРТУ 6-II-I3-64; 5 - обратная засыпка грунтом.

обсыпки;

б) в тонкозернистых пылеватых песках, супесях и суглинках с песчаной обсыпкой;

в) при давлении на фильтр не более I,5 кгс/см^2 ;

г) во всех климатических зонах, кроме зоны "вечной" мерзлоты;

д) в нейтральных слабокислых и слабощелочных грунтовых водах (хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, сульфатно-хлоридно-магниево-натриевые, хлоридно-сульфатно-магниево-натриевые, гидрокарбонатно-сульфатно-магниево-кальциевые) с pH от 4 до 9 и суммарным содержанием минеральных солей до 50 гс/л;

е) в грунтовых водах с содержанием железистых соединений не более 0,005 гс/л.

Ш.59. Степень перфорации дренажных труб определяется расчетом (см.главу У) в зависимости от требуемой водоприемной способности.

Ш.60. Для обеспечения достаточной водоприемной способности перфорированных асбестоцементных труб, снабженных волокнистыми

фильтрами, необходимо, чтобы степень перфорации трубы соответствовала данным, приведенным в таблице Ш.5.

Таблица Ш.5

Диаметр трубы, мм	Площадь перфорации, %
от 50 до 100	0,4
от 100 до 150	0,3
от 150 до 300	0,2
от 300 до 400	0,15

Ш.61. Коэффициент фильтрации нетканных волокнистых материалов в сжатом состоянии ($К_ф$) и грунта ($К_{гр}$) должны находиться в следующих соотношениях:

а) при дренировании связных грунтов: $К_ф > 20\ К_{гр}$;

б) при дренировании несвязных грунтов: $К_ф > 5\ К_{гр}$.

Ш.62. Обмотка дренажных труб волокнистым нетканным рулонным материалом должна производиться по спирали с перехлестом слоев.

Ш.63. Для гибких витых поливинилхлоридных труб число слоев намотки принимается в зависимости от толщины холста и обычно составляет 4 слоя при толщине холста 1 мм и 8 слоев - при толщине холста 0,5 мм.

Ш.64. Дренажные трубы, обмотанные рулонным фильтровым материалом, рекомендуется укладывать на песчаную подушку толщиной не менее 10 см. При наличии в основании песчаных грунтов допускается укладка труб на естественное спланированное основание.

Ш.65. Определение фильтрационных свойств волокнистых фильтров, подбор количества слоев холста при намотке на трубы, гранулометрический состав и толщина рыхлой обсыпки (для конструкций, приведенных на рис.Ш.15) должны производиться в соответствии с "Временными указаниями по проектированию фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов в дренажах мелиоративных систем и гидротехнических сооружений", К.1968 и ОСТ 33-10-73 Минводхоза СССР "Фильтры дренажные из искусственных минеральных волокнистых материалов".

б) Горизонтальные дренажи галерейного типа.

Ш.66. Галерейные дренажи целесообразно устраивать в тех случаях, когда требуется глубокое осушение; они могут проходиться на

глубину до 10 и более метров (в хорошо проницаемых рыхлых водоносных пластах). Целесообразно также их применение в скальных и полускальных породах.

Ш.67. Дренажные галереи оборудуются обсыпками из рыхлых материалов (гравий, песок) или снабжаются фильтрами из монолитных пористых материалов (пористый бетон).

Ш.68. Дренажные галереи с фильтрами из рыхлых фильтрующих материалов следует применять в неоднородных водоносных пластах, например, при наличии прослоек мелкозернистого песка, супеси, суглинка.

Такие галереи сооружают открытым или подземным (штольневым, щитовым или методом продавливания) способами. При открытом способе проходки галереи представляется возможным выполнить обсыпку с большой фильтрующей поверхностью, чего нельзя сделать при подземном способе проходки.

Ш.69. На дренажной сети (горизонтальные дренажи трубчатого и галерейного типов, пластовые и пристенные дренажи) следует предусматривать устройство:

а) устьевых и сбросных сооружений на выходе дренажа в водоприемник;

б) смотровых и отстойных колодцев и перепадов;

в) сборных резервуаров с насосными станциями перекачки (в тех случаях, когда самотечный сброс дренажных вод не обеспечен);

г) специальных дроссельных затворов на системах дренажа, нуждающихся в периодическом переключении с самотечного режима на принудительный.

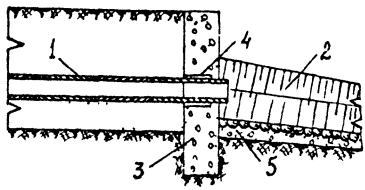
Ш.70. При выходе дренажа в открытый водоприемник (река, канал и т.п.) его следует сопрягать с береговым откосом под острым углом к направлению потока, а устье дренажа снабжать бетонным оголовком или же укреплять откос каменной мостовой (рис.Ш.16).

Ш.71. В случае использования в качестве водоприемника ливневой или канализационной сети присоединение дренажных линий осуществляют к одному из смотровых колодцев этой сети.

Ш.72. Смотровые колодцы устраиваются на всех поворотах и пересечениях дренажных линий в плане и при изменении уклонов, но не реже чем через 50 м (на прямых участках).

Ш.73. Смотровые колодцы устраиваются с лотковыми соединениями или с отстойниками (глубиной не менее 0,5 м) из железобетонных

а)



б)

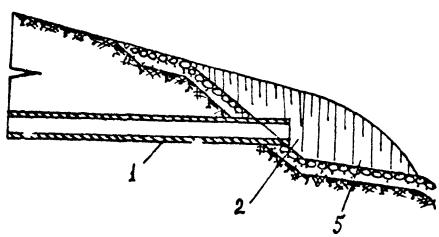


Рис.Ш.16. Конструкции устьевых сбросов.
а) устье дренажа в виде бетонного оголовка; б) устье дренажа на откосе, укрепленном каменным мощением.
I - дренажная труба; 2 - сбросная канава; 3 - бетонная стенка; 4 - конопатка зазора смоленои паклеи; 5 - мостовая по слою подготовки.

колец, с бетонированным днищем.

Ш.74. Сборные резервуары рекомендуется устраивать в случае заложения дренажа ниже отметок воды в водоприемнике (например, при сбросе дренажных вод в ливневую сеть), когда необходимо перекачка дренажных вод.

Ш.75. Дроссельные устройства (рис.Ш.17) следует применять в специальных колодцах-регуляторах, в тех случаях, когда самотечный дренажный сток в реку в течение всего периода действия дренажа невозможен, вследствие периодически создающегося подпора, и необходимо переключать самотечный сброс дренажного стока на перекачку с помощью насосной станции.

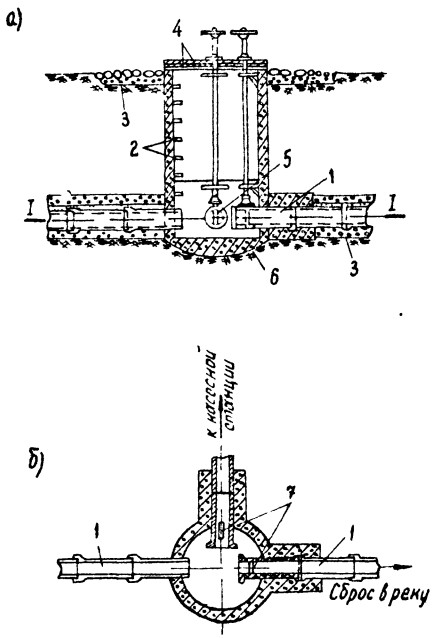


Рис.Ш.17. Колодец-регулятор с дроссельным затвором.
а) разрез; б) план.
I - трубы; 2 - скобы железные; 3 - щебень; 4 - доски;
5 - дроссельные затворы; 6 - бетонная подушка;
7 - дроссельные задрижки.

Ш.76. Для перекачки воды из сборных резервуаров применяются насосы. Тип и конструкция насосных станций и их параметры выбираются в зависимости от размера дренажного стока и заданной величины подъема воды.

в) Вертикальные дренажи.

Ш.77. В конструктивном отношении вертикальный дренаж представляет собой комплекс сооружений, состоящий из скважин (трубчатых колодцев) с насосным оборудованием, водоотводящей сети, энергетического хозяйства, наблюдательной аппаратуры, а также средств автоматики.

Ш.78. К вертикальным дренажам следует также отнести системы дренажно-поглощающих скважин, осушающих верхний водоносный пласт путем переброски воды в нижний. Эти системы менее надежны из-за кольматации поглощающих слоев и поэтому применяются относительно редко. Кроме того, сброс дренажных вод в водоносные пласты, используемые для водоснабжения, требуют согласования с органами санитарного надзора.

Ш.79. Скважины вертикального дренажа или трубчатые колодцы (рис.Ш.18) оборудуются фильтрами, надфильтровыми трубами, насосами (в системах с индивидуальной откачкой), а также специальными приспособлениями: центрирующими фонарями, оголовком и т.п.

Ш.80. Конструкцию фильтра скважин вертикального дренажа следует выбирать в соответствии с "Указаниями по проектированию сооружений для забора подземных вод" СН 325-65. Стройиздат, М., 1966.

Ш.81. Фильтровой каркас скважины должен иметь необходимую механическую прочность, высокую скважность и быть устойчивым против коррозии. Рекомендуется применение для фильтровых каркасов нержавеющей стали, пластмасс и других коррозионно-стойких материалов или же покрывать металлические каркасы антикоррозионным защитным слоем.

Ш.82. Длина фильтра ℓ подбирается следующим образом:

а) в пластах мощностью менее 10 м принимается равной мощности пласта;

б) в пластах мощностью более 10 м принимается согласно следующей зависимости:

$$\ell > 0{,}53 \frac{D}{\sqrt{\mu}} ,$$

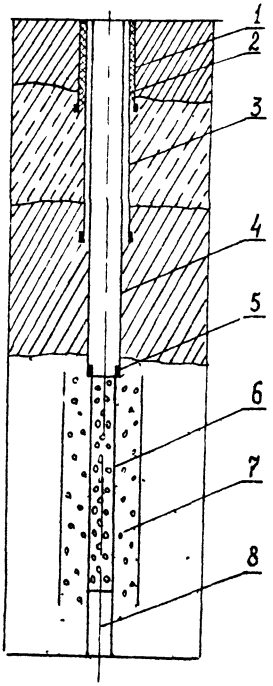


Рис.Ш.I8. Схема конструкции скважины вертикального дренажа.
I - кондуктор; 2 - межтрубная цементация;
3 - техническая колонна;
4 - эксплуатационная колонна; 5 - сальник;
6 - фильтровая колонна;
7 - гравийная обсыпка;
8 - отстойник.

где D - диаметр фильтра; μ - коэффициент расхода фильтра (с учетом наложения водоносных пород или гравийных обсыпок на водоприемную поверхность), определяется по таблице Ш.5; ρ - скважность фильтра.

Ш.83. Длину отстойника следует принимать равным не менее 5 м в том случае, если в нем устанавливается погружной насос и не менее 0,5 м, если погружной насос установлен в фильтровой колонне.

Ш.84. Скважины вертикального дренажа обычно оборудуются гравийными фильтрами. Подбор фильтра осуществляется в соответствии с указаниями главы УI.

Ш.85. В качестве обсыпки для гравийных фильтров следует применять песок, гравий и песчано-гравийную смесь; в эксплуатации наиболее надежны скважины с гравийными фильтрами толщиной I50-200 мм.

Ш.86. Для изоляции скважины от проникновения поверхностных загрязнений устраивается оголовок и осуществляется затрубная цементация колонн труб, а также производится закрепление верхней части скважины дополнительной колонной труб, так называемым "кондуктором". Длина кондуктора должна быть 3-5 м.

Для предупреждения отклонения колонны труб от центра скважины необходимо устанавливать центрирующие фонари из стальных полос.

Ш.87. Насосное оборудование скважин вертикального дренажа в основном зависит от динамического уровня воды в них, а именно:

а) при глубине этого уровня не превышающей 10 м, целесообразно объединять скважины в единую систему с помощью сифонных водоводов с отводом воды к одной или нескольким насосным станциям;

б) при глубине же более 10 м целесообразно применять индивидуальную откачку воды из скважин с помощью погружных насосов. Погружные насосы, размещаемые в скважине, должны иметь диаметр не менее чем на 60 мм меньше, чем диаметр колонны, в которой они размещаются;

в) центробежные горизонтальные насосы допускается применять при понижении уровня грунтовых вод от поверхности земли до 5-7 м.

Ш.88. Вертикальный дренаж с системой сифонного водоотвода (рис.Ш.19) состоит из скважин, обеспечивающих забор воды из грунта, сифонного трубопровода, объединяющего всасывающие трубы, опущенные в скважины, и нисходящей трубы сифона, опускаемой в сборный резервуар, из которого вода откачивается насосами.

Ш.89. Существуют две основные схемы работы вертикальных дренажей с сифонным водоотводом: а) сифоны, полностью заполненные водой и б) сифоны, не полностью заполненные водой.

При первой схеме коллектор прокладывается с обратным уклоном 1:200-1:500 к приемному резервуару. Этим достигается то, что выделяющийся из воды и просачивающийся через неплотности соединений системы воздух движется вместе с потоком воды по сифону и скапливается в верхней его точке, где устроен воздухосборник, откуда воздух удаляется вакуум-насосами.

При второй схеме коллектор прокладывается в направлении к приемному резервуару с уклоном от 1:200 до 1:400. При неполном заполнении сифона воздух скапливается в общем надводном пространстве и движется к воздухосборнику под действием создающегося там с помощью вакуум-насосов разрежения, а не с потоком воды, как в

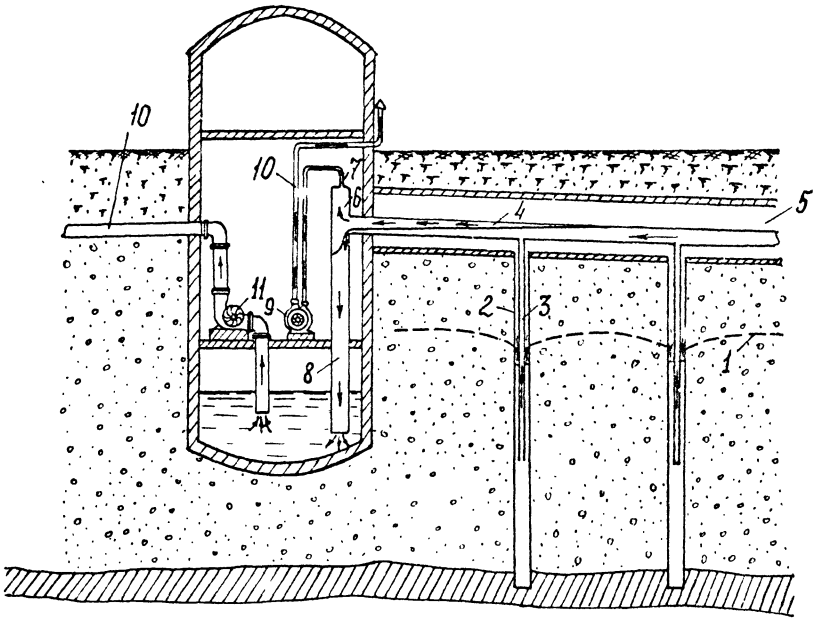


Рис.Ш.I9. Схема вертикального дренажа с системой сифонного водоотвода.
I - уровень грунтовых вод; 2 - трубчатый колодец; 3 - всасывающая труба; 4 - сифонный трубопровод; 5 - галерея; 6 - воздушный котел; 7 - воздухопроводная труба; 8 - стояк сифона; 9 - вакуум-насос; I0 - выбросная труба; II - центробежный насос.

первом случае.

Ш.90. Для отвода воздуха из систем с полным заполнением водой возможно применять специальное устройство (рис.Ш.20), основанное на эффекте дросселирования потока воды, сбрасываемой через сифон. За счет вакуума, создаваемого трубой "Вентури", по воздушной трубке подсасывается воздух, скапливающийся в устьевой части трубопровода.

Ш.9I. При выборе насосов следует исходить из данных притока воды к системе вертикального дренажа или к отдельным его скважи-

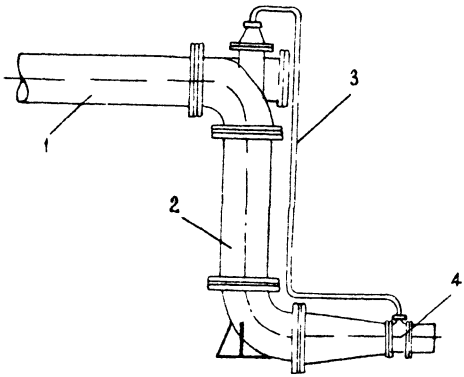


Рис.Ш.20. Сифон с воздушной трубкой.
I - горизонтальная труба сифона; 2 - нисходящее колено сифона; 3 - воздушная трубка; 4 - труба "Вентури".

нам, величины необходимого подъема воды и энергозатрат.

Ш.92. Сооружения на сети вертикального дренажа должны включать:

а) проходные галереи на системах сифонного водоотвода;

б) сборные резервуары с перекачечными насосными станциями;

в) линии электропередач с распределительными устройствами;

г) пульты управления с системой автоматики и контроля за работой дренажа;

д) павильоны над скважинами и пультами управления.

Ш.93. Пульты управления на системах с индивидуальной откачкой воды из скважины должны быть рассчитаны на управление и контроль не более, чем 3-х скважин с передачей информации на центральный пульт управления.

Ш.94. Пульты управления следует размещать по трассе дренажа в отдельных павильонах (будках), или в зданиях насосных станций, в случае централизованной откачки.

г) Комбинированные дренажи.

Ш.95. Комбинированные дренажи представляют собой сочетание горизонтальных дрен трубчатого или галерейного типов с рядом вертикальных самоизливающихся скважин (рис.Ш.2I).

Ш.96. При сопряжении вертикальных и горизонтальных дрен в комбинированном дренаже необходимо, чтобы горизонтальные дрены располагались на расстоянии 0,5-I м от оси ряда скважин. Горизонтальные и вертикальные дрены соединяют или патрубками или

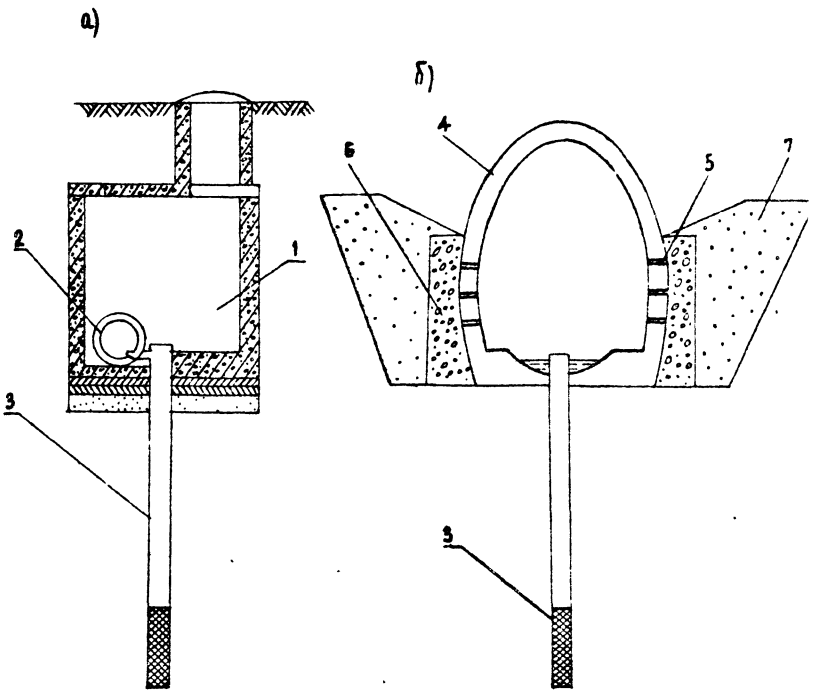


Рис.Ш.21. Схема комбинированных дренажей.
а) сочетание вертикальных скважин с горизонтальными трубчатыми дренами; б) сочетание вертикальных скважин с галереей.
1 - смотровой колодец; 2 - горизонтальная дрена;
3 - вертикальная скважина; 4 - дренажная галерея;
5 - отверстия для приема воды; 6 - обсыпка гравием;
7 - обсыпка песком.

устраивают устье вертикальных дрен в нишах галерей.

Ш.97. Сооружения на сети комбинированного дренажа включают: смотровые колодцы и перепады, а также устьевые сбросы, сборные резервуары и насосные станции (в случае принудительного от-

вода дренажных вод).

д) Лучевые дренажи.[x)]

Ш.98. Лучевой дренаж представляет собой систему водопонизительных установок - лучевых водозаборов, состоящих из водосборных колодцев и радиальных горизонтальных трубчатых скважин (рис.Ш.22)

Ш.99. Лучевой дренаж может применяться как для общего дренирования застроенной территории (систематический, перехватывающий и площадный дренаж), так и для локального дренирования отдельных сооружений.

Ш.100. При дренировании подтопляемой территории подземными водами, притекающими со стороны, может применяться перехватывающий линейный лучевой дренаж, состоящий из одного или нескольких рядов лучевых дрен, взаимодействующих друг с другом и перехватывающих боковой поток подземных вод.

Ш.101. При дренировании подтопляемой территории подземными водами, инфильтрующимися в грунт в пределах самой территории, может применяться систематический площадной дренаж, состоящий из лучевых водозаборов, расставленных в виде квадратной или "шахматной" сетки.

Ш.102. Локальный дренаж отдельных сооружений, находящихся в условиях подтопления, осуществляется установкой лучевых водозаборов в непосредственной близости от сооружения. Схемы дренажа приведены на рис.Ш.23. Возможность его такого устройства в каждом отдельном случае должна быть оценена с точки зрения опасности проявления деформации грунтов основания сооружения при их осушении. Это особенно важно для случаев размещения горизонтальных лучевых дрен под сооружением (схемы рис.Ш.23б,г,д,и,к).

Ш.103. Дренаж сооружений может осуществляться посредством кольцевого (схемы Ш.23а,в,е,ж,з) или площадного (схемы рис.Ш.23б, г,д,и,к) расположения горизонтальных лучевых скважин. В первом случае эффект перехвата внешнего притока подземных вод может быть усилен установкой дополнительных лучей (схемы рис.Ш.23е,ж,з). Во втором случае установка дополнительных лучей под сооружением предполагает усиление эффекта откачки внутреннего объема подземных вод и должна применяться при достаточно больших размерах сооружений в плане (рис.Ш.23б,г).

х) Пункт д) написан Г.А.Разумовым.

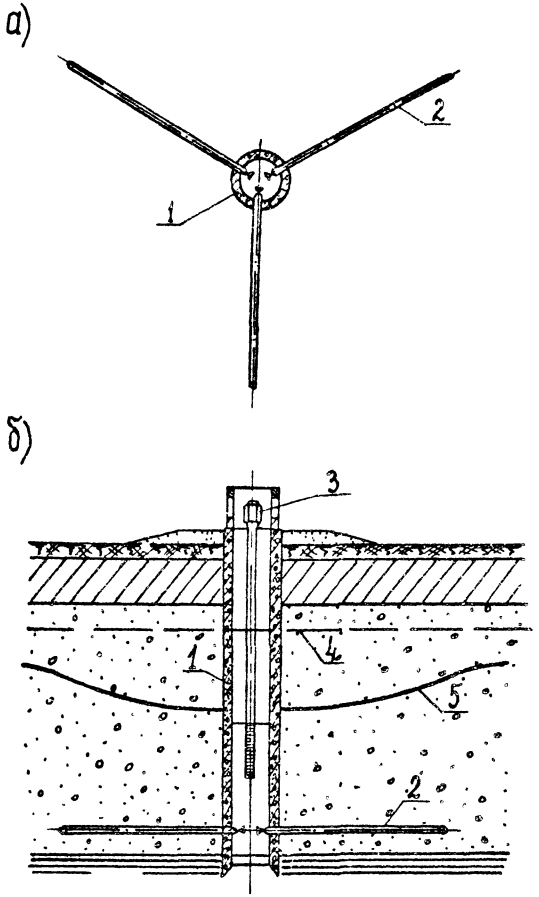


Рис.Ш.22. Лучевой дренаж.
а) план; б) разрез
I - водосборный колодец; 2 - горизонтальные лучевые скважины; 3 - водоподъемник; 4 - естественный уровень грунтовых вод; 5 - пониженный уровень грунтовых вод.

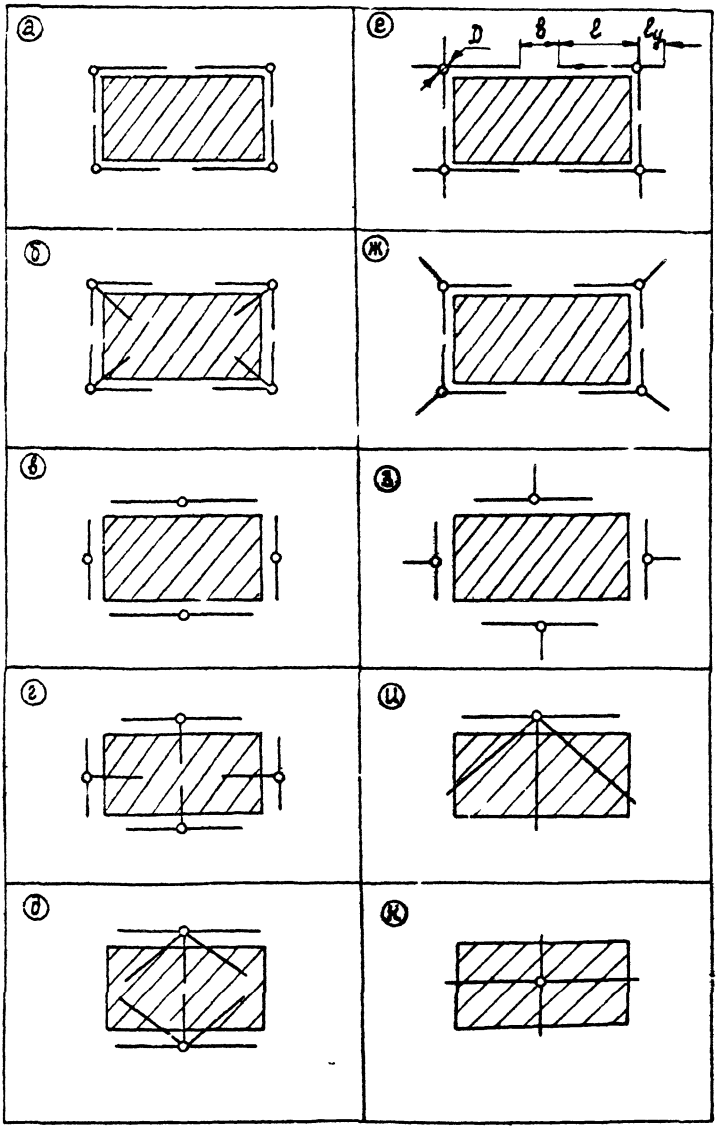


Рис.Ш.23. Основные схемы расположения лучевых дренажей.

Ш.104. При небольших плановых размерах сооружения (или отдельной его части) возможно дренирование путем устройства с площадным расположением горизонтальных дрен, двух и даже одного лучевого водозабора (схемы Ш.23д,и.к).

Ш.105. Лучевой дренаж наиболее эффективен в условиях неоднородных слоистых грунтов, когда слабопроницаемые или водоупорные породы чередуются с обводненными проницаемыми песчаными прослоями и линзами (размером более 0,5 м).

В этих условиях водозаборные лучевые дрены закладываются в более проницаемых линзах и прослоях, что позволяет наиболее полно их дренировать, вплоть до превращения в естественно-искусственные пластовые дрены. Лучевой дренаж дает возможность гибко учитывать как вертикальную, так и горизонтальную (плановую) неоднородность грунтов.

Ш.106. Лучевой дренаж эффективен для дренирования промплощадок со стесненной застройкой, с густой насыщенностью подземного пространства трубопроводными, кабельными и транспортными коммуникациями. С этой точки зрения вариант лучевого дренажа может быть конкурентоспособным по отношению к традиционному горизонтальному дренажу в случае дренирования уже застроенных территорий, где расположены эксплуатируемые предприятия.

Ш.107. Водосборный шахтный колодец (или скважина большого диаметра) служит для сбора воды, забираемой из дренируемого грунта через лучевые горизонтальные дрены - скважины. В колодце устанавливается насос для откачки воды, а в процессе строительства - оборудование для проходки горизонтальных скважин.

Водосборные колодцы (скважины) сооружаются из железобетона (бетона) - сборного или монолитного. В случае малого диаметра возможно применение стальных (при специальном обосновании - полимерных) труб.

Ш.108. Строительство водосборного шахтного колодца может осуществляться: а) открытым способом; б) бурением с помощью специальных методов (например, с обратной промывкой скважины, станками типа КШК и др.) или обычными станками в случае малого диаметра водосборной скважины; в) способом опускного колодца; г) вибрационным погружением; д) методом секущихся свай (траншейных стенок) и т.д.

Ш.109. При резкой неоднородности дренируемых пластов на участке закладки лучевого дренажа направление, число и длина

отдельных лучей должны соответствовать расположению наиболее проницаемых слоев. При этом возможно наклонное размещение лучевых скважин (восходящих или нисходящих).

Число, направление, глубина расположения и длина лучевых дренажных скважин принимаются в зависимости от конкретных гидрогеологических, строительных, инженерно-производственных и эксплуатационных условий. Выбор основных параметров лучевых водозаборов осуществляется на основе фильтрационных расчетов. При длине лучей меньше 20 м в однородных пластах угол между лучами по фильтрационным соображениям не следует принимать менее 25°.

е) Вакуумные дренажи.

Ш.110. Вакуумные дренажи представляют собой осушительные устройства, через которые осуществляется отвод воды из грунта под действием создающегося в нем вакуума.

Ш.111. Вакуумные дренажи можно применять как в хорошо проницаемых, так и в слабопроницаемых грунтах. Однако, эффективность вакуумирования (по сравнению с обычными методами осушения) тем выше, чем более низкими фильтрационными свойствами обладает грунт. В суглинистых грунтах, как правило, обычные методы осушения вообще мало эффективны и поэтому применение вакуумирования в них наиболее целесообразно.

Ш.112. Эффект осушения грунтов методом вакуумирования заключается в том, что из грунта отводится не только гравитационная вода, но также и капиллярная. При этом увеличивается интенсивность осушения грунтов по сравнению с обычными методами, т.е. достигается:

а) более глубокое понижение депрессионной поверхности грунтовых вод и сокращение времени осушения,

б) существенно большее снижение влажности осушаемой толщи грунта по сравнению с обычными методами осушения.

Ш.113. Возможности вакуумирования в отношении уменьшения влажности грунта зависят от его гранулометрического состава: они тем выше, чем тяжелее грунт. Величина максимально возможного снижения влажности при обычном осушении и при вакуумировании приближенно можно оценивать по графику (рис.Ш.24).

Ш.114. Вакуум представляет собой состояние разрежения газа в герметически изолированном от атмосферного воздуха пространстве. За величину вакуума p принимается разность $p = p_a - p$, где p_a - атмосферное давление, p - абсолютное давление внутри

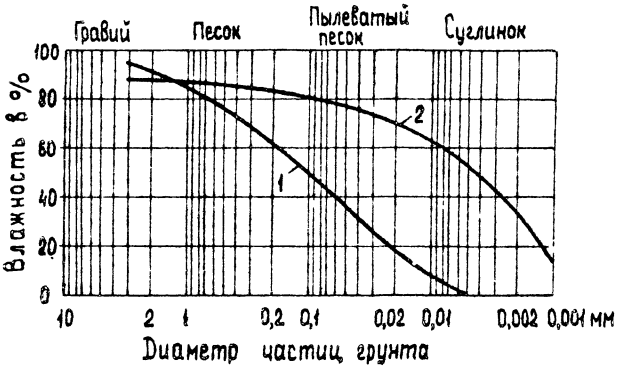


Рис.Ш.24. Максимально возможное снижение влажности (по данным *Matschak*, 1961)
I - при обычном осушении; 2 - при вакуумировании.

разреженного пространства (причем всегда $P < P_a$).

Ш.115. По конструкции вакуумный горизонтальный дренаж представляет собой обычную дрену, в устье которой устраивается вакуумный колодец, а в концевой части - смотровой колодец. Концевая часть дрены снабжается глухим патрубком на резьбовом соединении. Вместо патрубка можно использовать также и специальные заглушки на фланцевых соединениях с уплотнителями. Глухие патрубки и заглушки снимаются лишь при ремонте и прочистке дрены.

Ш.116. Вакуум в колодце создается с помощью вакуум-насоса. Вода под действием вакуума из грунта всасывается в дрены, а затем поступает в колодец, откуда она откачивается погружным насосом или центробежным насосом, расположенном на поверхности земли (рис.Ш.25).

Ш.117. Вакуумный водосборный колодец следует выполнять в виде цилиндрической емкости со специальными крышками, обеспечивающими герметичность колодца.

Ш.118. Конструкция вакуумного смотрового колодца аналогична вакуумному водосборному колодцу с той лишь разницей, что к колодцу присоединяется только дрена и контрольно-измерительная аппаратура.

Ш.119. На вакуумном водосборном колодце следует предусмат-

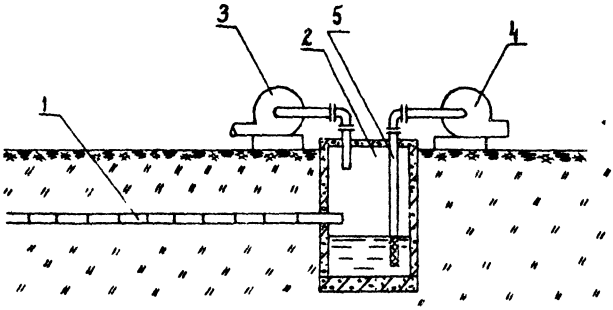


Рис.Ш.25. Схема горизонтального вакуумного дренажа.
I - трубчатая дрена; 2 - вакуумный водосборный колодец; 3 - вакуум-насос; 4 - центробежный насос; 5 - всасывающая труба.

ривать регулирующую аппаратуру для поддержания постоянного уровня воды в колодце.

Ш.I20. Рекомендуются следующие схемы расположения горизонтальных вакуумных дрен:

а) для систематического дренажа - дрены с индивидуальными системами вакуумирования, которые следует подключать непосредственно к сбросному коллектору или приемному резервуару насосной станции (рис.Ш.26а);

б) для кольцевых дренажей возможно присоединение двух ветвей дрен к одному вакуумирующему устройству (рис.Ш.26б).

Ш.I2I. Длина вакуумных горизонтальных дрен не должна превышать 50 м. Открытие вакуумных колодцев допускается только при выключении дренажа для ремонта и прочистки дрен.

Ш.I22. Для вакуумного горизонтального дренажа следует применять те же трубы, что и для обычных дренажей, при этом на асбестоцементных и пластмассовых трубах рекомендуется выполнять щелевую перфорацию на нижней половине окружности трубы. Трубы укладываются отверстиями вниз, на гравийно-песчаную подсыпку; в верхней же части дрены обсыпка вообще не устраивается.

Пористые трубы, уложенные в слабопроницаемый грунт, следует обсыпать гравийно-песчаной смесью по всей окружности трубы.

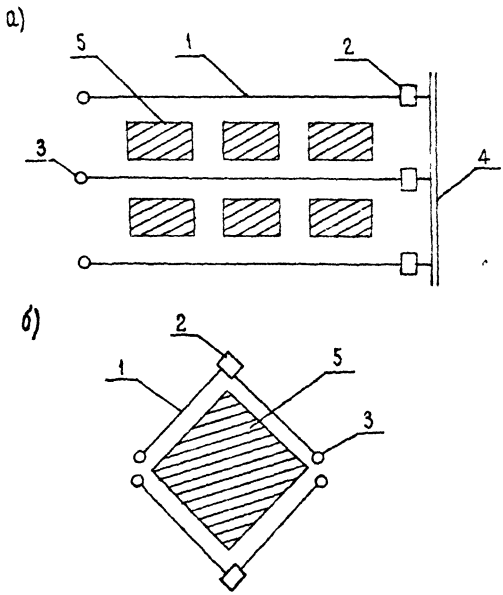


Рис.Ш.26. Схемы вакуумного дренежа.
а) трехлинейная; б) кольцевая.
I - труочатая дрена;
2 - вакуумный колодец;
3 - герметизированный смотровой колодец;
4 - сбросной коллектор;
5 - защищаемое сооружение

Ш.I23. После устройства обсыпки дренажные трубы рекомендуется присыпать сверху вынутым грунтом на высоту 30-40 см и уплотнять его.

На присыпанный грунт сверху следует укладывать полиэтиленовую пленку, предназначенную для защиты дрен от проникновения в них атмосферного воздуха. Затем осуществляется полная обратная засыпка траншеи вынутым грунтом.

Ш.I24. Конструкции вакуумного вертикального дренажа представляют собой трубчатые колодцы (скважины), отличающиеся в конструктивном отношении от обычных колодцев только тем, что они изолированы от дневной поверхности; при этом осуществляется герметизация как самой полости колодца, так и гравийного фильтра, для чего в верхней части затрубного пространства устраивается тампон из глины.

Ш.I25. Вакуум в трубчатым колодцах может быть создан при помощи следующих технологических приемов:

I) вакуум-насосом, расположенным на поверхности земли. Для

откачки поступающей воды трубчатый колодец снабжается погружным насосом, напорный трубопровод и питающий кабель которого выведены наружу (рис.Ш.27а);

2) эжектором, располагаемым в оголовке трубчатого колодца. Для создания вакуума эжектор соединяется с полостью трубчатого колодца воздушной трубкой. Откачка воды производится также погружным насосом (рис.Ш.27б);

3) эжектором, располагаемом в фильтровой части скважины (рис.Ш.27в);

4) с помощью герметизирующего устройства в кольцевом пространстве между обсадными и водоподъемными трубами. Вакуум в трубчатом колодце в этом случае создается за счет опускания воды в нем погружным насосом ниже герметизирующего устройства (рис.Ш.27г).

Ш.126. В качестве фильтров в трубчатых колодцах следует применять трубчатые и стержневые каркасы с двух или трехслойной песчано-гравийной обсыпкой или блочные фильтры. Размер перфорации и подбор обсыпки осуществляется по общим правилам.

Ш.127. В слоистых грунтах следует устраивать так называемые концентрические фильтры, устанавливая их на всю мощность водоносного пласта. Такие фильтры обеспечивают отбор воды из всех водонасыщенных прослоек, пересекаемых скважиной.

ж) Электродренажи

Ш.128. Электродренажи представляют собой осушительные устройства, через которые вода отводится под действием электрического тока, проходящего через грунт.

Ш.129. Электродренажи следует применять в слабопроницаемых грунтах с коэффициентом фильтрации менее 0,01 м/сут .

Ш.130. Различают две системы электродренажей:

а) два ряда электродов (катодов и анодов), заложенных в грунт вдоль длинных сторон защищаемых сооружений (рис.Ш.28). Применяется, главным образом, для строительного водопонижения, по возможности эту систему можно применять также и для защиты сооружений от грунтовых вод;

б) электроды, закладываемые в стене защищаемых сооружений и соединенные с ними стальные стержни, забитые в грунт для заземления (рис.Ш.29). Предназначается для защиты сооружении от проникновения в них влаги.

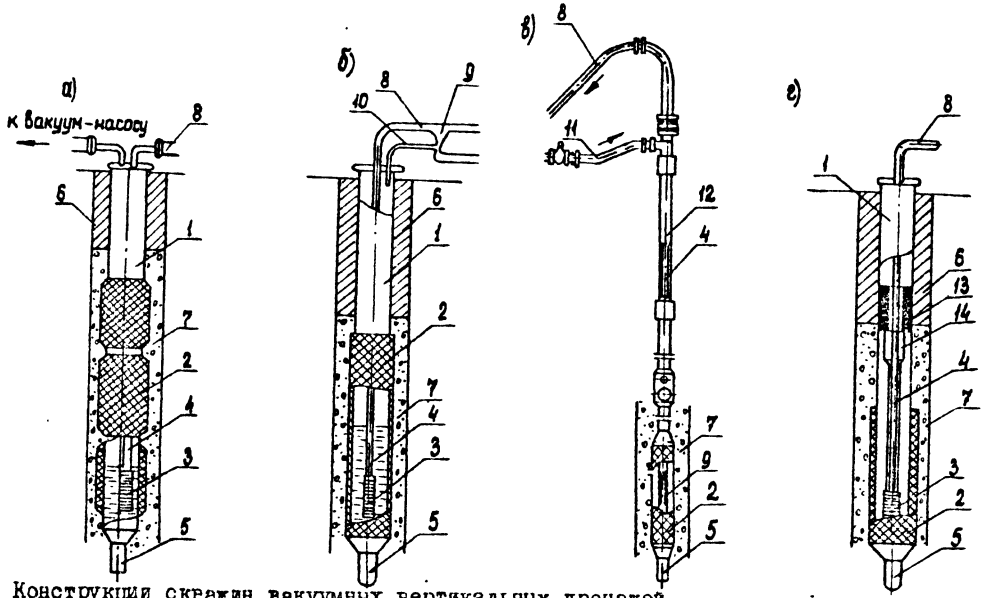


Рис.Ш.27. Конструкции скважин вакуумных вертикальных дренажей.
а) с созданием вакуума вакуум-насосом; б) с созданием вакуума эжектором, расположенным в оголовке трубчатого колодца; в) с эжектором, расположенным в фильтровой части скважины; г) с герметическим устройством; I - трубчатый колодец; 2 - фильтр; 3 - погружной насос; 4 - водоподъемная труба; 5 - отстойник; 6 - глиняный тампон; 7 - гравийный фильтр; 8 - водосборная труба; 9 - эжектор, I0 - воздушная трубка эжектора; II - напорная труба; I2 - надфильтровая колонна; I3 - герметизирующая резиновая манжета; I4 - муфта.

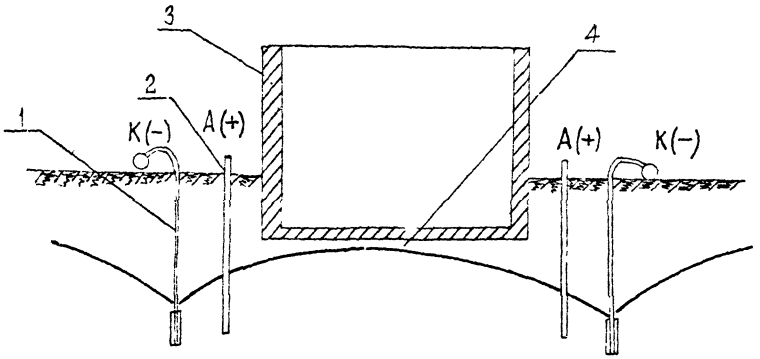


Рис.Ш.28. Схема электродренажа.
I - скважины-катоды (иглофильтры); 2 - металлические стержни-аноды; 3 - защищаемое сооружение; 4 - кривая депрессии.

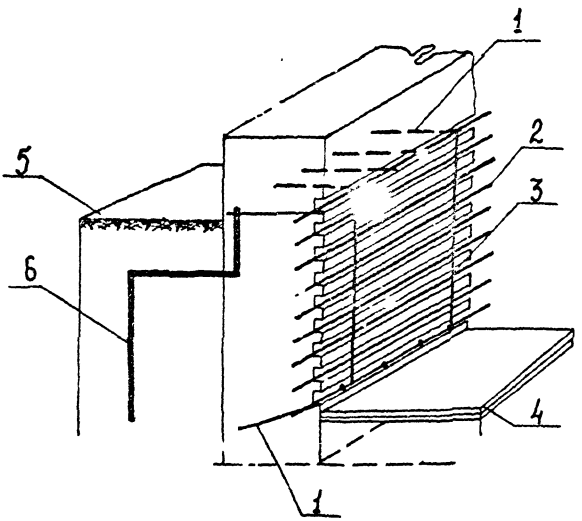


Рис.Ш.29. Схема электродренажа для защиты сооружений от проникновения в них влаги.
I - электроды; 2 - горизонтальные стержни; 3 - вертикальные стержни; 4 - пол подвала; 5 - поверхность земли; 6-заземление с металлическим стержнем.

Ш.131. В конструктивном отношении электродренажи для защиты сооружений от грунтовых вод представляют собой ряд иглофильтров, используемых в качестве катодов, и трубы, рельсы, арматурное железо, погруженные вертикально в грунт, используемые в качестве анодов.

Ш.132. Расстояния между катодным и анодным рядами в этом случае рекомендуется принимать 1-2 м. Напряжение постоянного тока 45-60 вольт. В систему электродренажа для защиты сооружений от грунтовых вод входит электро-распределительный стенд, рассчитанный на питание системы.

Ш.133. Интенсификация работы электродренажа для защиты от грунтовых вод может быть осуществлена созданием вакуума в нижней части иглофильтра путем устройства воздухонепроницаемой глинистой пробки выше его перфорированной части, в результате чего получается дополнительный градиент и интенсифицируется движение воды к катоду, т.е. в песчаную обсыпку иглофильтра, откуда она и откачивается насосом.

Ш.134. Электродренажи для защиты сооружений от воздействия влаги представлены следующей конструкцией: в стенках сооружений монтируются медные полосы, которые соединяются с рельсами, трубами или арматурным железом, погруженным вертикально в грунт (служат для заземления).

Разность потенциалов между электродами в стенке и в грунте составляет около 0,6-0,7 в. В результате возникающего градиента происходит перенос влаги из стены в грунт.

ГЛАВА IУ. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ДРЕНАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

§ I. Расчеты горизонтальных дренажей.

IУ.I. Гидрогеологические расчеты горизонтальных дренажей включают в себя определение притока воды в дренаж, положения сниженных уровней и иногда - междренных расстояний. В некоторых случаях междренные расстояния назначаются из соображений наивыгоднейшего планового размещения дренажа, тогда возникает задача об определении необходимого понижения уровня воды в дренах. В любом случае известна величина понижения, которая должна быть достигнута в пределах дренируемой территории.

При определении перечисленных выше показателей должны быть учтены условия залегания грунтовых вод, строение водоносного пласта, а также степень несовершенства дренажа.

В качестве наиболее типичного ниже рассматривается двухслойный водоносный пласт, который сверху получает инфильтрационное, а снизу - напорное питание. В некоторых случаях, например, при расположении дренажа вблизи контуров с постоянным напором, учет двухслойности оказывается излишним, поэтому будут рассмотрены лишь однослойные пласты, но эти схемы будут специально оговорены.

IУ.2. При гидрогеологических расчетах горизонтальных дренажей ниже рассмотрены следующие типы дренажа:

а) систематический дренаж;

б) кольцевой (контурный) дренаж;

в) перехватывающие дренажи;

г) пластовый и пристенный дренажи;

а) Систематический дренаж

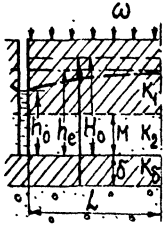
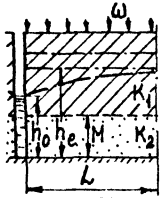
IУ.3. При расчетах систематического дренажа будем считать, что дрены представляют собой вертикальные щели, перерезающие водоносный горизонт полностью или частично. Это равносильно тому, что над дренажной обсыпкой отсутствует нависание кривой депрессии. В дренах поддерживается постоянный уровень воды, что соответствует реальным условиям работы дренажа на площадках промышленных предприятий.

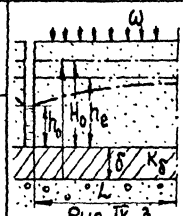
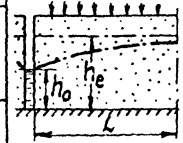
IУ.4. Совершенный систематический дренаж. При гидрогеологическом расчете совершенного систематического дренажа различают две фазы фильтрации: неустановившуюся и установившуюся. В течение первой фазы происходит снижение уровней грунтовых вод в пределах дренируемой территории и уменьшение величины притока воды в дрены, во вторую фазу эти величины не изменяются.

IУ.5. При расчете систематического дренажа наибольший интерес представляет положение уровня воды в междренье, т.е. посередине между дренами, так как эта величина в конечном итоге определяет эффективность действия дренажа. Поэтому ниже приводятся зависимости для определения положения грунтовых вод только на междренье, т.к. общие формулы для расчета депрессионной поверхности очень сложны, а из входящих в них специальных сумм не все табулированы.

Таблица IV.1.

Расчетные зависимости для систематического дренажа

NN п/п	Расчетная схема	Строение пласта в разрезе	Расчетная формула	NN формул	Примечания
1	2	3	4	5	6
			УСТАНОВИВШАЯСЯ ФИЛЬТРАЦИЯ		
1	 Рис. IV.1.	Двухслойное $\delta<20$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \left[\frac{\omega}{K_2} + \lambda^2(H_0 - h_0)\right]\frac{ch\beta - 1}{\lambda^2 ch\beta}$; $\frac{ch\beta - 1}{ch\beta}\Big/_{\beta\to 0} = \frac{\beta^2}{2}$	IV-1	
2		Двухслойное $\delta>50$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \frac{\omega(h_c - M)}{K_1} + \left[\frac{\omega}{K_2} + \lambda^2(H_0 - h_0)\right]\frac{ch\frac{\pi a}{2} - 1}{\lambda^2 ch\frac{\pi a}{2}}$	IV-2	
3	 Рис. IV.2.	Двухслойное $20<\delta<50$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \frac{2\omega L}{K_1}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{\beta_n ch\beta_n \bar{M}}\cdot\frac{\Psi(\bar{M},\lambda)}{\Phi(\bar{M},\lambda)} + 2\delta\lambda^2(H_0 - h_0)L\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{\beta_n^2\Phi(\bar{M},\lambda)ch\beta_n\bar{M}ch\beta_n(\bar{h}_c - \bar{M})}$	IV-3	При вычислении рядов достаточно $3^x - 4^x$ членов
4		Двухслойное $\delta<20$ без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega L^2}{2K_1 h_c^*}$	IV-4	

1	2	3	4	5	6
5		Двухслойное $\delta>50$ без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega}{K_1}(h_c - M) + \frac{\omega L^2}{2K_2 M}$	IV-5	
6		Двухслойное $20<\delta<50$ без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega L}{K} P\left(\bar{h}_c, \bar{M}, \delta\right)$	IV-6	Значения P приведены в табл. IV.2.
7	 Рис. IV.3.	Однослойное изотропное с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \left[\frac{\omega}{K} + \lambda^2(H_0 - h_0)\frac{ch\delta_1 - 1}{\lambda^2 ch\delta_1}\right]$	IV-7	
8		Однослойное анизотропное с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \frac{\omega\gamma L}{K_z}\left[N_1\left(\frac{\bar{h}_c}{\delta},\lambda\right) + \frac{\lambda^2\gamma L}{2} + \lambda^2\gamma L\left(H_0 - h_0\right)N_3\left(\frac{\bar{h}_c}{\delta},\lambda\right) - \left(\frac{2\lambda^2\gamma L}{\pi}\right)^2 N_2\left(\frac{\bar{h}_c}{\delta},\lambda\right)\right]$	IV-8	Значения N_1; N_2; N_3 приведены в табл. IV.3.
9	 Рис. IV.4.	Однослойное изотропное без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega L^2}{2Kh_c}$	IV-9	
10		Однослойное анизотропное без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega\gamma L}{K_z} N_1\left(\frac{\bar{h}_c}{\delta}, 0\right)$	IV-10	

1	2	3	4	5	6
		НЕУСТАНОВИВШАЯСЯ ФИЛЬТРАЦИЯ			
11		Двухслойное $\delta<25$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + (h_e - h_0)\exp(-B)\,\theta(\tau^*) + \left[\frac{\omega}{K_2} + \lambda^2(H_0 - h_0)\right]\left\{\frac{ch\beta - 1}{\lambda^2 ch\beta} - \right.$ $\left. - \frac{L^2 \exp(-B)}{h_c^*}\left[\frac{1}{2}\theta_1(\tau^*) - \beta^2\theta_2(\beta^2,\tau^*)\right]\right.$ $\theta_2(\beta^2,\tau^*) = \frac{16}{\pi^3}\sum_{n=1}^{n=N}\frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^3\left[(2n-1)^2+\beta^2\right]}\exp\left[-\frac{(2n-1)^2\pi^2}{4}\tau^*\right]$	IV-11	Значения θ и θ_1 приведены на рис. IV.5 и IV.6 для расчета θ_2 достаточно $2^x - 3^x$ членов ряда
12		Двухслойное $\delta>25$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \frac{\omega}{K_1}(h_c - M) + (h_e - h_0 + \omega\frac{h_c - M}{K_1})\,E_1(\alpha,\beta,\tau_в) + \left[\frac{\omega}{K_2} + \right.$ $\left. + \lambda^2(H_0 - h_0)\right]\left[\frac{ch\frac{\pi\alpha}{2} - 1}{\lambda^2 ch\frac{\pi\alpha}{2}} - \frac{L^2}{M}E_2(\alpha,\beta,\tau_в)\right]$	IV-12	
			$E_1(\alpha,\beta,\tau_в) = \frac{4}{\pi}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{2n-1}\exp\left[-\tau_в\frac{(2n-1)^2+\alpha^2}{(2n-1)^2\beta+\alpha^2\beta+\frac{4}{\pi^2}}\right]$	IV-13	
			при малых β $E_1(\alpha,\beta,\tau_в) = \exp\left(-\frac{\pi^2\alpha\tau_в}{4}\right)\theta(\tau_в)$ при больших β $E_1(\alpha,\beta,\tau_в) = \exp\left(-\frac{K_1 t}{\mu_1(h_c - M)}\right)$		

Продолжение табл. IV.1

1	2	3	4	5	6
			$E_2(\alpha,\beta,\tau_в)=\frac{16}{\pi^3}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)[(2n-1)^2+\alpha^2]}\exp\left[-\tau_в\frac{(2n-1)^2+\alpha^2}{(2n-1)^2\beta+\alpha^2\beta+\frac{4}{\pi}}\right]$	IV-14	Для расчета E_3 достаточно 2^x–3^x членов ряда
13		Двухслойное $\delta<25$ без напорного питания	$h_ц=h_0+(h_e-h_0)\theta(\tau^*)+\frac{\omega L^2}{2\kappa_1 h_c^*}\left[1-\theta_1(\tau^*)\right]$	IV-15	
14		Двухслойное $\delta>25$ без напорного питания	$h_ц=h_0+\frac{\omega}{\kappa_1}(h_c-M)+\left(h_e-h_0+\omega\frac{h_c-M}{\kappa_1}\right)E_1(0,\beta,\tau_в)+$ $+\frac{\omega L^2}{\kappa_2 M}\left[\frac{1}{2}-E_2(0,\beta,\tau_в)\right]$	IV-16	
15		Однослойное изотропное с напорным питанием	$h_ц=h_0+(h_e-h_0)\exp(-B_1)\theta(\tau)+\left[\frac{\omega}{\kappa}+\lambda^2(H_0-h_0)\right]\left\{\frac{ch B_1-1}{\lambda^2 ch B_1}-\right.$ $\left.-\frac{L^2}{h_c}\exp(-B_1)\left[\frac{1}{2}\theta_1(\tau)-B_1^2\theta_2(B_1^2,\tau)\right]\right\}$	IV-17	
16		Однослойное изотропное без напорного питания	$h_ц=h_0+(h_e-h_0)\theta(\tau)+\frac{\omega L^2}{2\kappa h_c}\left[1-\theta_1(\tau)\right]$	IV-18	
17		Однослойное анизотропное без напорного питания	$h_ц=h_0+(h_e-h_0)\theta_3\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma},\frac{l_{0z}}{\gamma}\right)+\frac{\omega\gamma L}{\kappa_z}\left[N_1\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma},0\right)-\right.$ $\left.-\theta_4\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma},\frac{l_{0z}}{\gamma}\right)\right]$	IV-19	Значения θ_3 приведены на рис IV-7 (для $\bar{h}_c>0,04\gamma$)

Продолжение табл. IV.1.

1	2	3	4	5	6
			при $\frac{\bar{h}_c}{\delta} < 0{,}01$ $\theta_3\left(\frac{\bar{h}_c}{\delta}, \frac{f_{oz}}{\delta}\right) = \theta\left(\frac{K_x h_c t}{\mu L^2}\right)$ $\theta_4(x,y) = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^2 th\frac{2n-1}{2}\pi x}\exp\left[-\frac{(2n-1)\pi y}{2} th\frac{2n-1}{2}\pi x\right]$	IV-20	При расчете θ_4 достаточно 2^x–3^x членов ряда

Условные обозначения: $\delta = \frac{K_2}{K_1}$; $\lambda^2 = \frac{K_6}{\delta K_2}$; $\beta^2 = \frac{\lambda^2 \delta L^2}{h_c^{*}}$; $\beta_1^2 = \frac{\lambda^2 L^2}{h_c}$; $a^2 = \frac{4\lambda^2 L^2}{\pi^2 M}$; $B = \frac{\lambda^2 K_2 t}{\mu_1}$; $B_1 = \frac{\lambda^2 K t}{\mu}$;

$h_c^{*} = h_c + (\delta - 1)M$; $\bar{h}_c = \frac{h_c}{L}$; $\bar{h}_c^{*} = \frac{h_c^{*}}{L}$, $\bar{M} = \frac{M}{L}$, $\gamma^2 = \frac{K_z}{K_x}$; $\beta = \delta\bar{M}(\bar{h}_c - \bar{M})$; $\tau^{*} = \frac{K_1 h_c^{*} t}{\mu_1 L^2}$; $\tau = \frac{K h_c t}{\mu L^2}$, $\tau_B = \frac{K_2 M t}{\mu_1 L^2}$,

$f_{oz} = \frac{K_z t}{\mu L}$; $\beta_n = \frac{2n-1}{2}\pi$; $\Psi(\bar{M},\lambda) = 1 + \delta th\beta_n \bar{M} th\beta_n(\bar{h}_c - \bar{M}) + \frac{\lambda^2 L}{\beta_n}\left[th\beta_n\bar{M} + \delta th\beta_n(\bar{h}_c - \bar{M})\right]$;

$$\Phi(\bar{M},\lambda) = th\beta_n(\bar{h}_c - \bar{M}) + \delta th\beta_n\bar{M} + \frac{\lambda^2 L}{\beta_n}\left[\delta + th\beta_n\bar{M}\, th\beta_n(\bar{h}_c - \bar{M})\right]$$

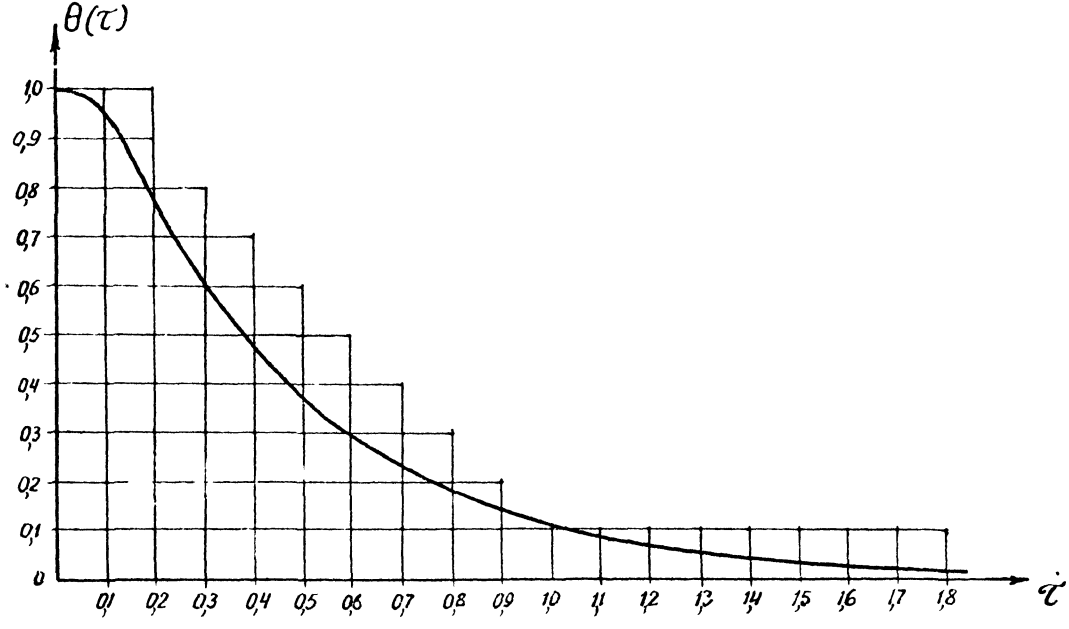


Рис.IУ.5. График функции $\theta(\tau) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \exp\left[-\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4} \tau\right]$

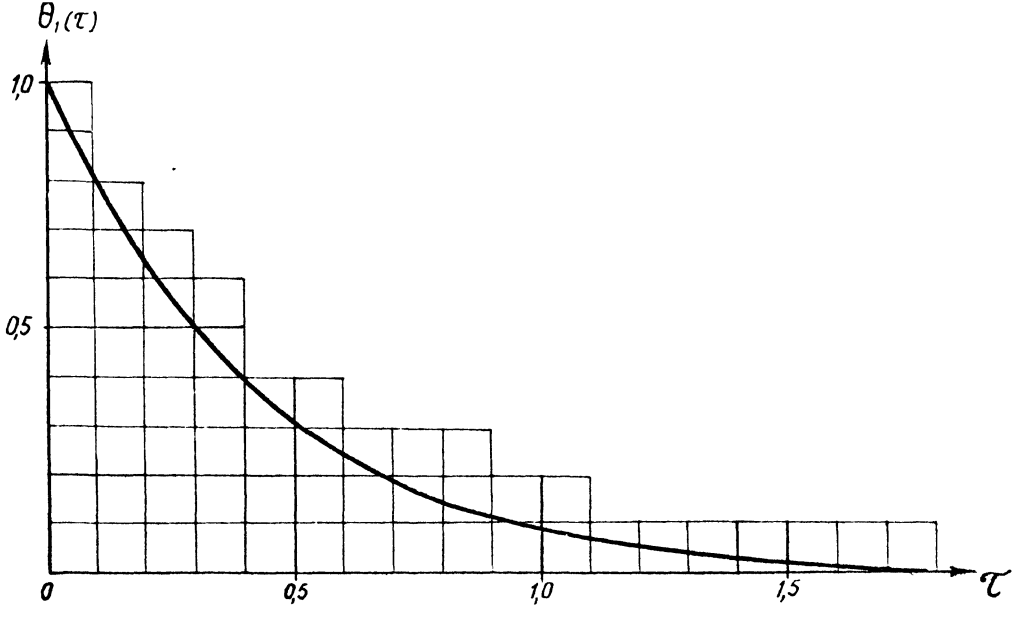


Рис.IУ.6. График функции $\theta_1(\tau) = \frac{32}{\pi^3} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{(2n-1)^3} \exp\left[-\frac{(2n-1)^2\pi^2}{4}\tau\right]$.

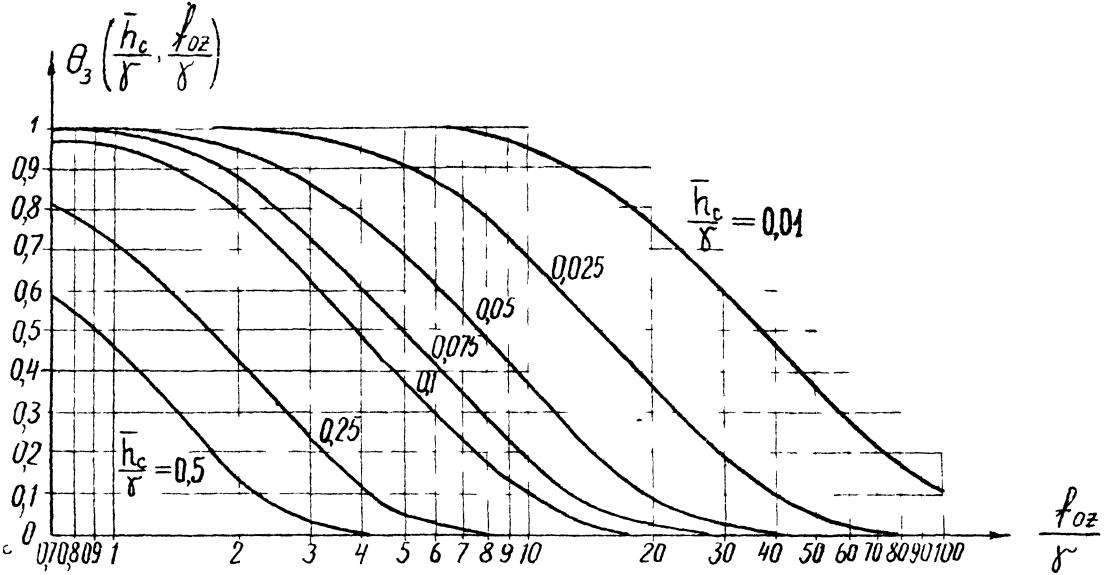


Рис.IУ.7. График функции $\theta_3\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \frac{\ell_{oz}}{\gamma}\right) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \exp\left[-\frac{\ell_{oz}}{\gamma} \frac{2n-1}{2}\pi \operatorname{th} \frac{2n-1}{2}\pi \frac{\bar{h}_c}{\gamma}\right]$

IУ.6. Расчетные зависимости по определению сниженного уровня грунтовых вод на междренье приведены в таблице IУ.I. При выводе этих формул предполагалось, что свободная поверхность (зеркало) грунтовых вод находится в пределах верхнего слоя, упругими свойствами воды и горных пород пренебрегалось. Отметим, что некоторые из рядов, входящие в расчетные зависимости таблицы IУ.I, не табулированы.

Однако, учитывая знакопеременность рядов, при конкретных расчетах с погрешностью менее 5-8% можно ограничиться 3-4 членами ряда.

IУ.7. Приток воды в дренаж в первые моменты времени носит неустановившийся характер, но в пределе (при больших значениях времени) при наличии инфильтрационного и напорного питания принимает постоянное значение.

IУ.8. В случае двухслойного пласта с инфильтрационным и напорным питанием (рис.IУ.I) переменный (уменьшающийся со временем) приток воды на единицу длины дрены с одной стороны определяется по формуле:

$$q = 2k_1 h_c^* \frac{h_c - h_0}{L} \exp(-\beta^2 \tau^*) \Pi(\tau^*) + L\left[\omega + \lambda^2 k_1 \sigma (H_0 - h_0)\right]\left[\frac{th\beta}{\beta} - 2\exp(-\beta^2\tau^*)\Pi_1(\tau^*, \beta)\right]. \qquad (IУ\text{-}2I)$$

В этой формуле сохранены обозначения, использованные в таблице IУ-I. Функции $\Pi(\tau^*)$ и $\Pi_1(\tau^*, \beta)$ определяются соотношениями

$$\Pi(\tau^*) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \exp(-\vartheta_n \tau^*), \qquad \Pi_1(\tau^*, \beta) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\exp(-\vartheta_n^2 \tau^*)}{\vartheta_n^2 + \beta^2}, \qquad \vartheta_n = \frac{2n-1}{2}\pi,$$

причем для функции $\Pi_1(\tau^*, \beta)$ справедливы представления

$$\Pi_1(\tau^*, \beta) = \frac{4}{\pi^2 + \beta^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 \tau^*}{4}\right) \qquad \text{при } \tau^* > 0{,}I;$$

$$\Pi_1(\tau^*, \beta) = \frac{th\,\beta}{2\beta} \qquad \text{при } \tau^* < 0{,}005.$$

Значения функции $\Pi(\tau^*)$ приведены на рис.IУ-8, а функции $\Pi_1(\tau^*, \beta)$ для $0{,}005 \le \tau^* \le 0{,}I$ - в таблице IУ-4.

При больших τ^*, т.е. при установившемся движении, формула (IУ-2I) принимает вид:

Таблица IУ-2

Значения функции $P(\bar{h}_c, \bar{M}, \sigma)$

$\bar{h}_c$	$\sigma = 20$				$\sigma = 40$				$\sigma = 60$			
	M/h_c				M/h_c				M/h_c			
	0	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	0,75	0	0,25	0,5	0,75
0,005	I00,0	I7,400	9,526	5,716	I00,0	9,306	4,880	3,307	I00,0	6,353	3,28I	2,2II
0,0075	66,67	II,600	6,353	4,373	66,67	6,206	3,256	2,205	66,67	4,238	2,I89	I,475
0,0I	50,I0	8,702	4,767	3,28I	50,I0	4,658	2,444	I,655	50,I0	3,I82	I,644	I,I08
0,025	20,04	3,706	I,884	I,275	20,04	I,974	0,947	0,565	20,04	I,248	0,6I2	0,405
0,05	I0,023	I,774	0,976	0,667	I0,023	0,968	0,5II	0,295	I0,029	0,67I	0,35I	0,228
0,075	6,707	I,I8I	0,736	0,452	6,707	0,738	0,40I	0,245	6,707	0,509	0,263	0,I83
0,I	4,983	0,932	0,522	0,349	4,983	0,532	0,29I	0,I95	4,983	0,379	0,2I2	0,I38

$$P(\bar{h}_c, M, \sigma) = 2\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{\vartheta_n^2} \frac{1+\sigma th\vartheta_n \bar{M} th\vartheta_n (\bar{h}_c - \bar{M})}{\sigma th\vartheta_n \bar{M} + th\vartheta_n (\bar{h}_c - \bar{M})}, \qquad \vartheta_n = \frac{2n-1}{2}\pi,$$

при $\bar{h}_c < 0{,}005$

$$P(\bar{h}_c, \bar{M}, \sigma) = \frac{1 + 2\sigma\bar{M}(\bar{h}_c - \bar{M})}{2(\bar{h}_c - \bar{M} + \sigma\bar{M})}$$

Таблица IУ-3

Значения функций $N_1(\bar{h}_c, \lambda)$; $N_2(\bar{h}_c, \lambda)$; $N_3(\bar{h}_c, \lambda)$

$\frac{\bar{h}_c}{\gamma}$	$N_1(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$ $\frac{2\lambda^2\gamma L}{\pi}$					$N_2(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$ $\frac{2\lambda^2\gamma L}{\pi}$				$N_3(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$ $\frac{2\lambda^2\gamma L}{\pi}$			
	0	0,001	0,01	0,1	1	0,001	0,01	0,1	1	0,001	0,01	0,1	1
0,01	50,40	46,892	30,009	6,185	0,644	19,587	12,707	2,794	0,314	46,889	30,004	6,185	0,643
0,025	20,160	19,601	15,186	5,437	0,632	7,808	6,506	2,482	0,309	19,415	15,175	5,337	0,632
0,05	10,80	9,889	8,844	4,650	0,628	4,127	3,702	1,988	0,298	9,867	8,825	4,250	0,629
0,075	6,725	6,820	6,391	3,692	0,619	2,814	2,562	1,551	0,288	6,591	6,340	3,492	0,621
0,10	5,04	5,240	4,715	3,006	0,610	2,186	1,973	1,276	0,280	4,951	4,671	2,983	0,612
0,25	2,085	2,067	2,019	1,621	0,525	0,872	0,852	0,689	0,236	1,952	1,905	1,534	0,509
0,5	1,166	1,157	1,143	1,005	0,438	0,496	0,490	0,431	0,196	0,916	0,903	0,794	0,358

$$N_1(\bar{h}_c, \lambda) = 2\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{\vartheta_n(\vartheta_n \operatorname{th}\vartheta_n \bar{h}_c + \lambda^2\gamma L)}; \qquad \vartheta_n = \frac{2n-1}{2}\pi;$$

$$N_2(\bar{h}_c, \lambda) = 2\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{\vartheta_n^3(\vartheta_n \operatorname{th}\vartheta_n \bar{h}_c + \lambda^2\gamma L)};$$

$$N_3(\bar{h}_c, \lambda) = 2\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{\vartheta_n \operatorname{ch}\vartheta_n \bar{h}_c(\vartheta_n \operatorname{th}\vartheta_n \bar{h}_c + \lambda^2\gamma L)}.$$

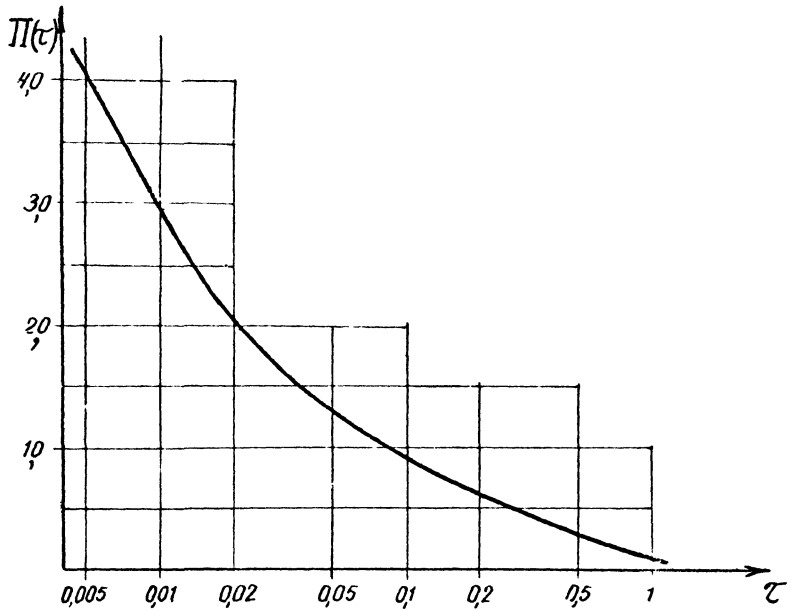


Рис.IУ.8. График функции $\Pi(\tau)=\sum_{n=1}^{n=\infty} exp\left[-\frac{(2n-1)^2\pi^2}{4}\tau\right]$.

$$q = L\left[\omega + \lambda^2 K_1 \sigma (H_0 - h_0)\right] \frac{th\,\beta}{\beta} . \qquad (IУ-22)$$

Последняя формула при $\lambda = 0$, т.е. при отсутствии напорного питания, упрощается до вида

$$q = \omega L .$$

Из формул (IУ-2I) - (IУ-22) при $\sigma = I$, т.е. при $h_c^* = h_c$ и $\tau^* = \tau$ получаются зависимости для определения притока воды в дрену в однослойном пласте.

IУ.9. В приведенные выше расчетные зависимости входит величина средней мощности пласта h_c, определение которой необходимо производить по формуле

$$h_c = h_0 + \alpha (h_e - h_0) . \qquad (IУ-23)$$

Таблица IУ-4.

Значения функции $\Pi_1(\tau, \lambda^2)$

τ	$\frac{\lambda^2 L^2}{h_c}$						
	0	0,05	0,I	0,5	I	5	I0
0,005	0,4585	0,45I5	0,4436	0,3908	0,34I7	0,I822	0,I232
0,0I	0,4420	0,436I	0,4280	0,3653	0,3283	0,I7I7	0,II37
0,025	0,4I05	0,4044	0,3963	0,346I	0,300I	0,I508	0,0967
0,05	0,3740	0,3678	0,3597	0,3I33	0,270I	0,I3I3	0,08I8
0,075	0,345I	0,3397	0,3329	0,2890	0,2489	0,II85	0,0727
0,I	0,32I5	0,3I64	0,3094	0,2688	0,2309	0,I089	0,0662

Значения коэффициента α принимаются равными

$$\alpha = 0,7 \quad \text{при} \quad \frac{\kappa t}{\mu L} < I0 ,$$
$$\alpha = 0,2 \quad \text{при} \quad \frac{\kappa t}{\mu L} > I0 . \qquad (IУ-24)$$

В случае двухслойного пласта формула (IУ-23) остается в силе, но в уравнении (IУ-24) вместо κ становится κ_1.

Формула (IУ-23) и значения коэффициента α получены путем моделирования процесса фильтрации к систематическому дренажу на аналоговой машине УСМ-I.

IУ.10. Несовершенный систематический дренаж. При расчетах несовершенного систематического дренажа необходимо выделить два случая: дрена врезана только в верхний слой и дрена, прорезав верхний слой, углубляется частично в нижний.

IУ.11. Расчет несовершенного систематического дренажа выполняется по формулам для совершенного дренажа, но в них вводится дополнительное сопротивление на несовершенство. Так как систематический дренаж работает при постоянном уровне воды в дренах, то дополнительное сопротивление вводится в линейные размеры дренажа, т.е. при расчетах вместо истинного междренного расстояния $2L$ используется приведенное расстояние $2L^*$, вычисляемое по формуле

$$2L^* = 2L(1+\zeta_L). \qquad (IУ.25)$$

В последующем в расчетные формулы для совершенного дренажа вместо L подставляется значение L^*. Коэффициент дополнительного сопротивления ζ_L зависит от степени врезки дренажа в пласт, размеров дренажа и параметров пласта.

IУ.12. Значение коэффициента ζ_L в случае двухслойного пласта при вскрытии дреной только верхнего слоя (рис.IУ.9а) определяется по формуле:

$$\zeta_L = \frac{h_c^*}{h_c - m}\left[1 - \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1,3,5}^{n=\infty}\frac{ch\,n\pi\frac{m-M}{L}\cdot\varphi(m)}{n^2 ch\,n\pi\frac{h_c-M}{L}\varphi(h_c)}\right] - 1. \qquad (IУ-26)$$

Здесь

$$\varphi(m) = th\,n\pi\frac{m-M}{L} + \sigma\, th\,n\pi\frac{M}{L}; \quad \varphi(h_c) = th\,n\pi\frac{h_c-M}{L} + \sigma\, th\,n\pi\frac{M}{L}.$$

Выражение для h_c^* приведено в таблице IУ-1.

При M = 0 из формулы (УI-26) получается значение ζ_L для однослойного пласта (рис.IУ.9б)

$$\zeta_L = \frac{h_c}{h_c - m}\left[1 - \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1,3,5}^{n=\infty}\frac{sh\,\frac{n\pi m}{L}}{n^2 sh\,\frac{n\pi h_c}{L}}\right] - 1. \qquad (IУ-27)$$

При расчете ζ_L по формулам (IУ-26) и (IУ-27) достаточно ограничиться 3-4 членами ряда. При $\bar{h}_c^* < 0{,}02$ с погрешностью менее 5% формула (IУ-26) может быть представлена в виде

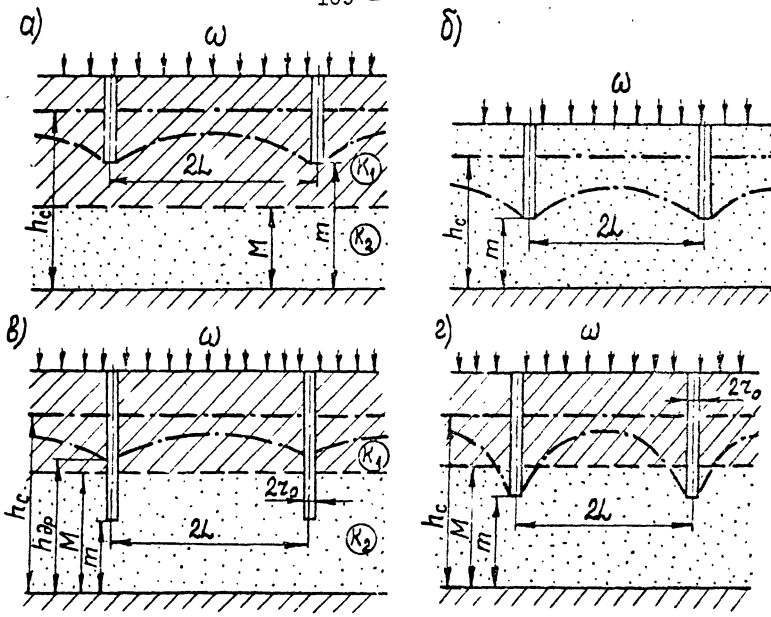


Рис.IУ.9. Схема несовершенного систематического дренажа
а –в двухслойном пласте при расположении дрен в верхнем слое; б – в однослойном пласте; в – в двухслойном пласте при вскрытии дреной нижнего слоя, но уровень воды находится в пределах верхнего слоя; г – в двухслойном пласте при вскрытии дреной нижнего слоя, но свободная поверхность пересекает границу слоев.

$$\zeta_L = 0{,}045\ \frac{m - M + \delta M}{h_c - M}\ .$$

IУ-I3. При врезке дрен в нижний слой величина ζ_L зависит от положения уровня воды в дрене. Различаются два случая.

Случай а - уровень воды в дренах находится в пределах верхнего слоя двухслойного пласта (рис.IУ-9в), для этой схемы

$$\zeta_L = 2\left(\beta_H \frac{m}{L} \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot f' + \frac{M}{L} \cdot \frac{K_2 - K_1}{K_2} \cdot f_H\right)\ . \qquad (IУ\text{-}28)$$

Здесь

$$f = 0{,}73 lg \frac{4h_c \cos\frac{\pi(h_c - m)}{2h_c}}{\pi\sqrt{2 r_o (h_c - m + 0{,}5 r_o)}}, \qquad f_н = 0{,}73 lg \frac{4M \cos\frac{\pi(h_c - m)}{2M}}{\pi\sqrt{2 r_o (h_c - m + 0{,}5 r_o)}}.$$

Значение $\beta_н$ снимается с графика, приведенного на рис. IУ.IO, при следующих аргументах

$$\lambda = \frac{K_2 - K_1}{K_2 + K_1}; \quad r^* = \frac{r_o}{M}; \quad m^* = \frac{h_c - M}{M}.$$

Случай б - дрены и часть свободной поверхности находятся в нижнем слое (рис.IУ.9г), для этой схемы

$$q_л = 2 \frac{M}{L} f_н. \qquad (IУ-29)$$

б) Кольцевой дренаж

IУ.I4. Кольцевой (контурный) горизонтальный дренаж в плане может иметь различную форму: округлую, прямоугольную, вытянутую и т.д. Поэтому при гидрогеологическом расчете контурных дренажей выделяются две предельные схемы. В одном случае контурный дренаж заменяется круглым, в другом - двухлинейным. Кроме того, в случае прямоугольных в плане контурных дренажей, можно также использовать решения для двухлинейных дренажей. Однако, чаще всего при расчете используется метод приведения контурных дренажей некруглых в плане форм к круглым с приведенным радиусом r_o^*, методы определения которого хорошо известны[x]. Поэтому в дальнейшем, если не будет специально оговорено, под кольцевыми дренажами подразумеваются дренажи, имеющие в плане круглую форму.

IУ.I5. Также, как и в предыдущем пункте, отдельно рассматриваются совершенный и несовершенный кольцевые горизонтальные дренажи.

IУ.I6. Совершенный кольцевой дренаж. При гидрогеологическом расчете совершенного кольцевого горизонтального дренажа отчетливо выделяются две независимые друг от друга области фильтрации: внутри дренируемой территории и вне ее. Движение грунтовых вод в

x) См.работу С.К.Абрамов, Н.А.Кузнецова, А.Н.Муфтахов "Пластовые дренажи в промышленном и городском строительстве", Стройздат, 1964.

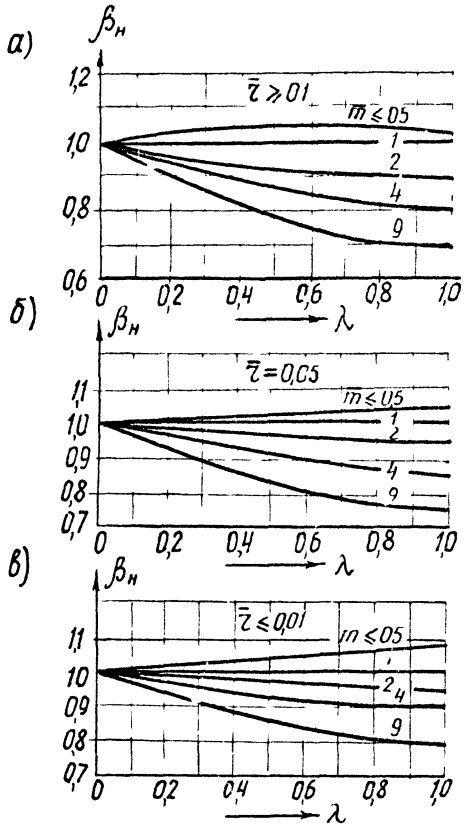
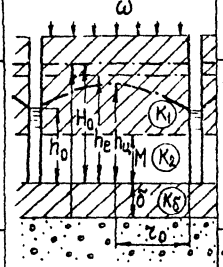
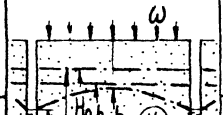
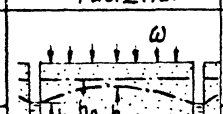


Рис.IУ.IO. Графики коэффициента несовершенства $\beta_н$.
а) при $\bar{\tau} \geqslant 0,1$; б) при $\bar{\tau} = 0,05$;
в) при $\bar{\tau} \leq 0,01$.

Расчётные зависимости для кольцевого совершенного дренажа

Таблица IV.5.

№№ п/п	Расчетная схема	Строение пласта в разрезе	Расчетная формула	№№ формул	Примечание
1	2	3	4	5	6
			установившаяся фильтрация		
1		Двухслойное $\delta<20$ с напорным питанием	$h_ц=h_0+\left[\frac{2\omega r_0^2}{K_1 h_c^*}+\frac{2\delta\lambda^2 r_0^2(H_0-h_0)}{h_c^*}\right]\left[\frac{1}{8}-\delta^2\varepsilon(\delta^2)\right]$	IV-30	Значения ε приведены на рис. IV.15
2		Двухслойное $\delta>50$ с напорным питанием	$h_ц=h_0+\frac{2\omega(h_c-M)}{K_1}\left[\frac{1}{2}-\frac{a^2}{8}+a^4\varepsilon(a^2)\right]+\left\{\frac{\lambda^2 r_0^2(H_0-h_0)}{M}+\right.$ $\left.+\frac{\omega r_0^2[1+\lambda^2\delta(h_c-M)]}{K_2 M}\right\}\left[\frac{1}{4}-2a^2\varepsilon(a^2)\right]$	IV-31	
3	Рис. IV.11.	Двухслойное $20<\delta<50$ с напорным питанием	$h_ц=h_0+\frac{2\omega r_0}{K_1}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n^2 J_1(\nu_n)ch\nu_n\bar{M}}\cdot\frac{\Psi(\bar{M},\lambda)}{\Phi(\bar{M},\lambda)}+$ $+2r_0\delta\lambda^2(H_0-h_0)\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n^2 J_1(\nu_n)\Phi(\bar{M},\lambda)ch\nu_n\bar{M}ch\nu_n(\bar{h}_c-\bar{M})}$	IV-32	
4		Двухслойное $\delta<20$ без напорного питания	$h_ц=h_0+\frac{\omega r_0^2}{4K_1 h_c^*}$	IV-33	

1	2	3	4	5	6
5	 Рис. IV.12.	Двухслойное $\delta > 50$ без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega}{\kappa_1}(h_c - M) + \frac{\omega r_0^2}{4\kappa_2 M}$	IV-34	
6		Двухслойное $2\delta < \delta < 50$ без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{2\omega r_0}{\kappa_1}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n^2 J_1(\nu_n)\operatorname{ch}\nu_n \bar{M}}\cdot\frac{\psi(\bar{M},0)}{\Phi(\bar{M},0)}$	IV-35	
7	 Рис. IV.13.	Однослойное изотропное с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \left[\frac{2\omega r_0^2}{\kappa h_c} + \frac{2\lambda_1^2 r_0^2 (H_0 - h_0)}{h_c}\right]\cdot\left[\frac{1}{8} - \beta_1^2 \xi(\beta_1^2)\right]$	IV-36	
8		Однослойное анизотропное с напорным питанием	$h_ц = h_0 + \frac{2\omega\gamma r_0}{\kappa_z}\left[R_1\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \lambda_z\right) + \frac{\lambda_z^2\gamma r_0}{8} - \left(\lambda_z^2\gamma r_0^2\right)^2 R_2\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \lambda_z\right)\right] + 2\lambda_z^2\gamma r_0 (H_0 - h_0) R_3\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \lambda_z\right)$	IV-37	Значения R_1, R_2, R_3 приведены в табл. IV.6.
9	 Рис. IV.14.	Однослойное изотропное без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{\omega r_0^2}{4\kappa h_c}$	IV-38	
10		Однослойное анизотропное без напорного питания	$h_ц = h_0 + \frac{2\omega\gamma r_0}{\kappa_z} R_1\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, 0\right)$	IV-39	

1	2	3	4	5	6
11		НЕУСТАНОВИВШАЯСЯ ФИЛЬТРАЦИЯ Двухслойное $\delta^2 < 25$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + (h_e - h_0)\exp(-B)L_1(\tau^*) + \frac{2\omega\tau_0^2 + 2\kappa_2\lambda^2\tau_0^2(H_0-h_0)}{\kappa_1 h_c^*}\left\{\frac{1}{8} - \right.$ $\left. - \delta^2\varepsilon(\delta^2) - \frac{1}{2}\exp(-B)\left[L_2(\tau^*) - 2\delta^2 L_3(\delta,\tau^*)\right]\right\}$ $L_3(\delta,\tau^*) = \sum_{n=1}^{n=N}\frac{\exp(-\nu_n^2\tau^*)}{\nu_n^3 J_1(\nu_n)(\nu_n^2+\delta^2)}$	IV-40 IV-41	Значения L_1 и L_2 приведены на рис IV.16, IV.17. При расчете L_3 достаточно двух членов ряда ($N=2$)
12		Двухслойное $\sigma > 25$ с напорным питанием	$h_ц = h_0 + 2(h_e - h_0)L_4(a,\beta,\tau_B) + \left\{\frac{2\omega\tau_0^2[1+\lambda^2(h_c-M)\delta]}{\kappa_2 M} + \right.$ $\left. + \frac{2\lambda^2\tau_0^2(H_0-h_0)}{M}\right\}\cdot\left[\frac{1}{8} - a^2\varepsilon(a^2) - L_5(a,\beta,\tau_B) + a^2 L_6(a,\beta,\tau_B)\right] +$ $+ \frac{2\omega(h_c-M)}{\kappa_1}\left\{\frac{1}{2} - L_4(a,\beta,\tau_B) - \frac{a^2}{8} + L_5(a,\beta,\tau_B)\right\};$ $L_4(a,\beta,\tau_B) = \sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n J_1(\nu_n)}\exp\left(-\tau_B\frac{\nu_n^2+a^2}{1+a^2\beta+\nu_n^2\beta}\right)$ при малых β $L_4(a,\beta,\tau_B) = \frac{1}{2}\exp(-a^2\tau_B)L_1(\tau_B)$ при больших β $L_4(a,\beta,\tau_B) = \frac{1}{2}\exp\left[-\frac{\kappa_1 t}{\mu_1(h_c-M)}\right]$	IV-42 IV-43	

1	2	3	4	5	6
			$L_5(\alpha,\beta,\tau_в)=\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n^3 J_1(\nu_n)}\exp\left(-\tau_в\frac{\nu_n^2+\alpha^2}{1+\alpha^2\beta+\nu_n^2\beta}\right)$	IV-44	
			$L_6(\alpha,\beta,\tau_в)=\sum_{n=1}^{n=N}\frac{1}{\nu_n^3(\nu_n^2+\alpha^2)J_1(\nu_n)}\exp\left(-\tau_в\frac{\nu_n^2+\alpha^2}{1+\alpha^2\beta+\nu_n^2\beta}\right)$	IV-45	
13		Двухслойное $\delta<25$ без напорного питания	$h_ц=h_0+2(h_e-h_0)L_4(\tau^*)+\frac{\omega\tau_0^2}{K_1 h_c^*}\left[\frac{1}{4}-L_2(\tau^*)\right]$	IV-46	
14		Двухслойное $\delta>25$ без напорного питания	$h_ц=h_в+2(h_e-h_0)L_4(0,\beta,\tau_в)+\frac{2\omega\tau_0^2}{K_2 M}\left[\frac{1}{8}-L_5(0,\beta,\tau_в)\right]+$ $+\frac{2\omega(h_c-M)}{K_1}\left[\frac{1}{2}-L_4(0,\beta,\tau_в)\right]$	IV-47	
15		Однослойное изотропное с напорным питанием	$h_ц=h_0+(h_e-h_0)\exp(-B_1)L_4(\tau)+\frac{\omega\tau_0^2+K\lambda^2\tau_0^2(H_0-h_0)}{K h_c}\left\{\frac{1}{4}-\right.$ $\left.-2\beta_1^2\xi(\beta_1^2)-\exp(-B_1)\left[L_2(\tau)-2\beta_1^2 L_3(\beta_1,\tau)\right]\right\}$	IV-48	
16		Однослойное анизотропное без напорного питания	$h_ц=h_0+2(h_e-h_0)R_4\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma},\ell_{0z}\right)+\frac{2\omega\tau_0\gamma}{K_z}\left[R_1\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma},0\right)-\right.$ $\left.-R_5\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma},\ell_{0z}\right)\right]$	IV-49	

Окончание табл. IV.5.

1	2	3	4	5	6
			$R_4\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \ell_{0z}\right)=\sum_{i=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n J_1(\nu_n)}\exp\left(-\nu_n \ell_{0z}\, th\,\frac{\nu_n \bar{h}_c}{\gamma}\right)$	IV-50	
			$R_5\left(\frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \ell_{0z}\right)=\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n^2 J_1(\nu_n) th\,\frac{\nu_n}{\gamma}\bar{h}_c}\exp\left(-\nu_n \ell_{0z}\, th\,\frac{\nu_n \bar{h}_c}{\gamma}\right)$	IV-51	
17		Однослойное изотропное без напорного питания	$h_ц = h_0 + (h_e - h_0) L_1(\tau) + \frac{2\omega r_0^2}{\varkappa h_c}\left[\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{2} L_2(\tau)\right]$	IV-52	

Условные обозначения: $\sigma=\frac{\kappa_2}{\kappa_1}$; $\lambda^2=\frac{\kappa_\delta}{\delta\kappa_2}$; $\lambda_1^2=\frac{\kappa_\delta}{\delta\kappa}$; $\lambda_2^2=\frac{\kappa_\delta}{\delta\kappa_z}$, $\beta^2=\frac{\lambda^2\sigma r_0^2}{h_c^*}$; $\omega_1^2=\frac{\lambda_1^2 r_0^2}{h_c}$; $a^2=\frac{\lambda^2 r_0^2}{M}$;

$B=\frac{\lambda^2\kappa_2 t}{\mu_1}$; $B_1=\frac{\lambda_1^2\kappa t}{\mu}$; $h_c^*=h_c+(\sigma-1)M$; $\bar{h}_c=\frac{h_c}{r_0}$; $\bar{M}=\frac{M}{r_0}$; $\gamma^2=\frac{\kappa_z}{\kappa_r}$; $\beta=\sigma\bar{M}(\bar{h}_c-\bar{M})$; $\tau^*=\frac{\kappa_1 h_c^* t}{\mu_1 r_0^2}$; $\tau=\frac{\kappa h_c t}{\mu r_0^2}$;

$\tau_в=\frac{\kappa_2 M t}{\mu_1 r_0^2}$; $\ell_{0z}=\frac{\kappa_z t}{\mu r_0}$; ν_n – корни уравнения $J_0(\nu_n)=0$;

$\Psi(\bar{M},\lambda)=1+\sigma th\nu_n\bar{M}\,th\nu_n(\bar{h}_c-\bar{M})+\frac{\lambda^2 r_0}{\nu_n}\left[th\nu_n\bar{M}+\sigma th\nu_n(\bar{h}_c-\bar{M})\right]$; $\Psi(\bar{M},0)=\Psi(\bar{M},\lambda)$ при $\lambda=0$;

$\Phi(\bar{M},\lambda)=th\nu_n(\bar{h}_c-\bar{M})+\sigma th\nu_n\bar{M}+\frac{\lambda^2 r_0}{\nu_n}\left[\sigma+th\nu_n\bar{M}\,th\nu_n(\bar{h}_c-\bar{M})\right]$; $\Phi(\bar{M},0)=\Phi(\bar{M},\lambda)$ при $\lambda=0$.

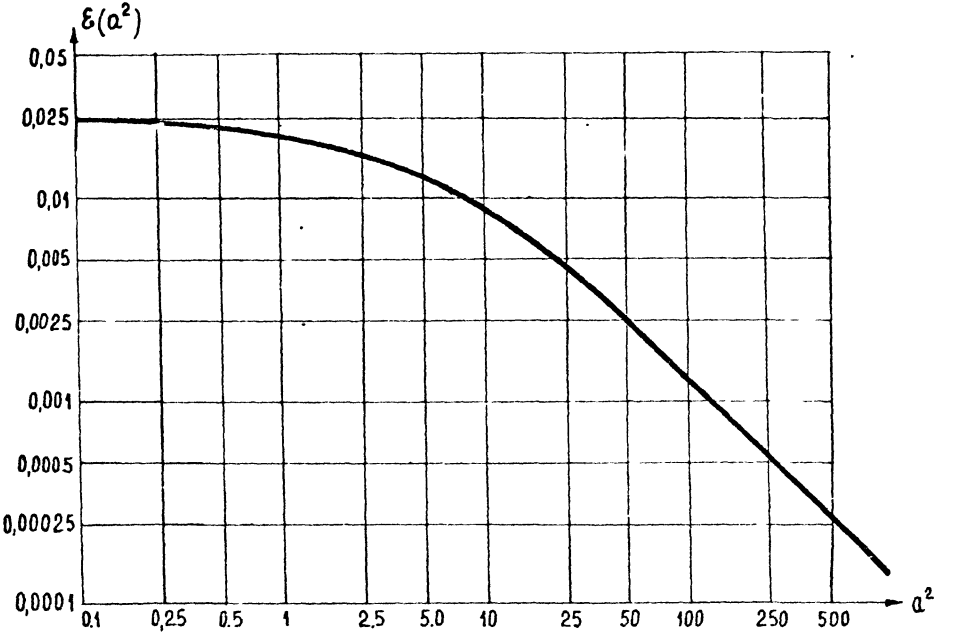


Рис. IУ.15. График функции $\varepsilon(\alpha)^2 = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{\vartheta^3(\alpha^2+\vartheta_n^2)J_1(\vartheta_n)}$, где ϑ_n – корни уравнения $J_0(\vartheta_n)=0$.

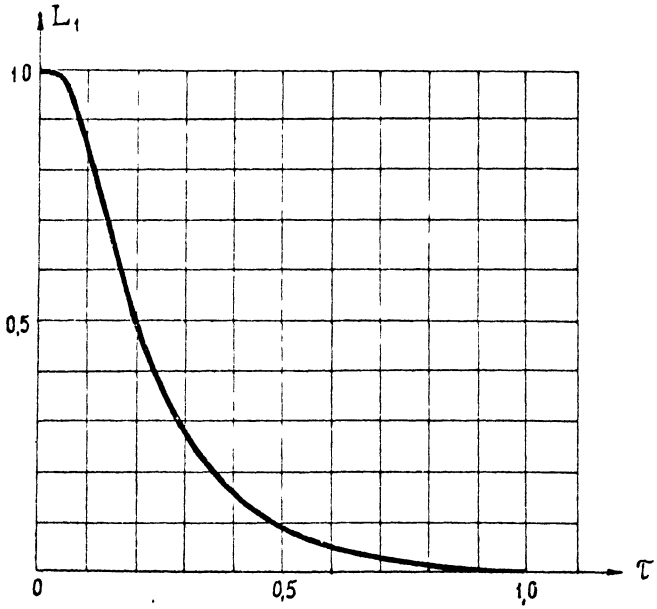


Рис.IУ.I6. График функции $L_1(\tau)=2\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n J_1(\nu_n)}\exp(-\nu_n^2\tau)$,

где ν_n - корни уравнения $J_0(\nu_n)=0$.

зависимости от конкретных условий может носить установившийся или неустановившийся характер. Установившаяся фильтрация внутри дренируемого контура имеет место лишь при поступлении инфильтрационного или напорного питания, а также при одновременном поступлении обоих видов питания. Во всех остальных случаях имеет место неустановившаяся фильтрация, заканчивающаяся полной сработкой запасов грунтовых вод внутри дренируемого контура. При наличии питания установившийся режим наступает через некоторый промежуток времени, определяемый размерами дренируемой территории и параметрами водоносного пласта.

IУ.I7. При расчете кольцевого дренажа представляют наибольший интерес две величины: положение уровня грунтовых вод в центре дренажа (т.е. в наиболее удаленной точке) и приток воды в дренаж.

Расчетные зависимости по определению положения сниженного уровня грунтовых вод в центре дренируемой территории приведены в табл.IУ-5. Отметим, что некоторые из рядов, входящие в расчетные формулы, не табулированы. Однако, учитывая знакопеременность рядов, при конкретных расчетах с погрешностью менее 8-I0% можно ограничиться 3-4 членами ряда.

IУ.I8. Полный приток воды, поступающий в дренаж, складывается из внутреннего и внешнего, причем величина внешнего притока значительно больше внутреннего. Тем не менее в начальные моменты времени и внутренний приток может быть весьма большим, поэтому пренебрежение им не всегда допустимо.

IУ.I9. Определение внутреннего притока в случае двухслойного водоносного пласта с инфильтрационным и напорным питанием (рис.IУ-II) производится по формуле:

$$Q_1 = 4\pi K_1 \tau_0 \left[h_0 + (\sigma - 1)M \right] \left\{ \frac{h_e - h_0}{\tau_0} \exp(-\beta^2) U_1(\tau^*) + \right.$$
$$\left. + \frac{\omega \tau_0 + \lambda^2 K_1 \sigma (H_0 - h_0)}{K_1 h_c^*} \left[U_2(\beta^*) - \exp(-\beta^2 \tau^*) U_3(\tau^*, \beta) \right] \right\}. \qquad \text{(IУ-53)}$$

В формуле (IУ-53) и ниже сохранены обозначения, использованные в таблице IУ-5. Функции $U_1(\tau^*)$, $U_2(\beta)$ и $U_3(\tau^*,\beta)$ определяются формулами

$$U_1(\tau^*) = \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-\nu_n^2 \tau^*); \quad U_2(\beta) = U_3(0, \beta), \quad U_3(\tau^*, \beta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-\nu_n^2 \tau^*)}{\nu_n^2 + \beta^2}.$$

Значения функций

$\bar{h}_c/\gamma$	$R_1(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$ $\lambda^2\gamma\tau_0$						
	0	0,00I	0,0I	0,I	I	0	0,00I
0		500	50	5	0,5		I25
0,005	25,70I	25,I57	I6,452	4,553	0,493	4,655	4,648
0,0I	I2,470	I2,23I	I0,474	4,06I	0,492	2,348	2,308
0,025	5,35I	5,2I3	5,0I5	2,967	0,475	I,024	I,0I6
0,05	2,498	2,490	2,407	I,806	0,452	0,470	0,469
0,075	I,624	I,623	I,582	I,304	0,433	0,3II	0,3I0
0,I	I,26I	I,259	I,238	I,048	0,4II	0,238	0,237
0,I5	0,883	0,882	0,875	0,752	0,363	0,I58	0,I58
0,20	0,655	0,654	0,649	0,595	0,3I9	0,I26	0,I25

$$R_1(\bar{h},\lambda)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{\mu_n J_1(\mu_n)\cdot(\mu_n \operatorname{th}\mu_n\bar{h}+\lambda^2\gamma\tau_0)}\ ;$$

$$R_2(\bar{h},\lambda)=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{\mu_n^3 J_1(\mu_n)\cdot(\mu_n \operatorname{th}\mu_n\bar{h}+\lambda^2\gamma\tau_0)}\ ;$$

$R_1(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$, $R_2(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$, $R_3(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$. Таблица IУ-6

$R_2(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$				$R_3(\bar{h}_c/\gamma, \lambda)$				
$\lambda^2\gamma r_0$				$\lambda^2\gamma r_0$				
0,0I	0,I	I	I0	0	0,00I	0,0I	0,I	I
I2,5	I,25	0,I25	0,0I25	∞	500	50	5	0,5
3,324	I,025	0,I2I	0,0I25	25,700	25,I56	I6,45I	4,55I	0,493
I,984	0,839	0,II9	0,0I24	I2,462	I2,230	I0,470	4,058	0,49I
0,937	0,558	0,II2	0,0I23	5,34I	5,209	5,0I2	2,957	0,474
0,455	0,348	0,I02	0,0I22	2,489	2,482	2,398	I,80I	0,45I
0,296	0,246	0,093	0,0I2	I,604	I,598	I,580	I,038	0,432
0,234	0,I98	0,084	0,0I2	I,24I	I,239	I,2I7	I,03I	0,405
0,I58	0,I42	0,073	0,0I2	0,873	0,872	0,863	0,722	0,355
0,I25	0,II4	0,064	0,0II	0,609	0,608	0,603	0,553	0,299

$$R_3(\bar{h}, \lambda) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n J_1(\mu_n) ch\,\mu_n \bar{h} (\mu_n th\,\mu_n \bar{h} + \lambda^2 \gamma r_0)} .$$

μ_n - корни уравнения $J_0(\mu_n) = 0$

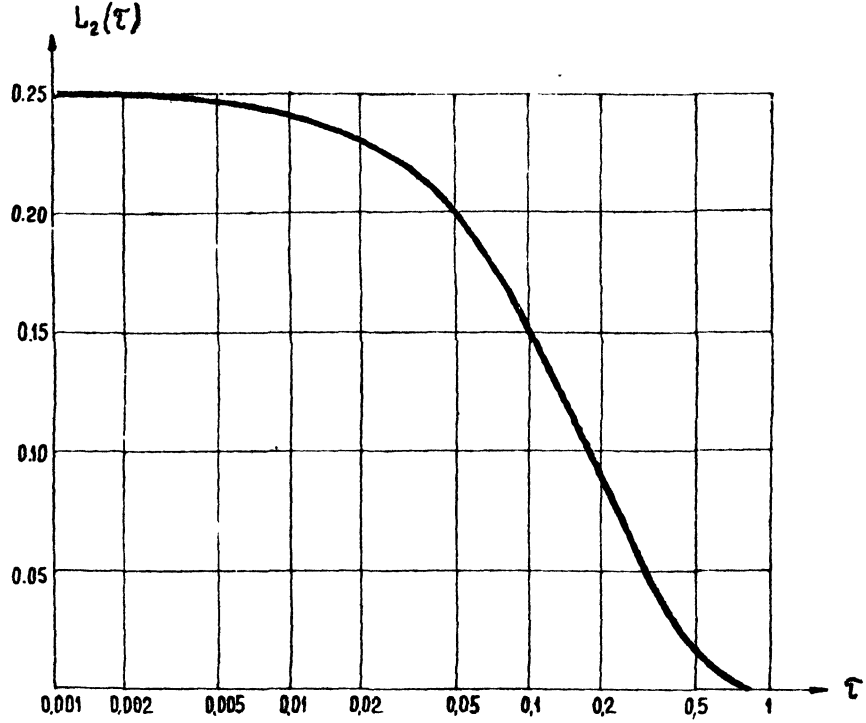


Рис.IУ.I7. График функции $L_2(\tau)=2\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{\nu_n^2 J_1(\nu_n)}\exp(-\nu_n^2\tau)$, где ν_n – корни уравнения $J_0(\nu_n)=0$.

Значения функции $U_1(\tau^*)$ приведены на рис.IУ.I8, а функции $U_3(\tau^*, \beta)$ при $\tau^* \leq 0{,}1$ - в табл.IУ.7 При $\tau^* > 0{,}1$ функция $U_3(\tau^*, \beta)$ находится из зависимости

$$U_3(\tau^*, \beta^2) = \frac{exp(-\nu_1 \tau^*)}{\nu_1^2 + \beta^2}; \qquad \nu_1 = 2{,}4048$$

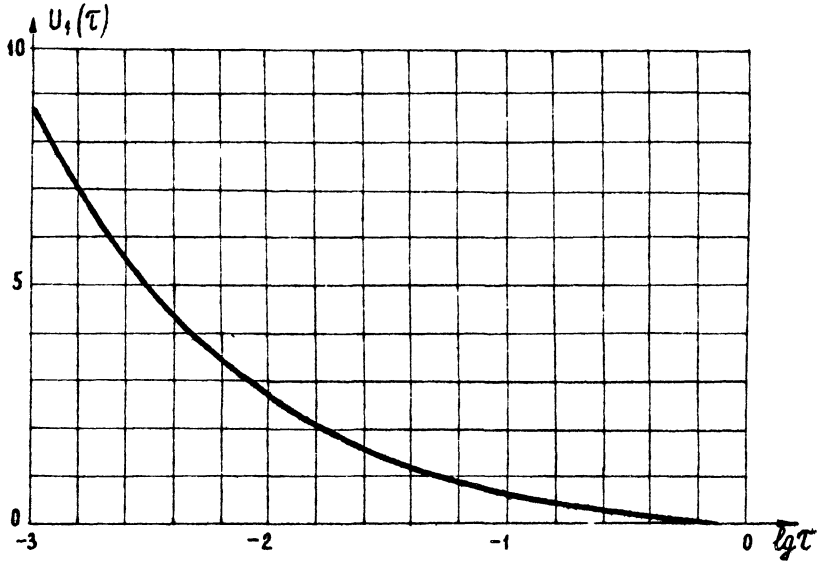


Рис.IУ.I8. График функции $U_1(\tau) = \sum_{n=1}^{n=\infty} exp(-\nu_n^2 \tau)$,

где ν_n - корни уравнения $\mathcal{Z}_0(\nu) = 0$.

При отсутствии инфильтрационного или напорного питания в (IУ-53) следует считать равными нулю ω или λ . При $\beta = 1$ из (IУ-53) получается расчетная формула для однослойного пласта (рис.IУ-I3).

IУ.20. Определение средней мощности пласта (однослойного или двухслойного) производится по формуле (IУ-23), причем при определении коэффициента α необходимо L заменить на γ_0 .

IУ.2I. Внешний приток в зависимости от конкретных условий может быть вычислен по формулам установившейся или неустановившейся фильтрации.

Таблица IУ-7

Значения функции $U_3\left(\tau, \frac{\lambda^2 r_c^2}{h_c}\right)$.

τ	$\frac{\lambda^2 r_c^2}{h_c}$						
	0	0,05	0,I	0,5	I	5	I0
0	0,2308	0,2292	0,2277	0,2I64	0,2040	0,I448	0,II09
0,005	0,2I02	0,2089	0,2075	0,I968	0,I863	0,I278	0,0954
0,0I	0,I980	0,I953	0,I933	0,I827	0,I7I0	0,II64	0,0857
0,025	0,I675	0,I659	0,I647	0,I552	0,I449	0,0948	0,0684
0,05	0,I370	0,I358	0,I349	0,I265	0,II75	0,0759	0,053I
0,075	0,II53	0,II43	0,II34	0,I064	0,0987	0,063I	0,0436
0,I	0,0988	0,0978	0,0970	0,0908	0,0842	0,0534	0,0368

IУ.22. Во внешней зоне инфильтрационное питание отсутствует, поэтому установившаяся фильтрация возможна при наличии контура питания (кругового, линейного или иной плановой конфигурации), а также при напорном питании снизу. В случае однослойного пласта с круговым контуром питания радиусом R при наличии напорного питания (см.рис.IУ-I3) определение внешнего притока производится по формуле

$$Q = \pi\kappa \frac{h_e^2 - H_0 h_c + \alpha r_0 (H_0 h_c - h_0^2)\left[K_0(\alpha R) I_1(\alpha r_0) + I_0(\alpha R) K_1(\alpha r_0)\right]}{I_0(\alpha R) K_0(\alpha r_0) - I_0(\alpha r_0) K_0(\alpha R)}, \qquad (IУ.54)$$

а свободная поверхность строится по уравнению

$$h^2 = H_0 h_c + \frac{(H_0 h_c - h_0^2)\left[K_0(\alpha R) I_0(\alpha r) - I_0(\alpha R) K_0(\alpha r)\right] +}{I_0(\alpha R) K_0(\alpha r_0) - I_0(\alpha r_0) K_0(\alpha R)} \qquad (IУ-55)$$

$$+ \frac{(h_e^2 - H_0 h_c)\left[K_0(\alpha r_0) I_0(\alpha r) - I_0(\alpha r_0) K_0(\alpha r)\right]}{}.$$

Здесь $\alpha^2 = \frac{2\kappa_r}{\kappa\delta h_c}$; $I_0(\xi)$, $I_1(\xi)$, $K_0(\xi)$, $K_1(\xi)$ - функции Бесселя первого и второго рода мнимого аргумента.

При отсутствии кругового контура питания, т.е. при $R \to \infty$ формулы (IУ-54) - (IУ-55) принимают вид

$$Q = \pi K \alpha r_0 (H_0 h_c - h_0^2) \frac{K_1(\alpha r_0)}{K_0(\alpha r_0)}; \qquad (IУ-56)$$

$$h^2 = H_0 h_c - (H_0 h_c - h_0^2) \frac{K_0(\alpha r)}{K_0(\alpha r_0)} . \qquad (IУ-57)$$

При отсутствии напорного питания формулы (IУ-54) - (IУ-55) переходят в формулы Дюпюи:

$$Q = \pi K \frac{h_c^2 - h_0^2}{\ln \frac{R}{r_0}} , \qquad (IУ-58)$$

$$h^2 = h_0^2 + \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{r}{r_0} . \qquad (IУ-59)$$

При двухслойном (см.рис.IУ.II) строении пласта расчет ведется по формулам (IУ-54) - (IУ-59), однако, вводится приведенный коэффициент фильтрации, равный

$$K_{пр} = \frac{K_2 M + K_1 (h_c - M)}{h_c} . \qquad (IУ-60)$$

При расположении дренажа вблизи линейного контура с постоянным напором при расчете используется метод отображений.

IУ.23. Отсутствие контура питания и напорного питания обусловливают неустановившийся характер фильтрации, когда приток воды в дренаж со временем уменьшается. В случае однослойного и неограниченного в плане водоносного пласта переменный во времени внешний приток в дренаж определяется по формуле

$$Q = \pi K \frac{(2h_c - S_0) S_0}{F_{сов}(\tau)} . \qquad (IУ-6I)$$

Значения функции $F_{сов}(\tau)$ приведены на рис.IУ.I9. Построение депрессионной поверхности (при $\tau > \tau_0$) производится по уравнению

$$h^2 = h_c^2 - (h_c^2 - h_0^2) \theta_\tau(\bar{r}, \tau) . \qquad (IУ.6Ia)$$

Значения функции $\theta_\tau(\bar{r}, \tau)$ приведены на рис.IУ.20. Расчет в двухслойных пластах ведется с использованием соотношения (IУ-60).

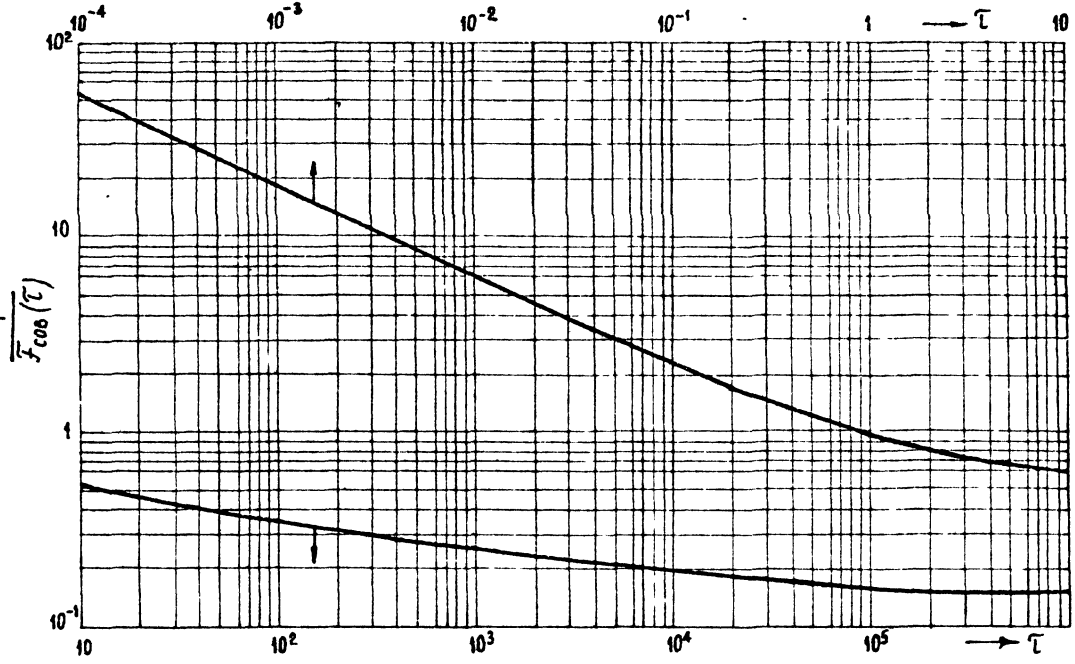


Рис.IУ.I9. График функции $\frac{1}{\mathcal{F}_{сов}(\tau)} = \frac{4}{\pi^2}\int_0^\infty \frac{exp(-u^2\tau)}{y_0^2(u)+y_1^2(u)} \cdot \frac{du}{u}$.

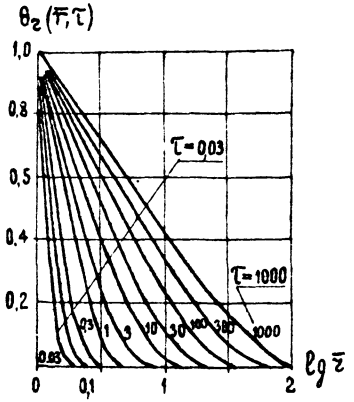


Рис.IУ.20. График функции $\theta_2(\bar{r},\tau)$.

IУ.24. Определение средней мощности, входящей в формулы (IУ-54) - (IУ-6I а), производится по формуле (IУ-23). С целью оценки коэффициента α производилось моделирование фильтрации к кольцевому дренажу (внешняя зона) на машине УСМ-1. Результаты моделирования показали, что для практических расчетов коэффициент необходимо определять по соотношениям

$$\alpha = 0{,}7 \quad \text{при} \quad \frac{\kappa t}{\mu r_c} < 50;$$

$$\alpha = 0{,}2 \quad \text{при} \quad \frac{\kappa t}{\mu r_c} > 50.$$

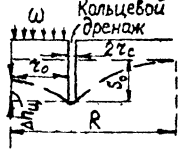
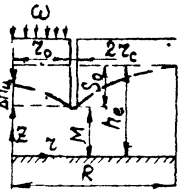
При расчете положения депрессионной поверхности на больших расстояниях от дренажа ($r > 5r_c$) можно считать, что $h_c = h_e$.

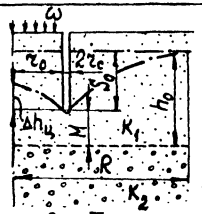
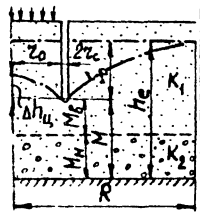
IУ.25. Несовершенный кольцевой горизонтальный дренаж. При расчете несовершенного дренажа не удается выделить внутреннюю и внешнюю области фильтрации, т.к. они сливаются в одну. Ввиду этого вывод расчетных зависимостей значительно усложняется. Так, отсутствуют расчетные зависимости, учитывающие напорное питание пластов снизу. Более изученной является установившаяся фильтрация, когда имеется контур с постоянным напором, поэтому эти задачи рассматриваются в первую очередь.

IУ.26. Установившаяся фильтрация. Расчетные зависимости по определению притока в дренаж и построению депрессионной поверхности за пределами и внутри дренируемого контура приведены в табл. IУ-8.

Таблица IV 8.

Расчетные зависимости для кольцевого несовершенного дренажа

NN п/п	Расчетная схема	Строение пласта в разрезе	Расчетная формула	NN формула	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	 Рис IV 21	Однослойное, неограниченной мощности	$Q=\frac{2\pi^2 K r_0 S_0}{\ln 8r_0-\ln r_c}+\pi\omega r_0^2$	IV 62	$K(\lambda)$ - полный эллиптический интеграл при модуле λ
			$\Delta h_ц=S_0\left(1-\frac{\pi}{\ln 8r_0-\ln r_c}\right)+\frac{\omega r_0}{2\pi K}\left(\ln\frac{8r_0}{r_c}-\pi\right)$	IV 63	
			$S=\frac{Q}{\pi^2 K}\left[\frac{1}{r+r_0}K\left(\frac{2\sqrt{r r_0}}{r+r_0}\right)-\frac{1}{R+r_0}K\left(\frac{2\sqrt{R r_0}}{R+r_0}\right)\right]$	IV 64	
	 Рис IV 22	Однослойное, конечной мощности	$Q=\frac{\pi K(2h_e-S_0)S_0}{\ln 8r_0-\ln r_c+\zeta_1}+\pi\omega r_0^2$	IV 65	Значения φ_1, φ_2 и $\mathcal{F}$ приведены на рис IV 25, IV 26, IV 27, IV 28, IV 29
			$\zeta_1=\frac{1}{\pi\bar{r}_0}\left[\ln\frac{8r_0}{r_c}+2\bar{r}_0\varphi(\bar{r}_0,\bar{r}_1)\right]-\ln\frac{r_1}{r_0}$	IV 66	
			$\varphi(\bar{r}_0,\bar{r}_1)=\varphi_1(\bar{r}_0)-\varphi_2(\bar{r}_1)$	IV 67	
			$\Delta h_ц=S_0\frac{\ln 8r_0-\ln r_c-\pi+2\bar{r}_0\mathcal{F}(\bar{r}_0)}{\ln 8r_0-\ln r_c+2\bar{r}_0\varphi(\bar{r}_0,\bar{R})}+\frac{\omega r_0}{2\pi K}\left[\ln\frac{8r_0}{r_c}-\pi+2\bar{r}_0\mathcal{F}(\bar{r}_0)\right]$	IV 68	
			$S=h_e-\sqrt{h_e^2-\frac{Q}{\pi^2 K}\left[\frac{M^*}{r+r_0}K\left(\frac{2\sqrt{r r_0}}{r+r_0}\right)+\varphi_2(\bar{r})-\varphi_2(\bar{R})\right]}$	IV 69	

1	2	3	4	5	6
3	 Рис. IV.23.	Двухслойное, неограниченной мощности	$Q=\frac{\pi^2 K_1 r_0 (2h_e - S_0)\cdot S_0}{M^*\left[\ln 8\bar r_0 - \ln \bar r_c + 2\bar r_0 \varphi_\delta(\bar r_0,\bar R)\right]} + \pi\omega r_0^2$ $\varphi_\delta(\bar r_0,\bar R)=\varphi_{1\delta}(\bar r_0)-\varphi_{2\delta}(\bar R)$ $\Delta h_ц = S_0\,\frac{\ln 8\bar r_0 - \ln \bar r_c - \pi + 2\bar r_0 F_\delta(\bar r_0)}{\ln 8\bar r_0 - \ln \bar r_c + 2\bar r_0 \varphi_\delta(\bar r_0,\bar R)} + \frac{\omega r_0}{2\pi K_1}\left[\ln\frac{8\bar r_0}{\bar r_c} - \pi + 2\bar r_0 F_\delta(\bar r_0)\right]$ $S = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Q}{\pi^2 K_1}\left[\frac{M^*}{\bar r + \bar r_0} K\left(\frac{2\sqrt{\bar r\,\bar r_0}}{\bar r + \bar r_0}\right) + \varphi_{2\delta}(\bar r) - \varphi_{2\delta}(\bar R)\right]}$	IV-70 IV-70 а IV-71 IV-72	Значения $\varphi_{1\delta}, \varphi_{2\delta}, F_\delta$ приведены на рис IV.25; IV.26; IV.27; IV.28; IV.29
4	 Рис IV.24.	Двухслойное конечной мощности	$Q=\frac{\pi K_1 (2h_e^* - S_0) S_0}{\ln R - \ln r_0 + \zeta_2} + \pi\omega r_0^2$ $\zeta_2 = \frac{\beta+\delta(1-\beta)}{\pi\bar r_0}\left[\ln\frac{8\bar r_0}{\bar r_c} + \frac{4\bar r_0}{1+\delta}\varphi(\bar r_0,\bar r_1^*) + \frac{2\bar r_0}{\beta}\varphi_\delta\left(\frac{\bar r_0}{\beta},\frac{\bar r_1^*}{\beta}\right)\right] - \ln\frac{r_1^*}{r_0}$ $\Delta h_ц = S_0\,\frac{\ln 8\bar r_0 - \ln \bar r_c + 2\bar r_0(1+\delta)F(\bar r_0) + 2\frac{\bar r_0}{\beta}F_\delta\left(\frac{\bar r_0}{\beta}\right) - \pi}{\ln 8\bar r_0 - \ln \bar r_c + 2\bar r_0(1+\delta)\varphi(\bar r_0,\bar R) + 2\frac{\bar r_0}{\beta}\varphi_\delta\left(\frac{\bar r_0}{\beta},\frac{\bar R}{\beta}\right)} +$ $+\ \frac{\omega r_0}{2\pi K_1}\left[\ln\frac{8\bar r_0}{\bar r_c} - \pi + 2\bar r_0(1+\delta)F(\bar r_0) + 2\frac{\bar r_0}{\beta}F_\delta\left(\frac{\bar r_0}{\beta}\right)\right]$	IV-73 IV-74 IV-75	

Условные обозначения: $r_1 = r_0 + h_e$; $r_1^* = r_0 + h_c^*$; $h_e^* = h_e + (\delta-1)M_н$; $M^* = M + \alpha S_0$; $\alpha = 0{,}5 \div 0{,}7$; $\sigma = \frac{K_2}{K_1}$; $\delta = \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} = \frac{1-\sigma}{1+\sigma}$; $\beta = \frac{M_в}{M}$; $\bar r = \frac{r}{M^*}$; $\bar r_0 = \frac{r_0}{M^*}$; $\bar r_1 = \frac{r_1}{M^*}$; $\bar r_1^* = \frac{r_1^*}{M^*}$.

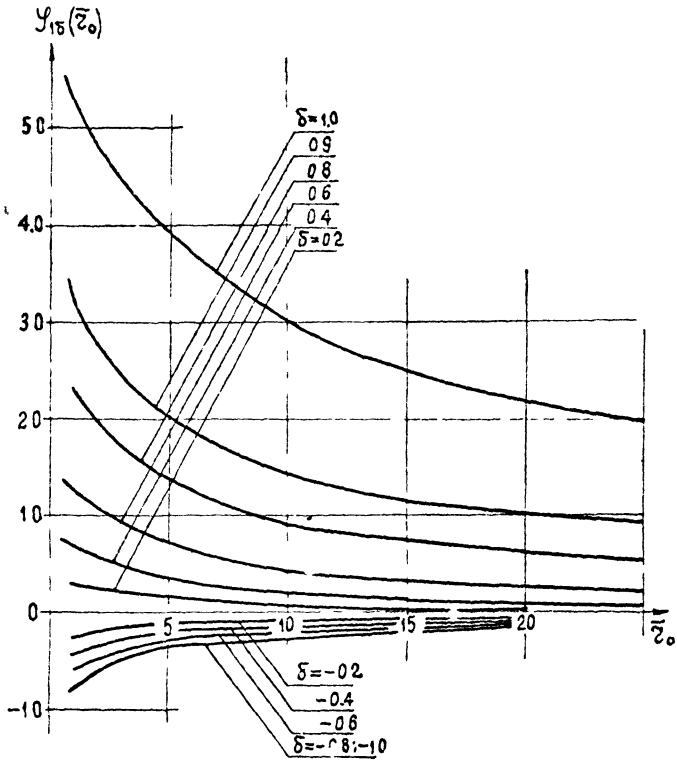


Рис.IУ.2б. График функции $\varphi_{1\delta}(\bar{\tau}_0)$

/ при $\delta = 1$ $\varphi_{1\delta}(\bar{\tau}_0) = \varphi_1(\bar{\tau}_0)$ /

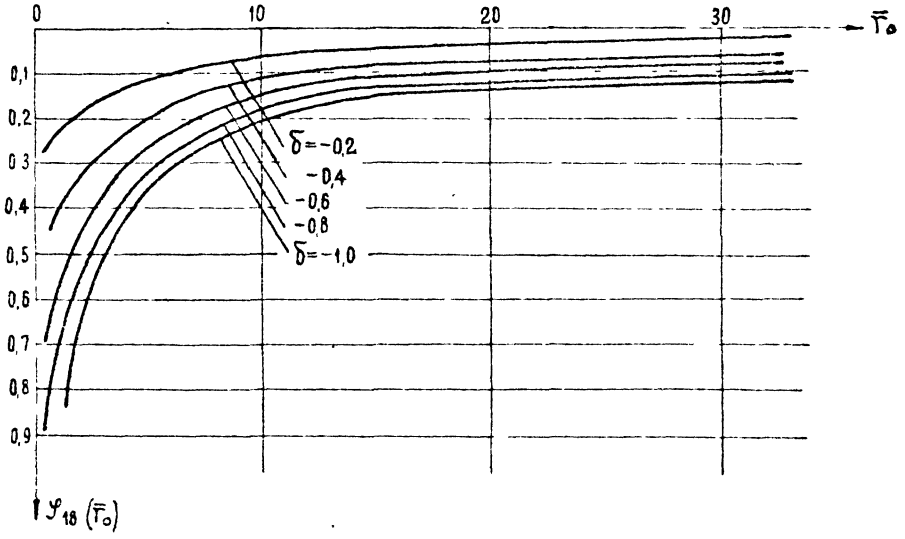


Рис.IУ.26. График функции $\varphi_{18}(\bar{r}_0)$ при $\delta < 0$.

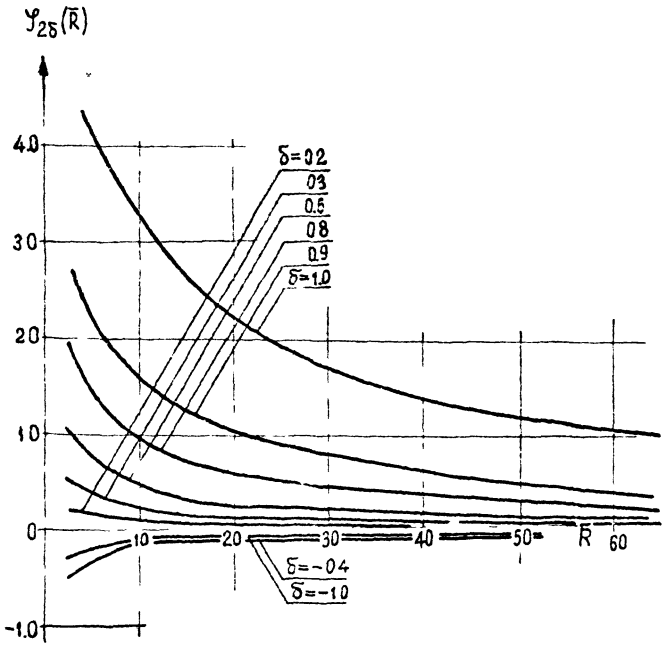


Рис.IУ.27. График функции $\varphi_{2\delta}(\bar{R})$ / при $\delta = 1$ $\varphi_{2\delta}(\bar{R}) = \varphi_2(\bar{R})$ /

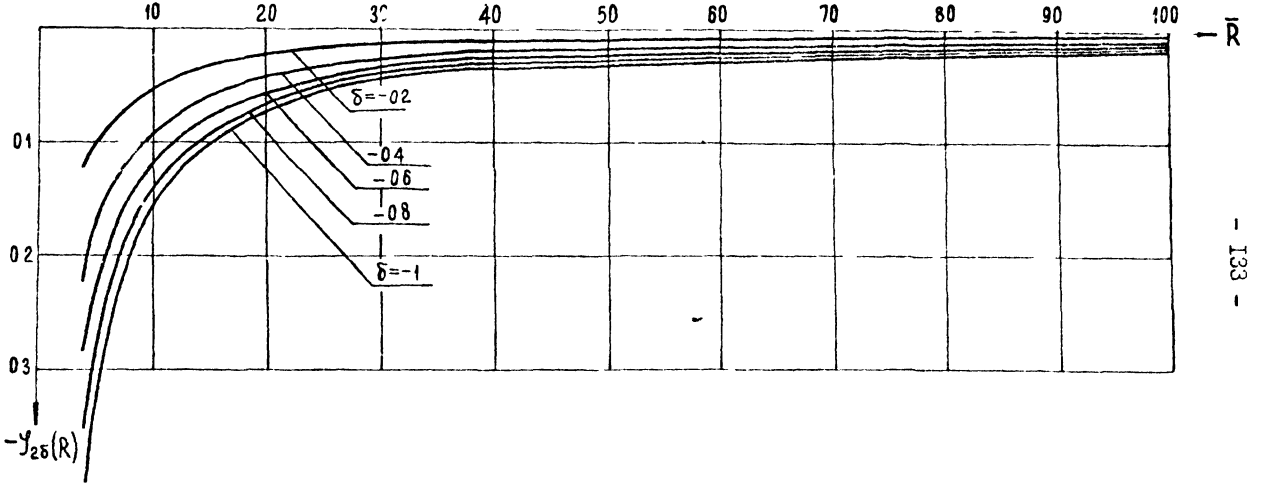


Рис.IУ.28. График функции $\varphi_{2\delta}(\bar{R})$ при $\delta < 0$.

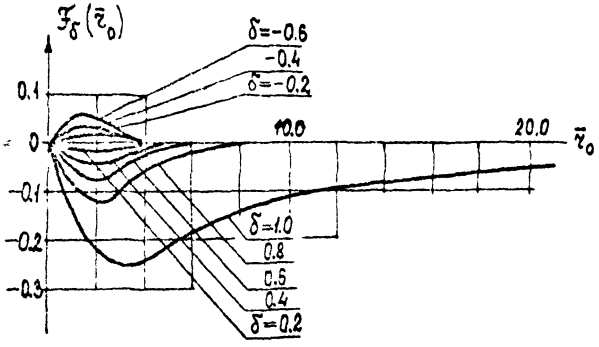


Рис.IУ.29. Графики функции $\mathcal{F}_\delta$ ($\bar{\tau}_0$)
/ при $\delta = 1$ $\mathcal{F}_\delta(\bar{\tau}_0) = \mathcal{F}(\bar{\tau}_0)$ /

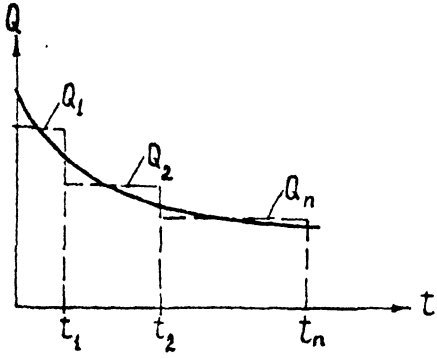


Рис.IУ.30. Схема аппроксимации кривой $Q=f(t)$ ступенчатым графиком.

IУ.27 Неустановившаяся фильтрация. Оценка эффективности кольцевого несовершенного горизонтального дренажа с постоянным уровнем воды в дренах при неустановившемся фазе фильтрации производится в два этапа: вначале определяется приток воды в дренаж (который со временем уменьшается), затем отыскивается положение депрессионной поверхности.

IУ.28. Однослойный пласт конечной мощности (см.рис.IУ.22). Вначале по формуле

$$Q = \frac{\pi\kappa(2h_c - S_0)S_0}{F_{сов}(\tau) + \zeta_1} + \pi\omega r_0^2 \qquad (IУ\text{-}76)$$

находится приток воды в дренаж в различные моменты времени. Дополнительное сопротивление ζ_1 вычисляется по формуле (IУ-66). Функция $F_{сов}(\tau)$ в зависимости от аргумента $\tau = \frac{\kappa h_c t}{\mu r_0^2}$ приведена на рис. IУ.19.

Затем строится график $Q = f(t)$ и криволинейный график заменяется ступенчатым (рис.IУ.30), т.е. в отдельные промежутки времени переменный дебит считается постоянным. Понижение в центре дренажа находится по формуле

$$S_4 = \frac{1}{2\pi\kappa(h_c - M)} \sum_{i=1}^{i=N} (Q_i - Q_{i-1}) V_1(0, t - t_{i-1}). \qquad (IУ\text{-}77)$$

Здесь

$$V_1(0, t) = \int_0^\infty \left[1 - \frac{sh\nu\bar{M}}{sh\nu\bar{h}_c}\right]\left[1 - exp\left(-\frac{\kappa t\nu}{\mu r_0} th\nu\bar{h}_c\right)\right] \frac{J_0(\nu)}{\nu} d\nu, \qquad (IУ\text{-}78)$$

$\bar{M} = M/r_0$; $\bar{h}_c = h_c/r_0$; J - функция Бесселя первого рода.

При малых значениях $\bar{h}_c$ (когда $\bar{h}_c < 0{,}05$) выражение (IУ-78) может быть представлено в виде

$$V(0, t) \approx -\frac{\bar{h}_c - \bar{M}}{2\bar{h}_c} E_i\left(-\frac{1}{4\tau}\right). \qquad (IУ\text{-}79)$$

$E_i(-\alpha)$ - интегральная показательная функция, значения которой приведены в соответствующих справочниках.

Расчет понижения по формуле (IУ-77) производится до тех пор, пока депрессия в центре дренируемой территории не займет установившегося предельного положения, определяемого формулой (IУ-68), в которой следует считать $\varphi_2(\bar{\mathcal{R}}) = 0$.

Построение депрессионной поверхности производится по уравнению

$$S=\frac{1}{2\pi\kappa(h_c-M)}\sum_{i=1}^{i=N}(Q_i-Q_{i-1})V_1(\bar{\tau},\ t-t_{i-1})\ . \qquad (IУ\text{-}80)$$

Здесь

$$V_1(\bar{\tau},t)=\int_0^\infty\left[1-\frac{sh\nu\bar{M}}{sh\nu\bar{h}_c}\right]\left[1-exp\left(-\frac{\kappa t\nu}{\mu\tau_0}th\nu\bar{h}_c\right)\right]\frac{J_0(\nu\bar{\tau})J_0(\nu)}{\nu}d\nu\ ,\qquad \bar{\tau}=\frac{\tau}{\tau_0}\ .$$

При $\bar{h}_c < 0{,}05$ выражение $V_1(\bar{\tau},t)$ принимает вид

$$V_1(\bar{\tau},t)=\frac{\bar{h}_c-M}{2\bar{h}_c}R_{кр}(\bar{\tau},\tau);\qquad R_{кр}=\int_0^{\bar{\tau}}exp\left(-\frac{1+\bar{\tau}^2}{4U}\right)I_c\left(\frac{\bar{\tau}}{2U}\right)\frac{dU}{U}\ .$$

Значения функции $R_{кр}$ приведены в табл.IУ-9.

IУ.28. двухслойный пласт конечной мощности (см.рис.IУ-24).

Вначале по формуле

$$Q=\frac{\pi\kappa_1(2h_c^*-S_0)S_0}{\mathcal{F}_{cob}(\tau^*)+\zeta_2}+\pi\omega\tau_0^2;\quad \tau^*=\frac{\kappa_1 h_c^* t}{\mu_0\tau_0^2};\quad h_c^*=h_c-M_н+\sigma M_н \qquad (IУ\text{-}81)$$

находится приток в дренаж в различные моменты времени, причем дополнительное сопротивление ζ_2 вычисляется по формуле (IУ-74). Затем строится график $Q=f(t)$, который заменяется ступенчатым (см.рис.IУ.30). Понижение в центре дренажа вычисляется по формуле

$$S_ц=\frac{1}{2\pi\kappa_1(h_c-M)}\sum_{i=1}^{i=N}(Q_i-Q_{i-1})V_2(0,\ t-t_{i-1}). \qquad (IУ\text{-}82)$$

Здесь

$$V_2(0,t)=\int_0^\infty\left[1-\frac{ch\nu(\bar{M}-\bar{M}_н)}{ch\nu(\bar{h}_c-\bar{M}_н)}\cdot\frac{\Phi(\bar{M})}{\Phi(\bar{h}_c)}\right]\left\{1-exp\left[-\ell_0\frac{\Phi(\bar{M})}{\Phi(\bar{h}_c)}\right]\right\}\frac{J_0(\nu)}{\nu}d\nu; \qquad (IУ\text{-}83)$$

$$\Phi(z)=th\nu(z-\bar{M}_н)+\sigma th\nu\bar{h}_c\ ;\quad \ell_0=\frac{\kappa_1 t}{\mu_1\tau_0}\ ;\quad \sigma=\frac{\kappa_2}{\kappa_1}\ .$$

При малых $\bar{h}_c$ (т.е. при $\bar{h}_c<0{,}05$) выражение (IУ-83) принимает вид:

для малых β_0

$$V_2(0,t) = \frac{\beta_0}{\sigma \bar{M}_н} K_0\left(\frac{1}{\sqrt{\sigma \bar{M}_н (\bar{h}_c - \bar{M}_н)}}\right);$$

для больших β_0

$$V_2(0,t) = -\frac{\beta_0}{2\sigma \bar{M}_н} E_i\left(-\frac{1}{4\beta_0 \bar{h}_c^*}\right),$$

причем $\bar{h}_c^* = \bar{h}_c - \bar{M}_н + \sigma \bar{M}_н$; $K_0(\alpha)$ - функция Бесселя второго рода мнимого аргумента.

Расчеты по формуле (IУ-82) производятся до тех пор, пока депрессия в центре не займет установившегося положения, определяемого формулой (IУ-75) при $\varphi_2(\bar{\mathcal{R}}) = 0$, $\varphi_{2\delta}(\bar{\mathcal{R}}) = 0$.

Построение депрессионной поверхности производится по уравнению

$$S = \frac{1}{2\pi K_1 (h_c - M)} \sum_{i=1}^{i=N} (Q_i - Q_{i-1}) V_2(\bar{r}, t - t_{i-1}).$$

При малых $\bar{h}_{ic}$ ($< 0{,}05$) вычисление $V_2(\bar{r}, t)$ производится по формулам:

для малых β_0

$$V_2(\bar{r},t) = \frac{\beta_0}{\sigma \bar{M}_н} I_0\left(\frac{\bar{r}}{\sqrt{\beta}}\right) K_0\left(\frac{1}{\sqrt{\beta}}\right) \quad \text{при} \quad \bar{r} < 1;$$

$$V_2(\bar{r},t) = \frac{\beta_0}{\sigma \bar{M}_н} I_0\left(\frac{1}{\sqrt{\beta}}\right) K_0\left(\frac{\bar{r}}{\sqrt{\beta}}\right) \quad \text{при} \quad \bar{r} > 1;$$

$\beta = \sigma \bar{M}_н (\bar{h}_c - \bar{M}_н)$;

для больших β_0

$$V_2(\bar{r},t) = \frac{h_c - M}{2h_c^*} R_{кр}(\bar{r}, \beta_0 \bar{h}_c^*).$$

IУ.29. К числу кольцевых дренажей горизонтального типа относятся также контурные дренажи вокруг хранилищ стоков.

При невозможности создать вокруг хранилищ стоков контурные завесы (по тем или иным причинам) с целью перехвата фильтрующейся воды приходится прибегать к устройству контурных дренажей горизонтального или вертикального типа. Главной задачей при фильтрационном расчете такого контурного дренажа является определение величины притока воды.

Значения функции

τ	$\ln \tau$			
		0	0,4	0,8
0,082	-2,5	0,012	0,041	0,184
0,135	-2,0	0,061	0,107	0,280
0,223	-1,5	0,180	0,231	0,411
0,368	-1,0	0,389	0,442	0,590
0,607	-0,5	0,682	0,786	0,849
1,00	0	1,094	1,075	1,165
1,649	0,5	1,456	1,477	1,537
2,718	1,0	1,899	1,913	1,953
4,482	1,5	2,364	2,373	2,397
7,389	2,0	2,844	2,848	2,864
12,183	2,5	3,331	3,333	3,343
20,086	3,0	3,826	3,835	3,835
33,115	3,5	4,323	4,328	4,334
54,598	4,0	4,809	4,815	4,817
90,017	4,5	5,304	5,313	5,314
148,413	5,0	5,802	5,812	5,812
244,692	5,5	6,312	6,312	6,312
403,429	6,0	6,810	6,810	6,810
655,142	6,5	7,310	7,310	7,310
1096,688	7,0	7,809	7,809	7,809
1818,042	7,5	8,311	8,311	8,311
2980,958	8,0	8,810	8,810	8,810

$R_{кр}(\bar{\tau}, \tau)$

Таблица IУ-9.

$\bar{\tau}$				
I,0	I,5	2,0	3,0	5,0
0,326	0,035	0,00I	0	0
0,420	0,077	0,008	0	0
0,545	0,I47	0,028	0	0
0,7II	0,25I	0,075	0,005	0
0,936	0,40I	0,I6I	0,0I8	0
I,280	0,6I4	0,302	0,062	0,00I
I,582	0,9I7	0,529	0,I56	0,008
I,982	I,269	0,822	0,334	0,040
2,4I6	I,659	I,I88	0,590	0,I30
2,875	2,I05	I,584	0,920	0,328
3,350	2,563	2,023	I,306	0,556
3,835	3,039	2,484	I,735	0,888
4,334	3,523	2,960	2,I86	I,277
4,8I8	4,0I3	3,467	2,657	I,706
5,3I5	4,507	3,937	3,I40	2,I6I
5,8I3	5,004	4,482	3,629	2,634
6,3I2	5,502	4,930	4,I24	3,II7
6,8I0	6,007	5,427	4,6I9	3,607
7,3I0	6,500	5,925	5,II6	4,I07
7,809	6,999	6,424	5,6I4	4,596
8,3II	7,499	6,924	6,II3	5,094
8,8I0	7,999	7,423	6,6I3	5,593

Полный приток воды, поступающей в контурный дренаж вокруг хранилищ (рисунок IУ.31), складывается из внутреннего и внешнего.

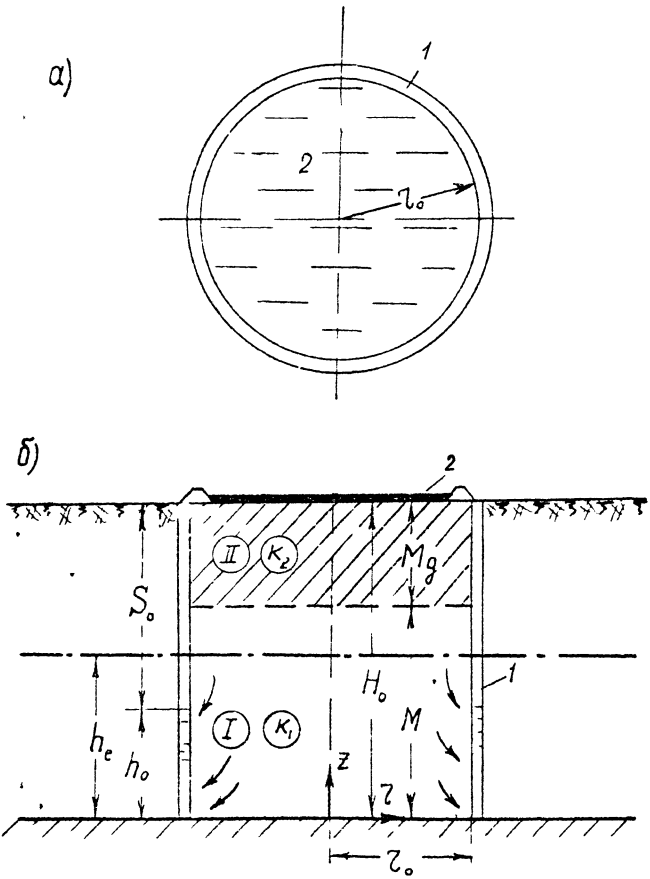


Рис.IУ.31. Схема кольцевого (контурного) горизонтального дренажа вокруг хранилища стоков.

а) план; б) разрез;

I - кольцевой (контурный) дренаж; 2 - хранилище,

I - первая область фильтрации; II - вторая область фильтрации.

Внутренний приток обусловливается просачиванием воды из хранилищ (бассейнов), а внешний поступает из водоносного горизонта, если уровень воды в дренах ниже отметок естественного зеркала грунтовых вод. Определение внешнего притока может быть выполнено по методике, изложенной выше. Ниже рассматривается вопрос об определении внутреннего притока.

IУ.30. При определении внутреннего притока воды из хранилищ в контурный дренаж следует различать два случая фильтрации со дна хранилища - свободную и подпертую.

Свободная фильтрация может иметь место в двух случаях: неэкранированные бассейны при $Q_{хр}/F_{хр} < K$ и экранированные бассейны ($Q_{хр}$ - расход воды, поступающей в хранилище площадью $F_{хр}$, K - коэффициент фильтрации пород зоны аэрации).

В первом случае внутренний приток, поступающий в дренаж, равен

$$Q_{вн} = Q_{хр},$$

во втором случае

$$Q_{вн} = K_э \frac{H_o + M_э + \alpha H_к}{M_э} F_{хр}, \qquad (IУ-84)$$

где: $K_э$ - коэффициент фильтрации пород экрана;
$M_э$ - его мощность;
H_o - глубина воды в хранилище;
$H_к$ - высота капиллярного поднятия пород экрана;
$\alpha = 0{,}3\text{-}0{,}5$.

Во всех остальных случаях будет иметь место подпертая фильтрация, которая и рассматривается в данной главе.

Наиболее целесообразным является устройство контурного дренажа горизонтального типа, поскольку он, во-первых, экономичнее в эксплуатации по сравнению с вертикальным, во-вторых, позволяет полностью устранить возможность попадания воды из хранилищ в водоносный горизонт.

IУ.31. Вопрос о фильтрационном расчете контурных горизонтальных дренажей до последнего времени достаточно полно не исследован, поэтому решение его представляет большой научно-практический интерес.

Примем следующую гидродинамическую схему. На поверхности хранилища поддерживается постоянный уровень воды, отметка которого H_0, в дренах также поддерживается постоянный уровень h_o

(см.рис.IУ,3I,б). Пусть основание хранилища заилено, параметры этого слоя $K_з$ и $M_з$. Так как проницаемость заиленного слоя (см.зона П на рис.IУ.3I,б) и его мощность значительно меньше проницаемости (K_I) и мощности (М) основного горизонта (см.зона I на рис.IУ.3I,б), допустимо считать, что фильтрация в пределах зоны П направлена только вниз, в то время как в зоне I она носит пространственный характер. Кроме того, фильтрация воды при условии постоянства H_0 и h_0 является установившейся.

Исходные дифференциальные уравнения имеют вид

$$\frac{\partial^2 S_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial S_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 S_1}{\partial z^2} = 0 \; ; \qquad \frac{d^2 S_2}{\partial z^2} = 0 .$$

Решая эти уравнения при условии постоянства напора вдоль вскрытой части дренажа ($z \le h_0$) и линейного падения его при $h_0 \le z \le M + M_з$ получаем

$$S = \frac{4MS_0}{M+\alpha M_з - h_0} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\cos\lambda_n \bar{h}_0 \cos\lambda_n \bar{z}}{\lambda_n (2\lambda_n + \sin 2\lambda_n)} \cdot \frac{I_0(\lambda_n \bar{r})}{I_0(\lambda_n r_0)} . \qquad (IУ-85)$$

Здесь

$$\alpha = \frac{K_1}{\lambda_з} , \quad \bar{z} = \frac{z}{M} ; \quad \bar{h}_0 = \frac{h_0}{M} ; \quad \bar{r} = \frac{r}{M} ; \quad \bar{r}_0 = \frac{r_0}{M} .$$

Расход, фильтрующийся из хранилища, определяется формулой

$$Q = \frac{8\pi r_0 K_1 M S_0}{M+\alpha M_з - h_0} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin\lambda_n \cos\lambda_n \bar{h}_0}{\lambda_n (2\lambda_n + \sin 2\lambda_n)} \cdot \frac{I_1(\lambda_n \bar{r}_0)}{I_0(\lambda_n \bar{r}_0)} . \qquad (IУ-86)$$

В приведенных формулах λ_n - корни уравнения

$$\lambda_n \operatorname{tg}\lambda_n = \frac{M}{\alpha M_з} . \qquad (IУ-87)$$

В частном случае неэкранированного хранилища, т.е. при $M_з = 0$, формула (IУ-86) принимает вид

$$Q = \frac{2\pi K_1 M r_0 S_0}{M - h_0} W_1 . \qquad (IУ-88)$$

Функция W_1 приведена на рис.IУ.32.

IУ.32. Решение той же задачи при постоянном притоке воды в дренаж, т.е. при

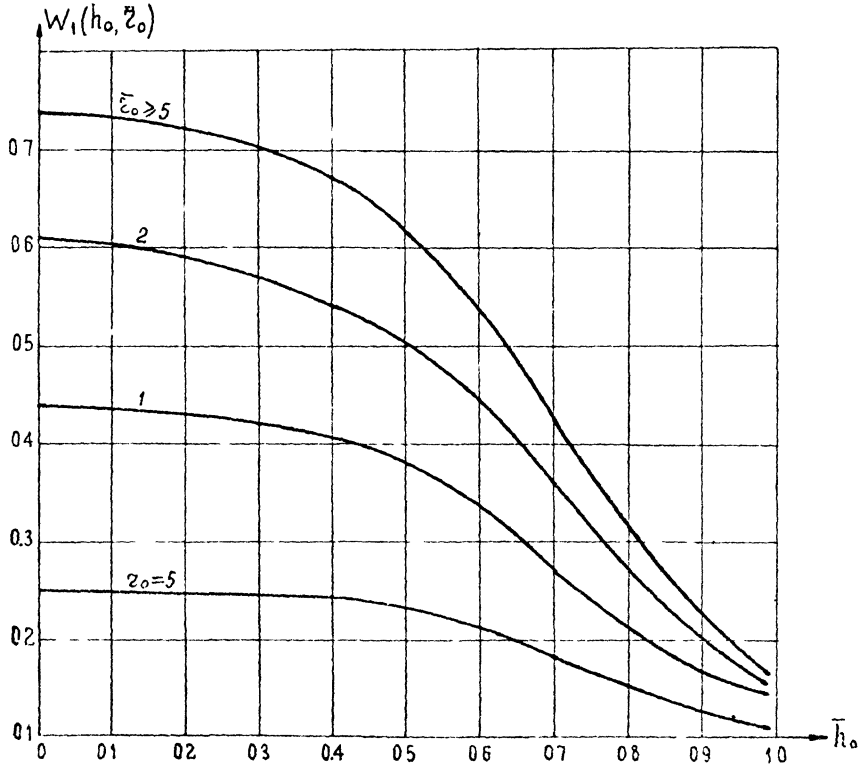


Рис.IУ.32. Графики функции

$$W_1(\bar{h}_0, \bar{\tau}_0) = 2\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^{n+1}\frac{\cos\beta_n \bar{h}_0}{\beta_n^2} \cdot \frac{I_1(\beta_n \bar{\tau}_0)}{\bar{\tau}_0 (\beta_n \bar{\tau}_0)},$$

$$\beta_n = \frac{2n-1}{2}\pi$$

$$\int_0^{h_0} \frac{\partial S_i(\tau_0, z)}{\partial \tau} dz = \frac{Q}{2\pi K_1 \tau_0} \qquad при \qquad 0 \le z \le h_0 \; ; \tag{IУ.89}$$

$$\frac{\partial S_i(\tau_0, z)}{\partial z} = 0 \qquad при \qquad h_0 \le z \le M + M_g \tag{IУ.90}$$

имеет вид: (IУ.91)

$$S_1 = \frac{2QM}{\pi K_1 \tau_0 h_0} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin \lambda_n \bar{h}_0 \cos \lambda_n \bar{z}}{\lambda_n (2\lambda_n + \sin 2\lambda_n)} \cdot \frac{I_0(\lambda_n \bar{\tau})}{I_1(\lambda_n \bar{\tau}_0)} .$$

Вычисляя среднюю величину напора вдоль вскрытой части пласта, для определения поступающего в дренаж притока воды получаем следующее выражение

$$Q = \frac{K_1 \tau_0 h_0^2 S_0}{2M^2 W} ; \qquad W = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin^2 \lambda_n \bar{h}_0}{\lambda_n^2 (2\lambda_n + \sin 2\lambda_n)} \cdot \frac{I_0(\lambda_n \bar{\tau}_0)}{I_1(\lambda_1 \tau_0)} . \tag{IУ.92}$$

В случае неэкранированного бассейна ($M_g = 0$)

$$Q = \frac{K_1 \tau_0 h_0^2 S_0}{2M^2 W_0} . \tag{IУ.93}$$

Функция W_0 табулирована, значения ее приведены на рис.IУ.33. Формула (IУ.86) рекомендуется для определения притока в открытые дрены, т.е. дрены, заполненные на всю высоту фильтрующим материалом, а (IУ.92) - в закрытые. Величина притока по(IУ.86) несколько больше чем по (IУ.92).

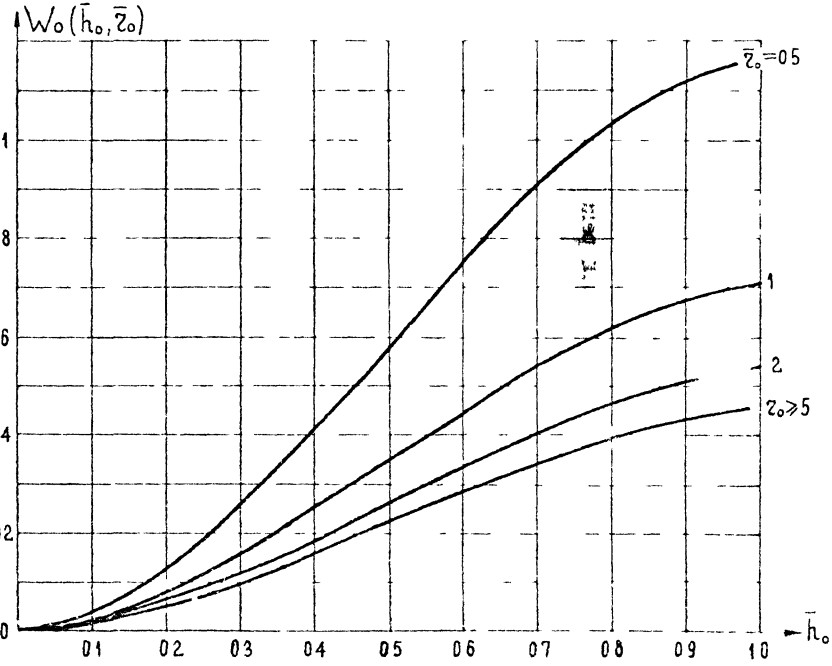


Рис.IУ.33. Графики функции $W_0(\bar{h}_0, \bar{\tau}_0) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin n^2 \beta_n \bar{h}_0}{\beta_n^3} \frac{I_0(\beta_n \bar{\tau}_0)}{I_1(\beta_n \bar{\tau}_0)}$, $\beta_n = \frac{2n-1}{2}\pi$.

в) Перехватывающий дренаж

IУ.33. Перехватывающие (береговые) дренажи предназначены для предотвращения подтопления площадок, расположенных вб[illegible]и рек или водоемов. Размещаются они обычно параллельно реке (водоему) и в подавляющем большинстве случаев имеют линейно-вытянутый характер, ввиду этого их можно в плане рассматривать как однолинейные. В случае совершенного берегового дренажа всю область фильтрации можно разделить на две зоны: первая-между рекой и дреной и вторая - за дреной (рис.IУ.34). Таким образом, при расчете берегового дренажа приходится использовать решение двух задач: первой - о работе одиночной дрены вблизи реки и второй - о работе одиночной дрены в полубесконечном массиве. Полный приток в дрену будет складываться из притоков со стороны реки (зоны I) и берега (зоны П). Рассмотрим решения для каждой из этих зон в отдельности.

IУ.34. Зона I. Гидродинамическая схема ее представлена на рис.IУ.34б. В общем случае двухслойного анизотропного пласта положение свободной поверхности грунтовых вод описывается уравнением

$$h = h_0 + (H_p - h_0)\frac{x}{L} + \frac{2(H_0 - h_0)}{L}\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{\sin\beta_n x}{\beta_n}\exp\left(-\frac{K_{12}\beta_n t}{\gamma_1\mu_1}\cdot\frac{\varphi}{\psi}\right); \quad (IУ.94)$$

$$\beta_n = \frac{n\pi}{L}.$$

Из формулы (IУ.94) получаются более простые частные случаи которые сведены в таблицу IУ.IO.

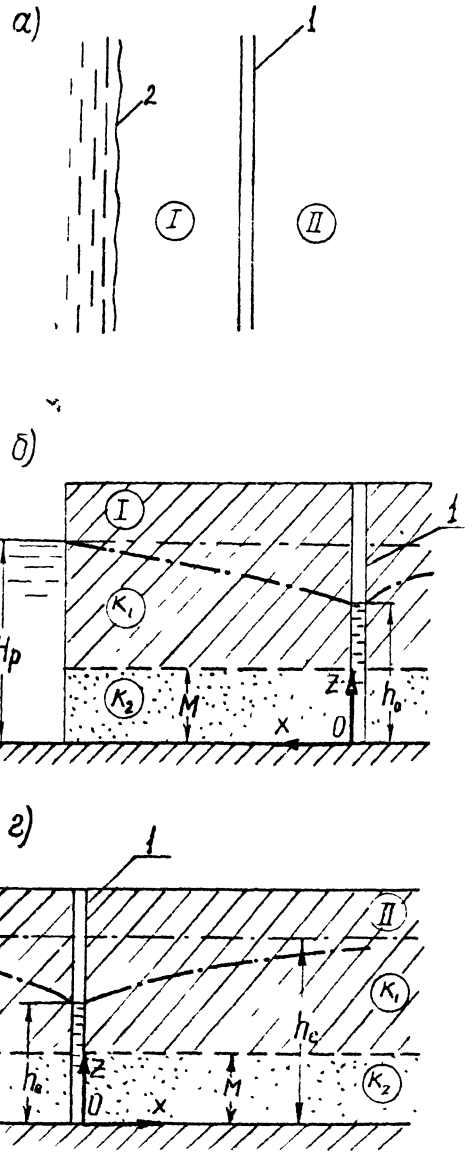
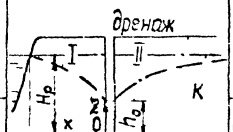
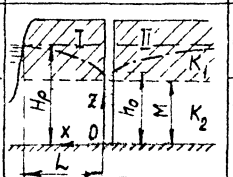
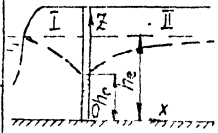
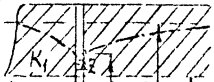


Рис.IУ.34. Схема перехватывающего (берегового) дренажа в двухслойном водоносном пласте.
а) план; б) разрез по зоне I; в) разрез по зоне II.
I - зона I (между рекой и дренажем);
II - зона II (за дренажем); 1 - дренаж;
2 - контур постоянного напора.

Расчетные зависимости для перехватывающего дренажа

Таблица IV.10.

NN п/п	Расчетная схема	Строение пласта в разрезе	Расчетная формула	№ формул	Примеч
1	2	3	4	5	6
1	 Рис IV 35	Однослойное изотропное	Зона I $h = h_0 + (H_p - h_0)\frac{x}{L} + \frac{2(H_p - h_0)}{\pi} N_4(\bar{x}, \bar{h}_c, \bar{l}_0)$	IV 95	Значения N_4 приведены в табл IV 11
2		Однослойное анизотропное ($K_x = K_z$)	$h = h_0 + (H_p - h_0)\frac{x}{L} + \frac{2(H_p - h_0)}{\pi} N_4\left(\bar{x}, \frac{\bar{h}_c}{\gamma}, \frac{\bar{l}_{02}}{\gamma}\right)$	IV 96	
3	 Рис IV 36	Двухслойное $\sigma < 20$	$h = h_0 + \frac{H_p - h_2}{L} x + \frac{2(H_p - h_0)}{\pi} N_4\left(\bar{h}_c^*, \bar{l}_{02}\right)$	IV.97	
4		Двухслойное $20 < \sigma < 50$	$h = h_0 + \frac{H_p - h_2}{L} x + \frac{2(H_p - h_0)}{\pi} N_5(\bar{x}, \bar{h}_c, \bar{M}, \sigma, \bar{l}_{02})$	IV 98	Значения N_5 приведены в табл. IV.12.
5		Двухслойное $\sigma > 50$	$h = h_0 + \frac{H_p - h_0}{L} x + \frac{2(H_p - h_0)}{\pi} N_7(\bar{x}, \beta, \tau_в)$	IV 99	
			$N_7(\bar{x}, \beta, \tau_в) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin n\pi\bar{x}}{n} \exp\left(-\frac{n^2\pi^2\tau_в}{1+n^2\pi^2\beta}\right)$	IV 100	

1	2	3	4	5	6
			При больших β $N_\gamma \approx \frac{\pi}{2}(1-\bar{x})\exp(-\tau_B)$ При малых β $N_\gamma \approx N_4(\bar{\lambda}, \bar{M}, \tau_B)$		
6	 Рис IV 37	Однослойное изотропное	Зона II $h = h_0 + (h_e - h_0)\,\mathrm{erf}\,\frac{x}{2\sqrt{at}}$	IV 101	
7		Однослойное анизотропное	$h - h_0 + \frac{2(h_e - h_0)}{\pi} \mathcal{F}_5\left(\frac{h_c}{\gamma x}, \frac{f_{0z}}{\gamma}\right)$	IV 102	Значения $\mathcal{F}_5$ приведены на рис IV.39
8	 Рис. IV 38	Двухслойное $\delta < 25$	$h - h_0 + (h_e - h_0)\,\mathrm{erf}\,\frac{x}{2\sqrt{a_B t}}$	IV 103	
9		Двухслойное $\delta > 25$	$h - h_0 + (h_c - h_c)\left[1 - \mathcal{F}_3\left(\frac{x}{2\sqrt{a_B t}}, \theta\right)\right]$	IV 104	Значения $\mathcal{F}_3$ приведены на рис IV 40

Условные обозначения: $\bar{x} = \frac{x}{L}$, $\bar{h}_c = \frac{h_c}{L}$; $\bar{M} = \frac{M}{L}$, $h_c^* = h_c + (\delta - 1)M$, $\delta = \frac{K_2}{K_1}$, $\beta = \frac{1}{\gamma}(\bar{h}_c - \bar{M})$,

$f_0 = \frac{\kappa t}{\mu L}$, $f_{0z} = \frac{K_z t}{\mu L}$, $f_{0\bar{z}} = \frac{K_1 t}{\mu_1 L}$, $\tau_B = \frac{K_2 M t}{\mu_1 L^2}$, $a_B = \frac{K_1 M}{\mu_1}$, $a^* = \frac{K_1 h_c^*}{\mu_1}$, $\alpha = \frac{\kappa h_c}{\mu}$, $\gamma^2 = \frac{K_z}{K_x}$, $\theta = \frac{K_1 t}{\mu_1 h_c}$.

Таблица IУ.II

Значения функции $N_4(\bar{x}, h_c, \beta_0)$

$\bar{x}$	$\bar{h}_c$	$\beta_0 = \frac{\varkappa t}{\mu L}$						
		0,25	0,5	I,0	I0,0	25,0	50,0	I00,0
0,I	0,0I	I,I75	0,9I7	0,66I	0,I2I	0,026	0,002	0
	0,025	0,842	0,592	0,388	0,026	0,00I	0	
	0,05	0,623	0,397	0,237	0,002	0		
	0,I0	0,437	0,252	0,I28	0			
0,25	0,I	I,332	I,235	I,075	0,273	0,060	0,005	0
	0,025	I,I93	I,0II	0,767	0,060	0,00I	0	
	0,05	I,0I9	0,776	0,5II	0,005	0		
	0,I0	0,807	0,533	0,287	0			
0,5	0,0I	0,976	0,952	0,906	0,373	0,085	0,007	0
	0,025	0,940	0,884	0,782	0,085	0,002	0	
	0,05	0,885	0,783	0,613	0,007	0		
	0,I0	0,787	0,620	0,385	0			
0,75	0,0I	0,426	0,4I4	0,40I	0,253	0,060	0,005	
	0,025	0,4I0	0,398	0,392	0,060	0,00I	0	
	0,05	0,399	0,39I	0,363	0,005	0		
	0,I0	0,390	0,359	0,257	0			
0,9	0,0I	0,I59	0,I57	0,I57	0,II0	0,026	0,002	
	0,025	0,I57	0,I57	0,I57	0,026	0,00I	0	
	0,05	0,I57	0,I57	0,I50	0,002	0		
	0,I	0,I56	0,I48	0,II0	0			

$$N_4(\bar{x}, \bar{h}_c, \beta_0) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin n\pi\bar{x}}{n} \exp(-n\pi\beta_0 \operatorname{th} n\pi\bar{h}_c).$$

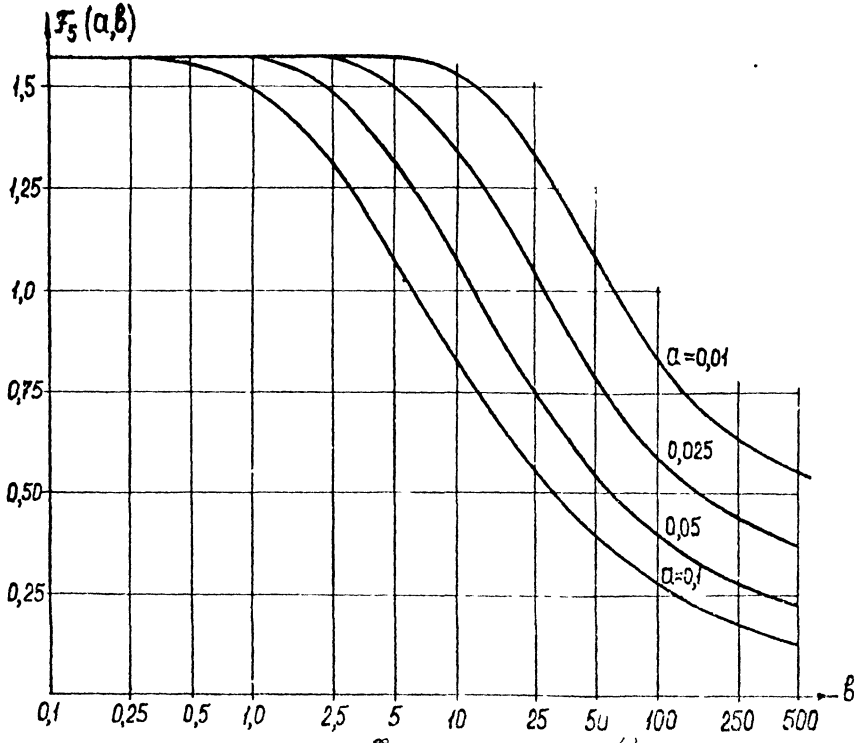


Рис.IУ.39. Графики функции $F_s(\alpha,\beta)=\int_0^\infty \sin\varepsilon\varphi(-\beta\nu\,\mathrm{th}\,\alpha\nu)\,\frac{d\nu}{\nu}$.

Значения функции

$\bar{x}$	$\bar{y}$	f_{oz}	0,I M/M_e			0,025 M/M_e	
			0,25	0,5	0,75	0,25	0,5
I	2	3	4	5	6	7	8
0,I	25	0,05	0,492	0,328	0,245	0,280	0,I62
		0,I0	0,3I0	0,I89	0,I29	0,I47	0,087
		I,0	0,I76	0,068	0,043	0,058	0,0I4
		I0,0					
		25,0					
	50	0,25	0,327	0,I94	0,I3I	0,I66	0,074
		0,5	0,I86	0,092	0,049	0,067	0,0I7
		I,0	0,086	0,026	0,008	0,0I4	0,00I
		I0,0	0	0	0	0	0
		25,0					
0,25	25	0,25	0,802	0,672	0,527	0,582	0,359
		0,5	0,642	0,4I6	0,20I	0,329	0,I93
		I,0	0,389	0,20I	0,II0	0,I33	0,032
		I0,0	0,00I	0	0	0	0
		25,0	0				
	50	0,25	0,669	0,427	0,295	0,364	0,I68
		0,5	0,4II	0,280	0,II2	0,I53	0,038
		I,0	0,I97	0,059	0,0I8	0,032	0,002
		I0,0	0	0	0	0	0
		25,0	0				
0,5	25	0,25	0,842	0,727	0,627	0,657	0,462
		0,5	0,709	0,529	0,393	0,432	0,2I4
		I,0	0,503	0,279	0,I55	0,I87	0,046
		I0,0	0,00I	0	0	0	0
		25,0	0				
	50	0,25	0,723	0,537	0,397	0,462	0,232
		0,5	0,523	0,289	0,I58	0,2I3	0,054
		I,0	0,274	0,083	0,024	0,045	0,003
		I0,0	0	0	0	0	0
		25,0					

$N_5(\bar{x}, \bar{h}_c, \bar{M}, \sigma, f_{o2})$

Таблица У.I2

h_c						
	0,05			0,I		
	M/h_c			M/h_c		
0,75	0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75
9	I0	II	I2	I3	I4	I5
0,I04 0,032 0,003 0	0,I77 0,068 0,0I4 0	0,083 0,0I9 0,0I 0	0,039 0,005 0	0,I35 0,03I 0,003 0	0,055 0,006 0	0,0I4 0,00I 0
0,034 0,004 0	0,094 0,022 0,002	0,029 0,003 0	0,007 0	0,066 0,0II 0	0,026 0,00I 0	0,003 0
0,234 0,073 0,007 0	0,378 0,I55 0,032 0	0,I87 0,044 0,003 0	0,088 0,0II 0	0,265 0,070 0,006 0	0,II2 0,0I4 0	0,03I 0,00I 0
0,079 0,009 0	0,206 0,050 0,003 0	0,006 0,006 0	0,0I6 0	0,I6I 0,025 0,00I 0	0,050 0,003 0	0,006 0
0,32I 0,I03 0,0II 0	0,46I 0,2I3 0,045 0	0,250 0,063 0,004 0	0,I23 0,0I5 0	0,306 0,094 0,009 0	0,I38 0,0I9 0	0,042 0,002 0
0,III 0,0I2 0	0,265 0,070 0,005 0	0,09I 0,008 0	0,023 0,00I 0	0,I8I 0,033 0,00I 0	0,060 0,004 0	0,008 0

I	2	3	4	5	6	7	8
0,75	25	0,25 0,5 I,0 I0,0 25,0	0,395 0,384 0,323 0,00I 0	0,386 0,334 0,I94 0	0,368 0,266 0,I09 0	0,369 0,283 0,I3I 0	0,297 0,I49 0,032 0
	50	0,25 0,5 I,0 I0,0 25,0	0,385 0,33I 0,I90 0	0,336 0,200 0,059 0	0,267 0,III 0,0I8 0	0,293 0,I48 0,032 0	0,I60 0,038 0,002 0
0,9	25	0,25 0,5 I,0 I0,0 25,0	0,I57 0,I56 0,I37 0	0,I56 0,I40 0,084 0	0,I52 0,II4 0,048 0	0,I5I 0,I2I 0,057 0	0,I26 0,065 0,0I4 0
	50	0,25 0,5 I,0 I0,0 25,0	0,I56 0,I39 0,083 0	0,I4I 0,087 0,026 0	0,II5 0,049 0,008 0	0,I24 0,064 0,0I4 0	0,069 0,0I7 0,00I 0

1. $$N_6(\bar{x},\bar{h}_c,\bar{M};\sigma,f_{02})=\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{\sin n\pi\bar{x}}{n}\exp\left[-n\pi f_{02}\,\frac{\sigma\,\mathrm{th}\,n\pi\bar{M}+\mathrm{th}\,n\pi(\bar{h}_c-\bar{M})}{1+\sigma\,\mathrm{th}\,n\pi\bar{M}\,\mathrm{th}\,n\pi(\bar{h}_c-\bar{M})}\right]$$

Продолжение таблицы IУ.I2

9	I0	II	I2	I3	I4	I5
0,2I9 0,073 0,007 0	0,284 0,I46 0,032 0	0,I68 0,044 0,003 0	0,086 0,0II 0	0,I84 0,063 0,006 0	0,088 0,0I3 0	0,029 0,00I 0
0,078 0,009 0	0,I73 0,049 0,003 0	0,062 0,006 0	0,0I6 0	0,I08 0,022 0,00I 0	0,037 0,002 0	0,006 0
0,095 0,032 0,003 0	0,I20 0,063 0,0I4 0	0,072 0,0I9 0,00I 0	0,038 0,005 0	0,067 0,027 0,003 0	0,037 0,006 0	0,0I3 0,00I 0
0,034 0,004 0	0,074 0,02I 0,002 0	0,027 0,003 0	0,007 0	0,045 0,009 0	0,0I6 0,00I 0	0,002 0

2. при M = 0 или $M = h_c$ получается случай однослойного пласта, для которого $N_5(\bar{x}, \bar{h}_c, 0, \sigma, f_{o2}) = N_4(\bar{x}, \bar{h}_c, f_o)$

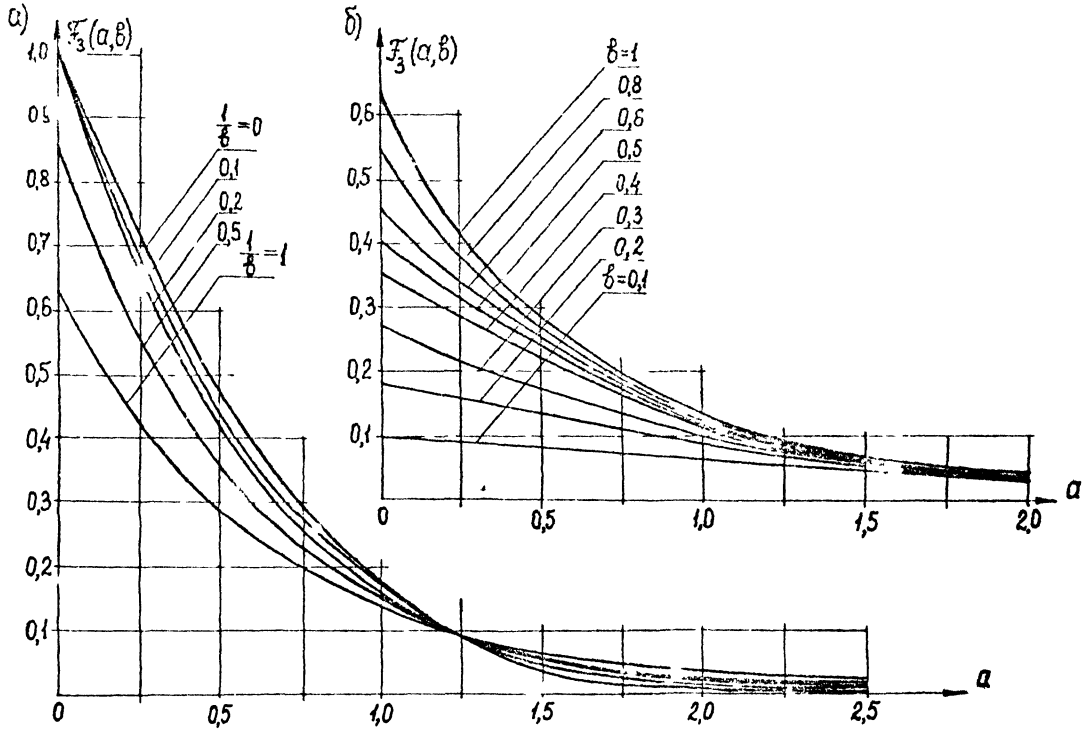


Рис. IУ.40. Графики функции $\mathcal{F}_3(\alpha, \beta)$
а) для значений $\beta \geq$ I; б) для значений $\beta \leq$ I.

Приток воды в дрену на единицу ее длины со стороны реки (водоема) находится по формуле

$$q_1 = K_2 (h_0 - M + \sigma M) \frac{H_0 - h_0}{L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{n=\infty} exp(-n^2 \pi^2 \tau^*) \right]; \qquad (IУ.I05)$$

$$\tau^* = \frac{K_1 (h_c - M + \sigma M)\, t}{\mu_1 L^2} .$$

Вычисление ряда в этой формуле не вызывает затруднений ввиду его быстрой сходимости, при конкретных расчетах, кроме очень малых значений τ^*, достаточно несколько членов. В то же время анализ формулы (IУ.I05) показывает, что приток в дрену, равный бесконечно большой величине в начальный момент, в последующем резко уменьшается, пока не достигнет стационарной величины.

При M = 0 формула (IУ.I05) определяет приток в дрену в однослойном пласте.

IУ.35. Зона П. Гидродинамическая схема этой зоны приведена на рис.IУ.34,в. В общем случае анизотропного двухслойного пласта положение свободной поверхности грунтовых вод описывается уравнением

$$h_1 = h_c - \frac{2(h_c - h_0)}{\pi} \int_0^\infty \sin \nu x \, exp \left[- \frac{K_{12} \nu t}{\mu_1 \gamma_1} \frac{\Phi}{\Psi} \right] \frac{d\nu}{\nu} . \qquad (IУ.I06)$$

Из формулы (IУ.I06) получаются частные случаи, которые сведены в таблицу IУ.I0.

Приток воды в дрену на единицу ее длины со стороны берега находится по формуле

$$q_2 = K_1 (h_0 - M + \sigma M) \frac{h_c - h_0}{\sqrt{\pi a^* t}} ; \qquad (IУ.I07)$$

$$a^* = \frac{K_1 (h_c - M + \sigma M)}{\mu_1} .$$

Из формулы (IУ.I07) видно, что с увеличением времени приток стремится к нулю. При M = 0 эта формула определяет приток в дрену в однослойном пласте.

IУ.36. Суммарный приток в дрену с обеих сторон (из зон I и II) равен

$$q = q_1 + q_2 = \kappa_1 (h_0 - M + \delta M) S_0 \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{\pi a^* t}} + \frac{2}{L} \sum_{n=1}^{n=\infty} \exp(-n^2 \pi^2 \tau^*) \right]. \quad (IУ.108)$$

IУ.37. К числу перехватывающих можно отнести и дренаж, устраиваемый вдоль вытянутого хранилища с целью перехвата фильтрующихся стоков (рис.IУ.41). В данном случае основной является задача определения притока в дренаж из хранилища. Внешний приток может быть определен по изложенной выше методике. Отметим, что фильтрация из хранилища является стационарной, т.к. нестационарная фаза чрезвычайно непродолжительна.

Принимается следующая гидродинамическая схема На поверхности хранилища поддерживается постоянный уровень воды, отметка которого H_0, в дренах также поддерживается постоянный уровень h_0 (см.рис.IУ.41). Пусть основание хранилища заилено, параметры этого слоя κ_g и M_g. Так как проницаемость экрана (κ_g) и его мощность (M_g) значительно меньше проницаемости (κ_1) и мощности (M) основного горизонта, то фильтрацию в пределах экрана допустимо считать направленной вниз. В то же время в пределах водоносного горизонта она носит пространственный характер.

Выделяются два случая: открытая дрена и закрытая дрена.

IУ.38. Дрену можно назвать открытой, если дренажная траншея на всю высоту заполнена хорошо фильтрующим материалом. Приток воды, поступающий в данном случае на единицу длины дрены с внутренней стороны (т.е. из хранилища), находится по формуле

$$q = \frac{4 \kappa_1 M S_0}{M - h_0 + \alpha M_g} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin \lambda_n \cos \lambda_n \bar{h}_0}{\lambda_n (2\lambda_n + \sin 2\lambda_n)} \operatorname{th} \lambda_n \bar{L}. \quad (IУ.109)$$

Здесь

$$\alpha = \frac{\kappa_1}{\kappa_g}; \quad \bar{h}_0 = \frac{h_0}{M}; \quad \bar{L} = \frac{L}{M}; \quad \lambda_n \text{ – корни уравнения;}$$

$$\lambda_n \operatorname{tg} \lambda_n = \frac{M}{\alpha M_g}. \quad (IУ.110)$$

В случае неэкранированного хранилища ($M_g = 0$) вместо (IУ.109) получаем:

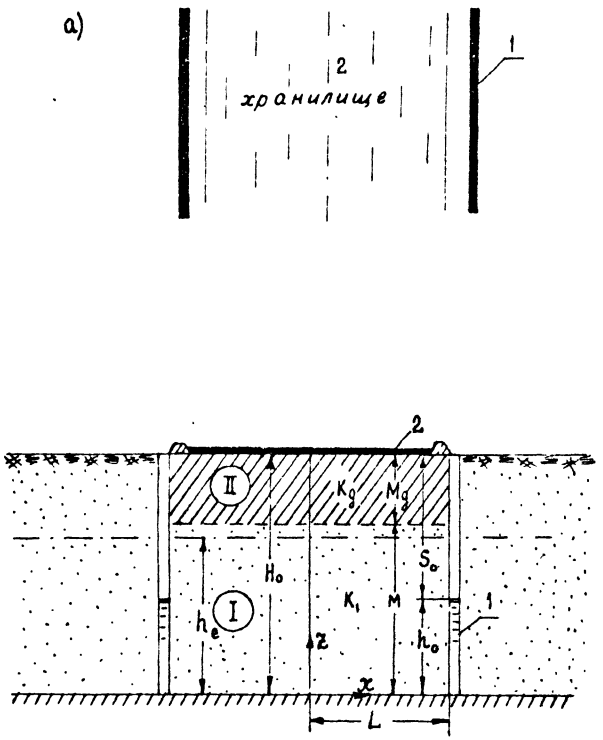


Рис.IУ.4I.Схема двухлинейного дренажа вдоль вытянутого хранилища стоков.

а) план; б) разрез.

I - линейный дренаж; 2 - хранилище; I - первая область фильтрации; II - вторая область фильтрации.

$$q = \frac{K_1 M S_0}{M - h_0} W_3 \quad . \qquad (IУ.III)$$

Функция W_3 табулирована, значения ее для различных $\bar{h}_0$ и $\bar{L}$ приведены на рис.IУ.42.

IУ.39. Дрену будем считать закрытой, если фильтрующая обсыпка выполнена только вокруг дренажной трубы, сама траншея заполнена нефильтрующим материалом. Приток воды в этом случае находится по формуле

$$q = \frac{K_1 h_0^2 S_0}{M^2 W_5} \quad , \qquad (IУ.II2)$$

$$W_5 = 4 \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{\sin^2 \lambda \bar{h}_0 \operatorname{cth} \lambda \bar{L}}{\lambda_n^2 (2\lambda_n + \sin 2\lambda_n)} \qquad (IУ.II3)$$

В последней формуле сохранены приведенные выше обозначения, λ_n находятся из уравнения (IУ.II0).

В случае неэкранированного хранилища ($M_g = 0$)

$$q = \frac{K_1 S_0 h_0^2}{M^2 W_6} \quad . \qquad (IУ.II4)$$

Функция W_6 табулирована, значения ее приведены на рис. IУ.43.

IУ.40. Расчет головных дренажей производится по приведенным выше зависимостям для зоны II (пункты IУ.35 и IУ.36), поэтому специальное рассмотрение этого вопроса оказывается излишним.

В некоторых случаях перехватывающие (береговые) и головные дренажи могут быть несовершенными. Учет их несовершенства выполняется аналогично изложенному в пунктах расчета систематических несовершенных дренажей.

г) Пластовый и пристенный дренажи.

IУ.4I. Пластовые дренажи работают по принципу несовершенных дрен и предупреждают поступление грунтовых вод к защищаемому сооружению со дна и с боков. Вместе с тем они снимают кайму капиллярных вод и устраняют капиллярное увлажнение подземных частей здания. В конструктивном отношении они представляют дренажную постель, укладываемую под всем подземным сооружением, в сочетании с пристенной дренажной трубой и обсыпкой (пристенная дрена), примыкающей к зданию с наружной стороны. При заложении

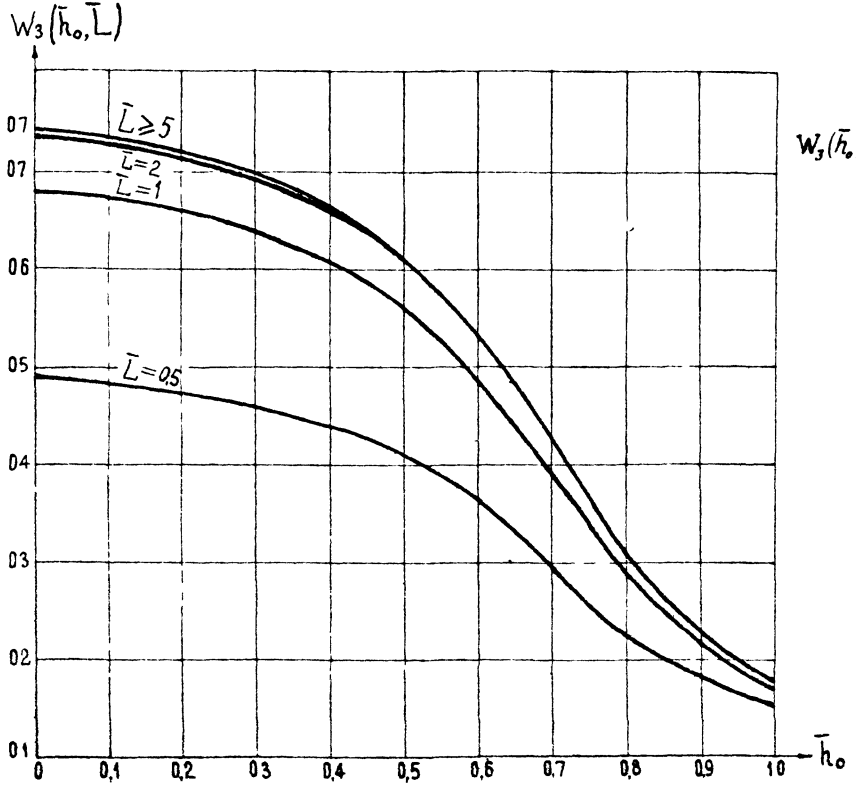


Рис.IУ.42. Графики функции

$$W_3(\bar{h}_0,\bar{L})=2\sum_{n=1}^{n=\infty}(-1)^{n+1}\frac{\cos\beta_n\bar{h}_0\,\mathrm{th}\,\beta_n\bar{L}}{\beta_n^2};$$

$$\beta_n=\frac{2n-1}{2}\pi.$$

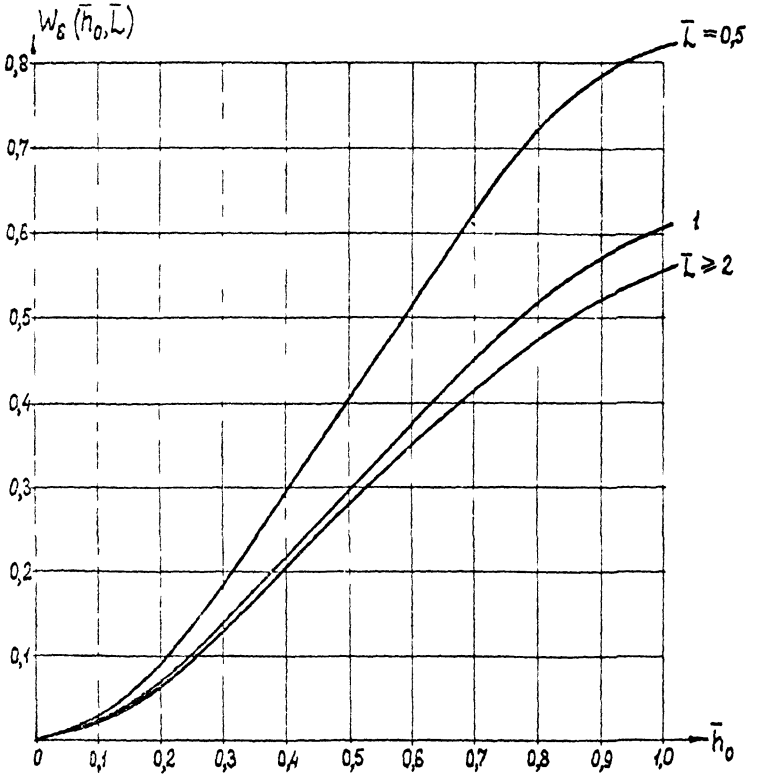


Рис.IУ.43. Графики функции $W_\delta(\bar{h}_0,\bar{L})=2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin^2\beta_n\bar{h}_0\,\mathrm{cth}\,\beta_n\bar{L}}{\beta_n^3}$,

$$\beta_n=\frac{2n-1}{2}\pi$$

подвальных частей зданий или коммуникаций на водоупоре устройство постели не требуется, а укладывается лишь пристенная дрена.

Расчет пристенного дренажа производится по зависимостям, полученным для внешней зоны совершенного кольцевого дренажа.

Ниже приводится методика расчета пластового дренажа.

IУ.42. Установившаяся фильтрация. При работе пластового дренажа в однослойном пласте со свободной поверхностью (рис. IУ.44,а) приток воды в дренаж вычисляется по формуле

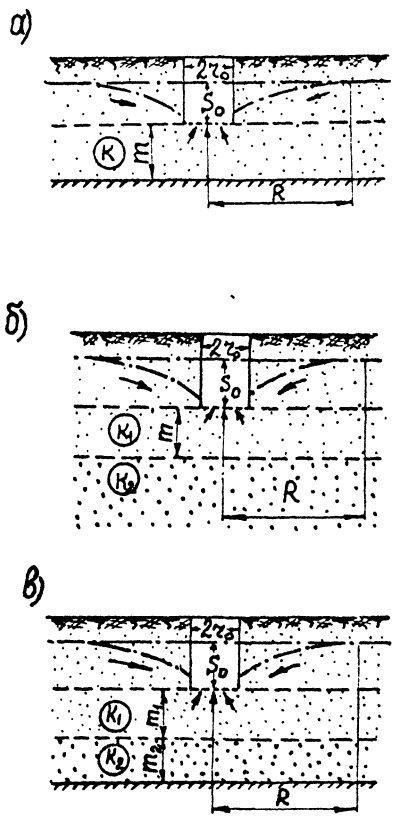


Рис.IУ.44. Схемы к расчету пластового дренажа
а) в однослойном пласте конечной мощности со свободной поверхностью; б) в двухслойном пласте при неограниченной мощности нижнего слоя; в) в двухслойном пласте конечной мощности.

$$Q = \pi K S_0 \left\{ \frac{S_0}{\ell n \frac{R}{r_0}} + \frac{2 r_0}{F_{пл\,др}} \right\} , \qquad (IУ.II5)$$

где: R - радиус действия дренажа; r_0 - его приведенный радиус; $F_{пл\,др.}$ - табулированная функция аргументов R/m и r_0/m, значения которого приведены на рис.IУ.45.

Понижение уровня грунтовых вод в произвольной точке пласта на расстоянии r от центра дренажа определяется по формуле

$$S_r = h_e - \sqrt{h_e^2 - \frac{Qm}{\pi K r_0} \left\{ F_{пл\,др}\left(\frac{R}{m}, \frac{r_0}{m}\right) - F_{пл\,др}\left(\frac{r}{m}, \frac{r_0}{m}\right) \right\}} . \qquad (IУ.II6)$$

Функция $F_{пл\,др}(r_0/m, r_0/m)$ также определяется по графику на рис.IУ.45 при аргументах r/m и r_0/m.

При работе пластового дренажа в двухслойном пласте при неограниченной мощности нижнего слоя (рис.IУ.44,б) расчетные зависимости принимают вид

при $\delta \leq 0{,}6$ $\left(\delta = \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2}\right)$;

$$Q = \pi K_1 S_0 \left\{ \frac{S_0}{\ell n \frac{R}{r_0}} + \frac{2 r_0}{\theta} \right\}; \qquad (IУ.II7)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{r_0}{R} + 2\delta \arcsin \frac{r_0}{m + \sqrt{m^2 + r_0^2}} - 2\delta \frac{r_0}{\sqrt{R^2 + r_0^2 + 4m^2}} +$$

$$+ 2\delta^2 \arcsin \frac{r_0}{2m + \sqrt{4m^2 + r_0^2}} - 2\delta^2 \frac{r_0}{\sqrt{0^2 + r_0^2 + 16m^2}} ;$$

при $\delta > 0{,}6$

$$Q = \pi K_1 S_0 \left\{ \frac{S_0}{\ell n \frac{R}{r_0}} + \frac{2 r_0}{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{r_0}{R} + 2\delta \arcsin \frac{r_0}{m + \sqrt{m^2 + r_0^2}} + f_\delta\left(\frac{R}{m}, \frac{r_0}{m}\right)} \right\} . \qquad (IУ.II8)$$

Значения функции $f_\delta(R/m, r_0/m)$ приведены на рис.IУ.46.

Расчет притока воды в пластовый дренаж в двухслойных пластах конечной мощности (см.рис.IУ.44,в) может быть выполнен по формуле (IУ.II5) путем замены реальной мощности пласта приведенной, определяемой по формуле

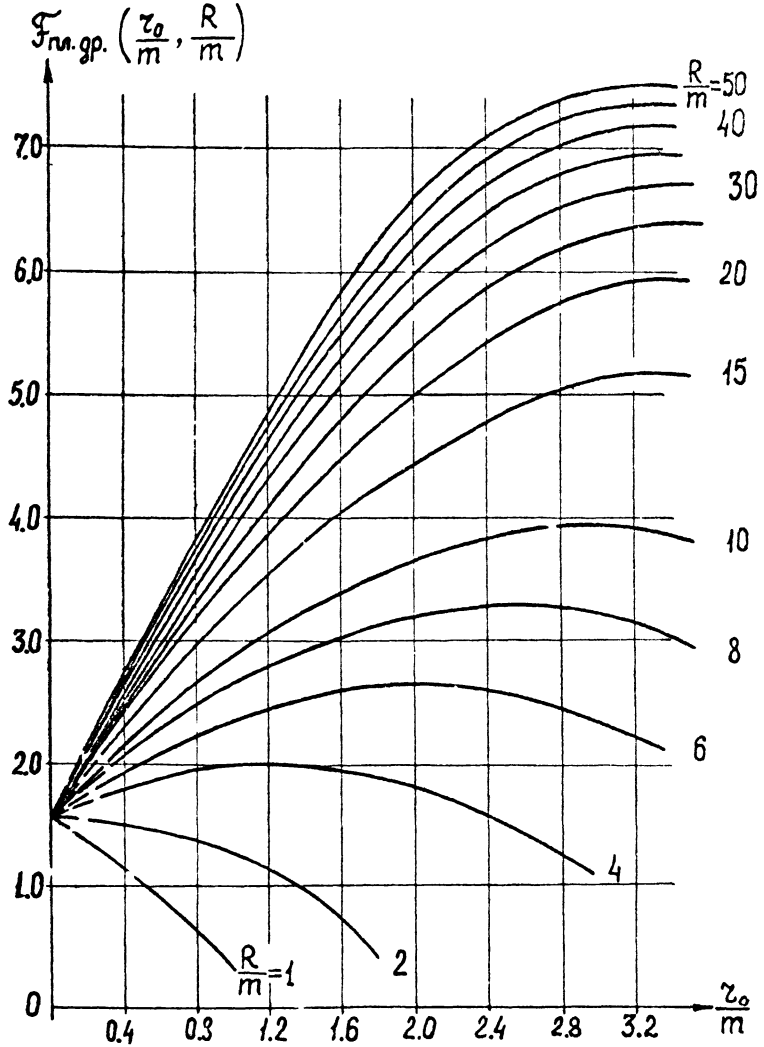


Рис.IУ.45. Графики функции $\mathcal{F}_{гл\,др}\ (r_0/m, R/m)$

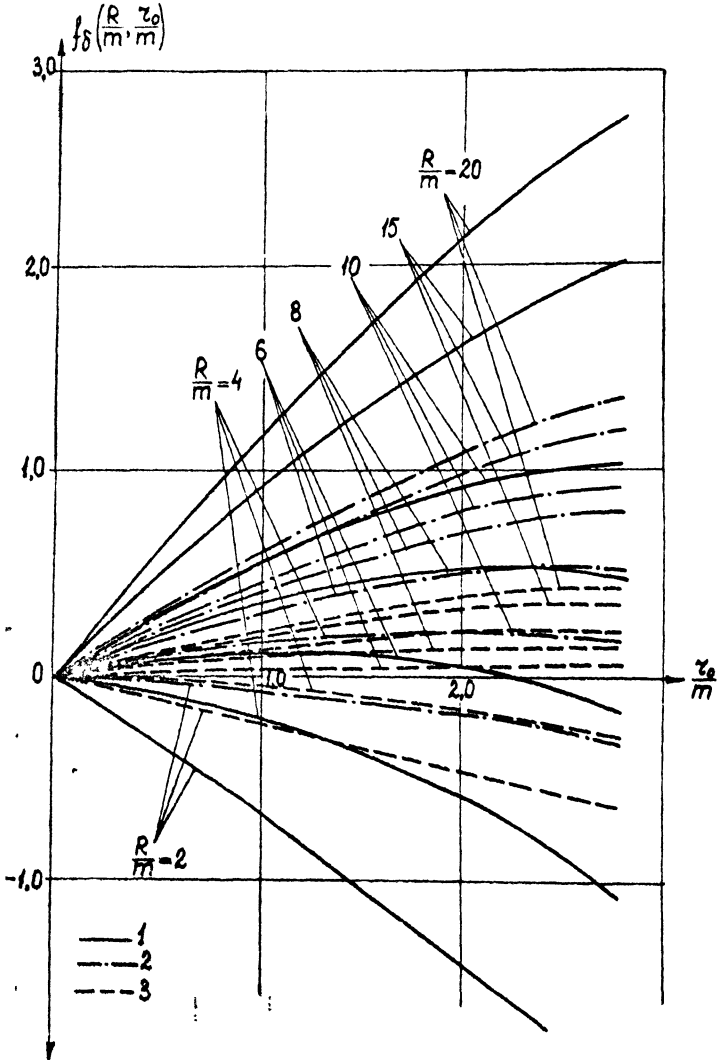


Рис.IУ.46. Графики функции $f_\delta(R/m, r_0/m)$.

I - при δ = I; 2 - при δ = 0,8;
3 - при δ = 0,6

$$m_{пр} = m_1 + \frac{\kappa_2}{\kappa_1} m_2 \quad . \qquad (IУ.119)$$

Приведенные выше зависимости справедливы при круговом контуре питания. Методом зеркальных отображений получена расчетная зависимость для пластового дренажа, расположенного на расстоянии L от реки:

$$Q = \pi K S_0 \left\{ \frac{S_0}{\ln \frac{2L - r_0}{r_0}} + \frac{2 r_0}{\mathcal{F}_{пл\,ф} \left(\frac{2L - r_0}{m}, \frac{r_0}{m} \right)} \right\} , \qquad (IУ.120)$$

а построение кривой депрессии может быть выполнено по формуле

$$S_r = h_e - \sqrt{h_c^2 - \frac{Qm}{\pi K r_0} \left[\mathcal{F}_{пл\,ф} \left(\frac{\rho}{m}, \frac{r_0}{m} \right) - \mathcal{F}_{пл\,ф} \left(\frac{r}{m}, \frac{r_0}{m} \right) \right]} , \qquad (IУ.121)$$

где ρ – расстояние от рассматриваемой точки до центра, отображенного относительно реки дренажа.

IУ.43. Неустановившаяся фильтрация. При выводе расчетной зависимости при неустановившейся фильтрации считалось, что движение грунтовых вод при $r > r_0$ происходит в радиальном направлении, а при $r < r_0$ – в вертикальном. В первой зоне фильтрация описывалась уравнением Буссинеска, а во второй зоне ($r \le r_0$) – одномерным уравнением Лапласа. В результате получены следующие зависимости: для построения свободной поверхности

$$h = h_e - (h_e - h_0) P(\bar{r}, \tau, \beta) , \qquad (IУ.122)$$

для определения притока воды в дренаж

$$Q = 2\pi K r_0 \frac{h(t) - h_0}{I_0 \left(\frac{r_0}{m} \right)} I_1 \left(\frac{r_0}{m} \right) ; \qquad (IУ.123)$$

$$h(t) = h_e - (h_e - h_0) P(1, \tau, \beta) . \qquad (IУ.124)$$

В этих формулах

$$\bar{r} = \frac{r}{r_0} , \qquad \tau = \frac{K h_c t}{\mu r_0^2} , \qquad \beta = \frac{r_0}{h_c} \cdot \frac{I_1 \left(\frac{r_0}{m} \right)}{I_0 \left(\frac{r_0}{m} \right)} ;$$

$I_0(\xi)$, $I_1(\xi)$ - функции Бесселя мнимого аргумента, $P(1, \tau, \beta)$ - табулированная функция, значения которой приведены на рис.IУ.47.

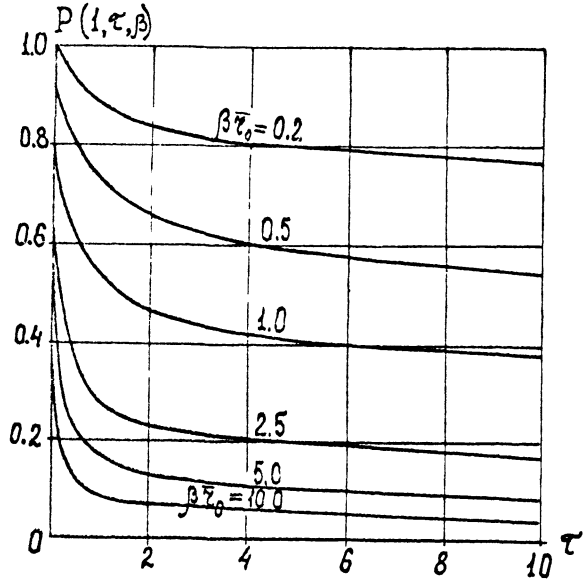


Рис.IУ.47. Графики функции $P(1, \tau, \beta)$.

В двухслойных пластах расчет также может быть выполнен по формулам (IУ.I22) - (IУ.I24) с учетом соотношения (IУ.II9).

§ 2. Расчеты вертикальных дренажей.

IУ.44. Вертикальные дренажи чаще всего применяются в пластах с высокой водопроницаемостью, когда они могут дать достаточно хороший дренирующий эффект. В зависимости от конкретных условий они могут иметь различную плановую конфигурацию, режим работы их может быть установившимся (при наличии контуров с постоянным напором или расходом) или неустановившимся. В последнем случае они могут работать как при постоянном притоке, так и при постоянном уровне воды в дренах. Однако, они чаще всего работают при постоянном уровне воды в дренах, поэтому ниже будет рас-

сматриваться, в основном, этот случай. Водоносные горизонты могут быть как напорными, так и со свободной поверхностью, однослойными В случае многослойных пластов (рис.IУ.48) при расчетах используется приведенная глубина фильтрационного потока, определяемая по формуле

$$h_{пр} = h - M + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{K_i}{K_1} m_i \quad . \qquad (IУ.I25)$$

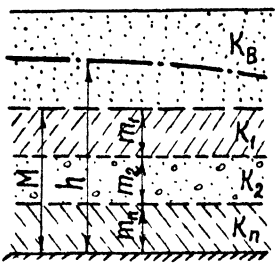


Рис.IУ.48. Схема пласта, неоднородного по проницаемости в вертикальном разрезе.

При использовании приведенной мощности пласта в качестве фильтрационных параметров (коэффициент фильтрации, водоотдача и др.) принимаются фильтрационные параметры верхнего слоя, в пределах которого находится свободная поверхность грунтовых вод.

IУ.45. С целью сокращения записи расчетных формул используем понятие о напорной функции U , которая определяется по формулам: для напорных пластов

$$U = M(h_e - h) ; \qquad (IУ.I26)$$

для пластов со свободной поверхностью

$$U = \frac{h_e^2 - h^2}{2} \quad . \qquad (IУ.I27)$$

Для неоднородно-слоистых пластов вместо истинных мощностей M и h используются приведенные величины.

В формулах (IУ.I26) - (IУ.I27):

M - мощность напорного пласта; h - напор подземных вод, отсчитываемый от горизонтальной подошвы пласта (в случае напорных вод) и мощность грунтового потока (в случае потоков со свободной поверхностью); h_e - напор (мощность) до работы дренажа, т.е. в естественных условиях.

В частности, на стенке дренажа (скважины) функция U определяется соотношениями:

для напорных пластов

$$U_o = M(h_e - h_o) = MS_o \; ; \qquad (IУ.I28)$$

для пластов со свободной поверхностью

$$U = \frac{h_e^2 - h_o^2}{2} = \frac{S_o(2h_e - S_o)}{2} \; . \qquad (IУ.I29)$$

IУ.46. Установившаяся фильтрация. Установившаяся фильтрация наблюдается, главным образом, при наличии кругового или линейного контура питания.

Одиночная скважина, эксцентрично расположенная в круговом пласте (т.е. в пласте с круговым контуром питания - рис.IУ.49).

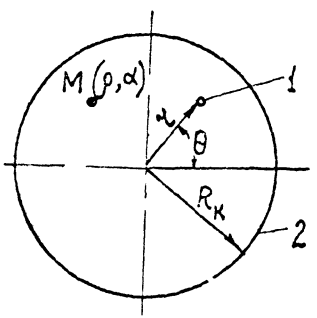


Рис.IУ.49. Схема к расчету одиночной эксцентрично расположенной скважины в круговом пласте.
I - скважина радиуса r_c;
2 - круговой контур питания.

Дебит скважины определяется по формуле

$$Q = \frac{2\pi K U_o}{\ell n \frac{R}{r_c}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)} \; , \qquad (IУ.I30)$$

а уровень грунтовых вод в произвольной точке с координатами ρ и Q - по уравнению

$$U=\frac{Q}{4\pi\kappa}\ln\frac{R^2+\frac{\rho^2 r^2}{R^2}-2r\rho\cos(\theta-\alpha)}{\rho^2+r^2-2r\rho\cos(\theta-\alpha)}\,. \qquad (IУ.I3I)$$

Здесь r и α – полярные координаты скважины, r_c – радиус скважины, R – радиус кругового контура питания.

Формулы (IУ.I30) – (IУ.I3I) при $r=0$, т.е. при отсутствии эксцентриситета, переходят в формулы Дюпюи.

IУ.47. Группа из N произвольно расположенных скважин в круговом пласте (рис.IУ.50). Пусть r_i и α_i – полярные координаты скважины с номером i, Q_i – ее дебит. Тогда для определения дебитов скважин получаем систему уравнений:

$$U_{oj}=\frac{1}{2\pi\kappa}\sum_{i=1}^{i=N(1)}Q_i\ln R-\frac{Q_j}{2\pi\kappa}\ln\frac{r_{cj}}{1-\frac{r_j^2}{R^2}}- \qquad (IУ.I32)$$

$$-\frac{1}{4\pi\kappa}\sum_{i=1}^{i=N(1)}Q_i\ln R^2\frac{r_j^2+r_i^2-2r_i r_j\cos(\alpha_j-\alpha_i)}{R^2+\frac{r_i^2 r_j^2}{R^2}-2r_i r_j\cos(\alpha_j-\alpha_i)}\,.$$

Значок $<<(1)>>$ обозначает, что при суммировании от $i=1$ до $i=N$ опускается член $i=j$.

Уровень грунтовых вод в произвольной точке с координатами ρ и θ находится по уравнению

$$U=\frac{1}{2\pi\kappa}\sum_{i=1}^{i=N}Q_i\ln R-\frac{1}{4\pi\kappa}\sum_{i=1}^{i=N}Q_i\ln R^2\frac{\rho^2+r_i^2-2\rho r_i\cos(\theta-\alpha_i)}{R^2+\frac{\rho^2 r_i^2}{R^2}-2\rho r_i\cos(\theta-\alpha_i)}\,. \qquad (IУ.I33)$$

IУ.48. Линейный ряд скважин параллельно реке (рис.IУ.5I). Приток в каждую скважину ряда вычисляется по формуле

$$Q=\frac{2\pi\kappa U_o}{\ln\frac{\sigma}{\pi r_c}\,sh\frac{2\pi L}{\sigma}}\,. \qquad (IУ.I34)$$

При $\frac{\pi L}{\sigma}>2$ последняя формула принимает более простой вид

$$Q=\frac{2\pi\kappa U_o}{\frac{2\pi L}{\sigma}+\ln\frac{\sigma}{\pi d_c}} \qquad (IУ.I35)$$

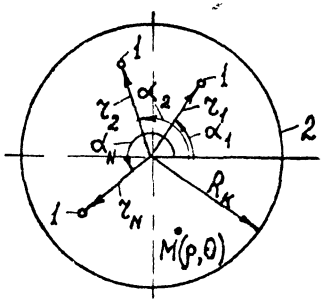


Рис.IУ.50. Схема к расчету системы скважин в круговом пласте.
I - скважины; 2 - круговой контур питания.

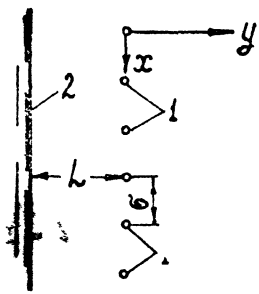


Рис.IУ.51. Схема линейного ряда скважин параллельно контуру питания.
I - скважины; 2 - контур *H-const* (река, водоем).

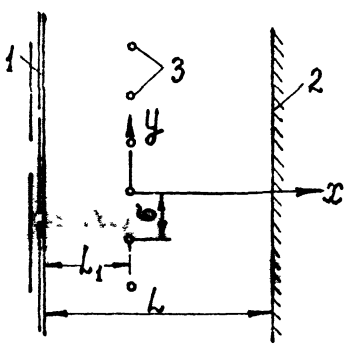


Рис.IУ.52. Схема к расчету линейного ряда скважин, расположенных между контуром питания и непроницаемым контуром.
I - контур питания (*H=const*); 2 - непроницаемый контур; 3 - скважины.

Построение свободной поверхности грунтовых вод производится по уравнению

$$U=\frac{Q}{4\pi\kappa}\ln\frac{\left[ch\frac{\pi(2L+y)}{\sigma}-\cos\frac{\pi(\sigma+x)}{\sigma}\right]\left[ch\frac{\pi(2L+y)}{\sigma}-\cos\frac{\pi x}{\sigma}\right]}{\left[ch\frac{\pi y}{\sigma}-\cos\frac{\pi(\sigma+x)}{\sigma}\right]\left[ch\frac{\pi y}{\sigma}-\cos\frac{\pi x}{\sigma}\right]}. \quad (IУ.I36)$$

IУ.49. Линейный ряд скважин между контуром питания и непроницаемым контуром (рис.IУ.52). При значениях $L_1/\sigma \geqslant 0{,}5$, $L_1/L \leqslant 0{,}5$ и $\sigma/r_c \geqslant 25$ приток воды в каждую скважину ряда с точностью до I0% определяется по формуле

$$Q=\frac{2\pi\kappa U_0}{2\pi\frac{L_1}{\sigma}+\ln\frac{\sigma}{\pi d_c}}. \quad (IУ.I37)$$

Построение свободной поверхности при тех же условиях производится по формуле

$$U=\frac{Q}{2\pi\kappa}\left[2\pi\frac{x}{\sigma}-\ln\left|\exp\left(2\pi\frac{x-L_1}{\sigma}\right)-1\right|\right]. \quad (IУ.I38)$$

IУ.50. Линейный ряд скважин между областями естественного питания и стока (рис.IУ.53). При условиях $L_1/\sigma \geqslant 0{,}25$, $L_1/L \leqslant 0{,}5$

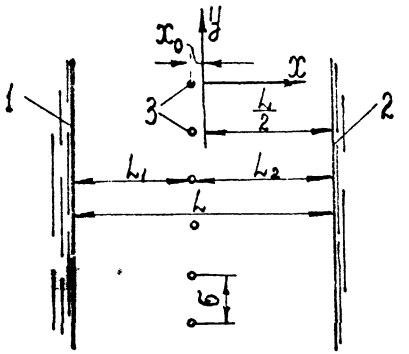


Рис.IУ.53. Схема к расчету линейного ряда скважин, расположенных между контурами питания и стока.

I - контур питания $h=h_1$; 2 - контур стока $h=h_2$; 3 - скважины.

и $\sigma/r_c \geqslant$ 25 приток воды в каждую скважину линейного ряда вычисляется по формуле

$$Q = \frac{2\pi\kappa U_0}{\frac{2\pi L_1 (L-L_1)}{\sigma L} + \ln\frac{\sigma}{\pi d_c}} \quad . \qquad (IУ,I39)$$

Причем в этой формуле при определении U_0 вместо h_c подставляется h_c .

Построение депрессионной поверхности по линии, проходящей через скважины нормально к границам пласта, производится по формуле:

в пластах со свободной поверхностью

$$h^2 = h_2^2 + (0,5 - \frac{x}{L})(h_1^2 - h_2^2) + \frac{Q}{\pi\kappa}\ln\left|1 - exp(-\frac{2\pi(x-x_0)}{\sigma})\right| - \qquad (IУ.I40)$$

$$- \frac{2QL_1}{\kappa\sigma}(0,5 - \frac{x}{L}) \; ;$$

в напорных пластах

$$h = h_2 + (0,5 - \frac{x}{L})(h_1 - h_2) + \frac{Q}{2\pi\kappa M}\ln\left|1 - exp(-\frac{2\pi(x-x_0)}{\sigma})\right| - \qquad (IУ,I4I)$$

$$- \frac{QL_1}{\pi M\sigma}(0,5 - \frac{x}{L}) \; .$$

На расстоянии $|\xi| \geq \sigma$ от линейного ряда влияние дискретного расположения скважин на положение депрессионной поверхности уже не оказывается. Поэтому построение ее можно проводить по формулам С.Ф.Аверьянова:

в пластах со свободной поверхностью

$$h = h_c - S_0(1 - \frac{\xi}{L})\beta\alpha' \; ; \qquad (IУ.I42)$$

в напорных пластах

$$h = h_c - S_0(1 - \frac{\xi}{L})\beta\alpha \; . \qquad (IУ.I43)$$

Значения коэффициентов α и β вычисляются по формулам: в сторону области питания

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\sigma}{\pi L_1}\ln\frac{\sigma}{\pi d_c}} \; ; \qquad \alpha = \frac{1}{1 + \frac{2M}{\pi L_1}\ln\frac{1}{\sin\frac{\pi(\ell + d_c)}{2M}}} \; ;$$

в сторону области дренажа

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{\sigma}{\pi L_2} \ln \frac{\sigma}{\pi d_c}}; \qquad \alpha = \frac{1}{1 + \frac{2M}{\pi L_2} \ln \frac{1}{\sin \frac{\pi (\ell + d_c)}{2M}}};$$

где ℓ - длина водоприемной части фильтра,

$$\alpha' = \frac{1}{1 + \frac{2}{\pi} \ln \frac{2M'}{\pi \ell}}.$$

Значение M' принимается равным:
в сторону области питания

$$M' = \frac{h_1 + h_c - S_o}{2};$$

в сторону области дренажа

$$M' = \frac{h_2 + h_c - S_o}{2}.$$

Сниженный напор или уровень воды посередине между дренами (скважинами) линейного ряда находится по формулам
в пластах со свободной поверхностью

$$h_a = h_c - S_o \left(1 - 0{,}22 \frac{2\sigma}{L}\right) \beta\alpha'; \qquad (IУ.144)$$

в напорных пластах

$$h_a = h_c - S_o \left(1 - 0{,}22 \frac{2\sigma}{L}\right) \beta\alpha. \qquad (IУ.145)$$

IУ.51. Кольцевой вертикальный дренаж в пласте с круговым контуром питания (рис.IУ.54). Приток воды в каждую скважину находится по формуле

$$Q = \frac{2\pi\kappa U_o}{n \ln \frac{R}{r_o} + \ln \frac{\sigma}{\pi d_c}}. \qquad (IУ.146)$$

Здесь n - число скважин в системе.

Положение уровня грунтовых вод в центре дренируемой территории определяется по формуле

$$U_ц = \frac{nQ}{2\pi\kappa} \ln \frac{R}{r_o}. \qquad (IУ.147)$$

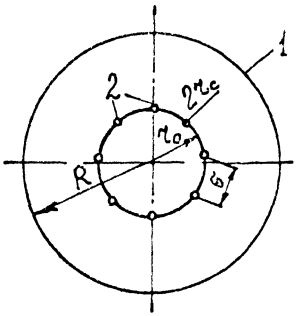


Рис.IУ.54. Схема кольцевой системы скважин в пласте с круговым контуром питания.
I - контур питания;
2 - скважины.

При расположении кольцевой батареи скважин вблизи контура с постоянным напором дебиты скважин оказываются различными. Наибольший дебит имеет скважина, наиболее близко расположенная к контуру, он равен

$$Q' = \frac{2\pi\kappa U_0}{\ln\frac{\sigma}{\pi d_c} + \ln\left[\left(\frac{2L}{r_0}-1\right)^n - 1\right]} \qquad (IУ.I48)$$

Дебит дальней скважины равен

$$Q'' = \frac{2\pi\kappa U_0}{\ln\frac{\sigma}{\pi d_c} + \ln\left[\left(\frac{2L}{r_0}+1\right)^n - 1\right]} . \qquad (IУ.I49)$$

Здесь L - расстояние от центра кольцевой системы до контура с постоянным напором.

Положение уровня грунтовых вод в центре системы в этом случае определяется по формуле

$$U_ц = \frac{Q'+Q''}{4\pi\kappa} n \ln\frac{2L}{r_0} . \qquad (IУ.I50)$$

Расчет произвольным образом расположенных скважин осуществляется по общеизвестному методу суперпозиции.

IУ.52. Учет гидродинамического несовершенства скважин осуществляется по методу фильтрационных сопротивлений. Для этого к знаменателям приведенных выше формул по определению дебитов сква-

жин прибавляется дополнительное слагаемое ζ, учитывающее несовершенство скважин. Величина этого слагаемого, называемого дополнительным фильтрационным сопротивлением, определяется по таблице IУ.I3.

В этой таблице M - мощность напорного пласта, ℓ - длина фильтра скважины; r - радиус скважины или расстояние до рассматриваемой точки. Для пласта со свободной поверхностью принимается

$$M = h_e - 0{,}5\,S_0 ; \qquad \ell = \ell_0 - 0{,}5 S_0 ;$$

ℓ_0 - глубина погружения рабочей части скважины в водоносный пласт (разность отметок естественного уровня грунтовых вод и низа рабочей части скважины).

IУ.53. Приведенные выше формулы (IУ.I30) - (IУ.I49) для дебитов скважин в общем случае можно представить в виде

$$Q = \frac{4\pi\kappa U_0}{\varphi} , \qquad (IУ.I5I)$$

где φ - фильтрационное сопротивление совершенной скважины, значения которого приведены выше.

Тогда с учетом дополнительного сопротивления на несовершенство скважин приток воды в каждую из несовершенных скважин будет определяться по формуле

$$Q = \frac{4\pi\kappa U_0}{\varphi + \zeta_c} , \qquad (IУ.I52)$$

причем при определении ζ_c по таблице IУ.I3 вместо r подставляется радиус скважин.

Формулы (IУ.I3I)- (IУ.I50) для определения напорных функций можно представить в виде

$$U = \frac{Q}{4\pi\kappa}\varphi_r . \qquad (IУ.I53)$$

Тогда с учетом коэффициента ζ значение напорной функции при работе несовершенных скважин можно определить по формуле

$$U = \frac{Q}{4\pi\kappa}(\varphi_r + \zeta). \qquad (IУ.I54)$$

Зная напорную функцию, ее легко пересчитать на уровни грунтовых вод или напоры.

Таблица IУ.I3

Значения дополнительных сопротивлений на несовершенство скважин

ρ/M	Значения ζ при значениях M/r, равных									
	0,5	I	3	I0	30	I00	200	500	I000	2000
0,05	0,00423	0,I35	2,3	I2,6	35,5	7I,9	94,0	I26,0	I49,0	I69,0
0,I	0,0039I	0,I22	2,04	I0,4	24 3	42,8	53,8	68,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	I,29	4,79	9,2	I4,5	I7,7	2I,8	24,9	28,2
0,5	0,00I65	0,0494	0,656	2,26	4,2I	6,5	7,86	9,64	II,0	I2,4
0,7	0,000546	0,0I67	0,237	0,879	I,69	2,67	3,24	4,0I	4,58	5,I9
0,9	0,000048	0,00I5	0,025I	0,I28	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	I,I2

IУ.54. Неустановившаяся фильтрация. В неограниченных или ограниченных непроницаемыми контурами водоносных пластах фильтрация к вертикальному дренажу носит неустановившийся характер, причем следует различать два режима работы скважин: с постоянным дебитом и с постоянным уровнем воды в скважинах. Работа скважин с постоянным дебитом имеет место, главным образом, в хорошопроницаемых пластах. При этом уровни в скважинах постепенно падают, пока не наступит их стабилизация или за счет наступления установившейся фильтрации или за счет опускания уровня до отметки погружения насоса. Во втором случае в дальнейшем происходит уменьшение дебита скважин.

В дальнейшем расчетные зависимости будем представлять в виде формул (IУ-I5I) - (IУ-I54), поэтому ниже приводятся лишь значения фильтрационных сопротивлений φ и φ_r.

IУ.55. Скважины работают при постоянном дебите. Одиночная скважина в неограниченном в плане водоносном пласте. В этом случае

$$\varphi_r = -Ei\left(-\frac{r^2}{4at}\right). \qquad (IУ.I55)$$

Значения функции $-Ei(\alpha)$ - приведены в справочниках.

При определении понижения в самой скважине принимают, что $r = r_c$; учитывая, что практически $\frac{r_c^2}{4at} < 0{,}I$, получаем

$$\varphi \approx \ln\frac{2{,}25at}{r_c^2}. \qquad (IУ.I56)$$

В приведенных формулах a - коэффициент пьезопроводности для напорных пластов и коэффициент уровнепроводности для пластов со свободной поверхностью.

Для напорных пластов

$$a = \frac{\kappa}{\gamma\varepsilon(\beta_ж + \beta_c)}.$$

Для пластов со свободной поверхностью

$$a = \frac{\kappa h_c}{\mu}.$$

Здесь γ - удельный вес фильтрующейся жидкости;

ε - пористость горных пород;

$\beta_ж$ - коэффициент объемного сжатия воды;

β_c - то же грунтов;

μ - водоотдача (или недостаток насыщения) пород.

IУ.56. Группа произвольным образом расположенных скважин в неограниченном пласте. В данном случае задача легко решается с использованием метода суперпозиции. Пусть имеется N скважин с дебитами Q_1, Q_2 ,..., Q_n , тогда напорную функцию в произвольной точке в любой момент времени можно найти по формуле

$$U = \frac{Q_{сум}}{4\pi\kappa}\varphi', \qquad (IУ.I57)$$

$$Q_{сум} = \sum_{i=1}^{i=N} Q_i, \qquad \varphi' = -\sum_{i=1}^{i=N} \alpha_i E_i\left(-\frac{r_i^2}{4at}\right); \qquad \alpha_i = \frac{Q_i}{Q_{сум}}; \qquad (IУ.I58)$$

где

r_i - расстояние от точки, где определяется понижение, до скважины i ; Q_i - расход скважины с номером i . При пользовании формулой (IУ.I58) необходимо учитывать соотношение (IУ.I56). Используя метод суперпозиции, можно решить задачи и при упорядоченном размещении скважин, например, прямолинейный ряд конечной длины, сетка скважин ограниченных размеров и т.д.

IУ.57. Линейный ряд скважин в неограниченном пласте (рис. IУ.55).

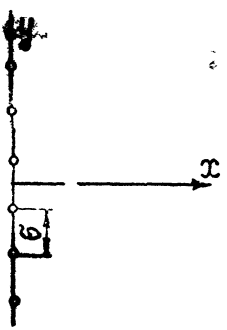


Рис.IУ.55. Схема линейного ряда скважин в неограниченном пласте.

В этом случае

$$\varphi = \frac{2{,}1\sqrt{at}}{б} + 2\ln\frac{\pi}{\pi d_c}; \qquad (IУ.I59)$$

$$\varphi_t = \frac{4\pi\sqrt{at}}{\delta} i\,erfc\frac{x}{2\sqrt{at}} + \ln\frac{exp\left(\frac{2\pi x}{\delta}\right)}{4\left[ch\frac{\pi x}{\delta} - \cos\frac{\pi(2y+\delta)}{2\delta}\;ch\frac{\pi x}{\delta} - \cos\frac{\pi(2y-\delta)}{2\delta}\right]} \qquad (IУ.160)$$

Значения функции $i\,erfc\,\lambda$ вычисляются по формуле

$$i\,erfc\,\lambda = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\,e^{-\lambda^2} - \lambda^2 erfc\,\lambda \;.$$

Формулы (IУ.159) - (IУ.160) справедливы при $\frac{at}{\delta^2} > 0.05\text{-}0,1$.

IУ.58. Кольцевая система скважин в неограниченном пласте (см.рис.IУ.54 при $R \to \infty$).

Обозначим через $Q_{сум}$ - суммарный дебит кольцевого дренажа. Тогда для определения его имеем:

$$\varphi = R_{кр}(1,\tau) + \frac{\delta}{\pi\tau_0}\ln\frac{\delta}{\pi d_c}\;; \qquad \tau = \frac{\kappa h_c t}{\mu r_0^2}\;; \qquad (IУ.161)$$

$$\varphi_t = R_{кр}(\bar{\tau},\tau)\;; \qquad \bar{\tau} = \frac{\tau}{\tau_0}\;. \qquad (IУ.162)$$

Значения $R_{кр}$ приведены в таблице IУ.9.

Для точки, расположенной в центре кольцевой системы

$$\varphi_ц = -Ei\left(-\frac{1}{4\tau}\right). \qquad (IУ.163)$$

IУ.59. Систематический вертикальный дренаж (рис.IУ.56)

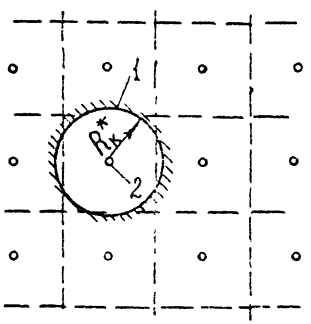


Рис.IУ.56. Схема вертикального систематического дренажа. I - условный непроницаемый круговой контур; 2 - скважины.

В этом случае считается, что каждая скважина окружена непроницаемым контуром радиусом $R_к^*$, т.е. скважины работают как бы в "бочках". Более об е является схема, когда поступает сверху инфильтрация с интенсивностью ω. Тогда через достаточно малый промежуток времени расчет можно производить по формулам:

$$\varphi = 4\tau + 2\ell n \frac{R_к^*}{r_c} + \left(\frac{r_c}{R_к^*}\right)^2 - 1{,}5 + \frac{\omega\tau}{4Q}, \qquad (IУ.I64)$$

$$\varphi_r = 4\tau + 2\ell n \frac{R_к^*}{r} + \left(\frac{r}{R_к^*}\right)^2 - 1{,}5 + \frac{\omega\tau}{4Q}. \qquad (IУ.I65)$$

IУ.60. Учет гидродинамического несовершенства скважин осуществляется указанным выше способом, т.е. путем увеличения сопротивлений φ и φ_r на величину ζ^*. Однако, в отличие от стационарной фильтрации, ζ^* в общем случае является функцией времени, поэтому определение его производится по таблице IУ.I4.

IУ.6I. Скважины работают при постоянном уровне воды в них. В этом случае расчетные зависимости являются более сложными.

Одиночная скважина в неограниченном пласте. Переменный во времени дебит совершенной скважины определяется по формуле (IУ.I5I), фильтрационное сопротивление равно:

$$\varphi = \frac{1}{\mathcal{F}_{cob}(\tau)} \qquad (IУ.I66)$$

Значения функции $\mathcal{F}_{cob}(\tau)$ приведены на рис.IУ.I9.

Построение депрессионной поверхности производится по уравнению

$$U = U_\varphi\left[1 - \theta\left(\frac{r}{r_c}, \tau\right)\right]; \qquad \tau = \frac{at}{r_c^2}. \qquad (IУ.I67)$$

Значения функции $\theta(r/r_c, \tau)$ приведены на рис.IУ.57.

IУ.62. Линейный ряд скважин в неограниченном пласте (см. рис.IУ.55). Приток воды в каждую скважину ряда определяется также по формуле (IУ.I5I), фильтрационное сопротивление равно.

$$\varphi = 2\sqrt{\pi a t} + \frac{\sigma}{\pi}\ell n \frac{\sigma}{\pi d_c}. \qquad (IУ.I68)$$

Понижение уровней вдоль оси x (т.е. по линии, проходящей посередине между скважинами), находится по формуле

$$U = U_0\left[1 - \mathcal{P}_1(\bar{x}, \bar{r}_c, \tau)\right], \qquad (IУ.I69)$$

Таблица IУ.I4

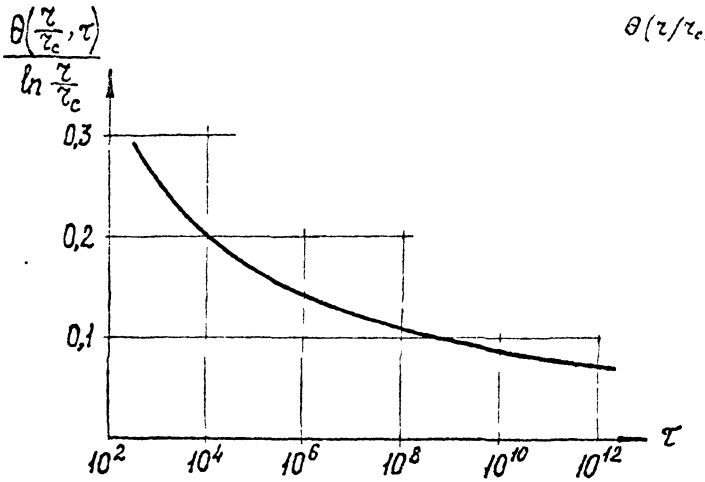
Значения дополнительных сопротивлений на несовершенство скважин

$\frac{\ell}{M}$	$\frac{r^2}{4at}$	ζ^* при значениях M/r, равных								
		I	3	I0	30	I00	200	500	I000	2000
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
0,I	$5.I0^{-II}$	0	I,03	9,33	23,43	42,43	53,83	6 ,I3	80,73	92,53
	$5.I0^{-7}$	0,I	2,08	I0,38	24,48	43,48	54,88	70,I8	8I,78	92,78
	$5.I0^{-5}$	0,I2	2,07	I0,37	24,47	43,47	54,57	66,97	73,I7	76,I7
	$5.I0^{-4}$	0,I3	2,04	I0,38	24,38	42,28	50,38	56,28	56,98	58,48
	$5.I0^{-3}$	0,I4	2,05	I0,39	23,39	34,99	38,79	38,I9	38,29	38,49
	$5.I0^{-2}$	0,I2	2,03	9,23	I6,73	20,03	20,I3	20,63	20,63	20,63
	$5.I0^{-I}$	0,II9	I,25	3,38	4,42	4,65	4,66	4,68	4,68	4,68
0,3	$5.I0^{-II}$	0	0,23	3,77	8,03	I3,53	I6,63	20,73	23,93	27,23
	$5.I0^{-7}$	0,08	I,28	4,78	9,I8	I4,58	I7,68	2I,78	24,98	27,78
	$5.I0^{-5}$	0,09	I,27	4,77	9,I7	I4,47	I7,47	I9,77	20,57	20,97
	$5.I0^{-4}$	0,09	I,30	4,78	9,I	I3,68	I4,98	I5,68	I5,78	I5,88
	$5.I0^{-3}$	0,II	I,3I	4,80	8,39	I0,I9	I0,43	I0,69	I0,69	I0,69
	$5.I0^{-2}$	0,09	I,29	3,93	5,II	3,28	3,33	3,35	3,35	3,35
	$5.I0^{-I}$	0,089	0,70	I,I2	I,23	I,26	I,27	I,27	I,27	I,27

Продолжение таблицы IУ.I4

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II
0,5	5.10^{-11}	0	0	I,23	3,23	5,43	6,83	8,63	9,93	II,43
	5.10^{-7}	0,08	0,68	2,28	4,I8	6,48	7,82	9,68	I0,98	I2,I8
	5.10^{-5}	0,05	0,65	2,27	4,I7	6,47	7,77	8,57	8,87	9,07
	5.10^{-4}	0,05	0,66	2,26	4,I8	6,08	6,48	6,78	6,78	6,88
	5.10^{-3}	0,07	0,67	2,28	3,80	4,44	4,57	4,62	4,63	4,63
	5.10^{-2}	0,05	0,65	I,8I	2,24	2,38	2,40	2,4I	2,4I	2,4I
	5.10^{-I}	0,05	0,34	0,49	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55
0,7	5.10^{-11}	0	0	0	0,63	I,63	2,23	2,93	3,53	4,I3
	5.10^{-7}	0	0,28	0,88	I,68	2,68	3,28	3,98	4,58	5,08
	5.10^{-5}	0,0I	0,23	0,87	I,67	2,67	3,I7	3,67	3,77	3,87
	5.10^{-4}	0,02	0,24	0,88	I,69	2,5I	2,75	2,88	2,90	2,92
	5.10^{-3}	0,03	0,25	0,89	I,56	I,89	I,95	I,98	I,98	I,98
	5.10^{-2}	0,0I	0,24	0,72	0,94	I,0I	I,02	I,02	I,02	I,02
	5.10^{-I}	0,0I6	0,I3	0,2I	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
0,9	5.10^{-11}	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,I3
	5.10^{-7}	0	0,08	0,I8	0,28	0,58	0,68	0,88	0,98	I,I8
	5.10^{-5}	0	0,02	0,I2	0,30	0,53	0,67	0,87	0,87	0,97
	5.10^{-4}	0,0I	0,03	0,I3	0,3I	0,53	0,63	0,70	0,7I	0,72
	5.10^{-3}	0,02	0,04	0,I4	0,30	0,45	0,48	0,50	0,50	0,50
	5.10^{-2}	0	0,02	0,II	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	5.10^{-I}	0,002	0,02	0,04	0,054	0,69	0,058	0,068	0,058	0,058

Рис.IУ.57. График функции $\theta(r/r_c, \tau)$.



где $\bar{x} = \frac{x}{6}$; $\bar{r}_c = \frac{r_c}{6}$; $\tau = \frac{at}{6}$.

Значения функции $\mathcal{P}(\bar{x}, \bar{r}_c, \tau)$ приведены в табл.IУ.I5. При значении $x > 0{,}75\ 6$ понижение в любой точке можно найти по формуле

$$U = U_0\, erfc \frac{x}{2\sqrt{at}} ; \qquad erfc\, \xi = 1 - erf\, \xi . \qquad (IУ.I70)$$

IУ.63. Линейный ряд скважин в полуограниченном пласте с постоянным напором на контуре (см.рис.IУ.5I). В данном случае фильтрационное сопротивление находится из формулы

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{2\left[\ln \frac{6}{\pi d_c} + \frac{2\pi L}{6}\right]} + \frac{1}{4\pi\sqrt{\tau\tau}\left[\frac{6}{2\pi L}\ln\left(\frac{2\pi d_c}{6}\operatorname{sh}\frac{2\pi L}{6}\right) - 2\right]^2} , \quad \tau = \frac{at}{6^2} . \qquad (IУ.I7I)$$

IУ.64. Кольцевая батарея скважин в неограниченном пласте (см.рис.IУ.54 при $R \to \infty$). Приток воды в каждую из скважин кольцевой системы определяется по формуле (IУ.I5I), фильтрационное

сопротивление равно:

$$\varphi = \frac{n}{\mathcal{F}_{сов}(\tau)} + \ell n \frac{б}{\pi d_c} , \qquad (IУ.I72)$$

где n - число скважин; $б$ - расстояние между скважинами. Значения $\mathcal{F}_{сов}(\tau)$ приведены на рис.IУ.I9.

Динамика снижения уровней (напоров) подземных вод за пределами кольцевой системы может быть оценена по формуле (IУ.I67), в которую вместо r_c необходимо подставить радиус системы r_o. Внутри дренируемого контура понижение в центре находится из уравнения

$$U_ц = U_o\left[1 - L_1(\tau)\right] . \qquad (IУ.I73)$$

Значения функции $L_1(\tau)$ приведены на рис.IУ.I6.

IУ.65. Систематический дренаж (см.рис.IУ.56). При наличии инфильтрации сверху с интенсивностью ω дебит каждой скважины с достаточной степенью точности находится по формуле

$$Q = \pi\omega R_к^{*2} + \left(\frac{2\pi\kappa U_o}{\ell n \frac{R_к^*}{2r_c}} - \pi\omega R_к^*\right) exp\left(-\alpha_1^2\tau\right) ; \qquad (IУ.I74)$$

$\tau = \frac{at}{R_к^{*2}}$; α_1 - первый корень уравнения

$$У_1(\alpha_1)J_o(\alpha_1\bar{r}_c) - J_1(\alpha_1)У_1(\alpha_1\bar{r}_c) = 0$$

Значения этого корня в зависимости от $\bar{r}_c$ таковы:

$\bar{r}_c$	0,0I	0,00I	0,000I	0,0000I
α_1	0,7I67	0,5687	0,4857	0,4308

Понижение уровня в междурянье (при $r = R_к^*$) находится по формуле

$$S_ц = \left[S_o - \frac{\omega R_к^{*2}}{2\kappa h_c}\left(\ell n \frac{R_к^*}{r_c} - \frac{1}{2}\right)\right]\left(1 - e^{-\alpha_1\tau}\right). \qquad (IУ.I75)$$

При отсутствии инфильтрации в приведенных формулах следует считать, что $\omega = 0$.

IУ.66. Учет гидродинамического несовершенства скважин осуществляется описанным выше способом с использованием таблицы

Таблица IУ.I5

Значения функции $\mathcal{P}_r(\bar{x}, \bar{\tau}_c, \tau)$.

$\bar{x}=\frac{x}{\sigma}$	$\bar{\tau}_c$	Значения $\mathcal{P}_r(\bar{x}, \bar{\tau}_c, \tau)$ при значениях τ, равных							
		0,25	0,5	I	2	4	6	8	I0
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
0		0,345	0,265	0,I80	0,087	0,039	0,0I7	0,0I3	0,0I3
I		0,375	0,297	0,220	0,II5	0,042	0,020	0,0I4	0,0I4
2	0,0001	0,465	0,375	0,265	0,I34	0,044	0,02I	0,0I5	0,0I5
3		0,532	0,425	0,302	0,I55	0,048	0,023	0,0I6	0,0I6
4		0,728	0,549	0,355	0,I77	0,054	0,026	0,0I8	0,0I8
5		0,905	0,683	0,428	0,2I2	0,065	0,030	0,02I	0,02I
0		0,320	0,245	0,I76	0,082	0,035	0,0I6	0,0I2	0,0I2
I		0,345	0,258	0,205	0,097	0,038	0,0I8	0,0I3	0,0I3
2		0,408	0,328	0,230	0,II8	0,04I	0,020	0,0I4	0,0I4
3	0,0005	0,470	0,385	0,257	0,I35	0,043	0,02I	0,0I5	0,0I5
4		0,554	0,448	0,305	0,I52	0,048	0,023	0,0I6	0,0I6
5		0,70I	0,540	0,346	0,I76	0,055	0,026	0,0I9	0,0I9
0		0,305	0,226	0,I65	0,077	0,033	0,0I5	0,0I2	0,0I2
I		0,334	0,235	0,I85	0,I00	0,038	0,0I7	0,0I27	0,0I27
2		0,408	0,315	0,2I5	0,II0	0,040	0,0I9	0,0I35	0,0I35
3	0,001	0,445	0,367	0,239	0,I26	0,04I	0,020	0,0I42	0,0I42
4		0,515	0,4I0	0,282	0,I4I	0,045	0,022	0,0I56	0,0I56
5		0,632	0,490	0,317	0,I63	0,05I	0,025	0,0I8	0,0I8
0		0,265	0,2I2	0,I53	0,062	0,023	0,0I0	0,0I0	0,0I0
I		0,300	0,235	0,I65	0,075	0,023	0,0I5	0,0II	0,0II
2		0,324	0,270	0,I80	0,095	0,032	0,0I7	0,0I2	0,0I2
3	0,005	0,355	0,300	0,202	0,I08	0,035	0,0I8	0,0I3	0,0I3
4		0,438	0,338	0,236	0,I20	0,038	0,0I9	0,0I4	0,0I4
5		0,507	0,396	0,259	0,I35	0,043	0,02I	0,0I5	0,0I5

IУ.14.

§ 3. Расчеты комбинированных дренажей

IУ.67. Комбинированные дренажи применяются в тех случаях, когда дренирующий эффект от горизонтального или вертикального дренажа в отдельности недостаточен.

IУ.68. В настоящее время точного метода расчета комбинированного дренажа, который позволял бы строго оценивать работу горизонтальной дрены и вертикальных колодцев в условиях их взаимодействия, не имеется. В одних случаях расчет комбинированного дренажа выполняется путем приведения горизонтальных его элементов к эквивалентным по водопритоку вертикальным скважинам (с использованием метода фильтрационных сопротивлений) с последующим применением метода суперпозиции для скважин. В других случаях фильтрационный поток, движущийся к комбинированному дренажу, искусственно разделяется на две части - к вертикальной и горизонтальной дренам (элементам дренажа) - с последующим сложением этих потоков. Первая схема расчета используется в основном при произвольном расположении комбинированного дренажа относительно границ пласта, а также при неустановившемся характере движения грунтовых вод к дренажу, вторая схема - при расположении его между контурами питания и стока (установившаяся фильтрация). Расчетные зависимости для обоих схем получены применительно к напорным потокам, поэтому перенесение их на водоносные горизонты со свободной поверхностью неизбежно будет сопровождаться некоторыми погрешностями.

IУ.69. I-я схема. Произвольное расположение комбинированного дренажа относительно границ пласта. Схема одного элемента дренажа в разрезе показана на рис.IУ.58.

Рассмотрим горизонтальный элемент дренажа. В соответствии с методом фильтрационных сопротивлений, при работе только одной горизонтальной дрены конечной длины ℓ в напорном пласте с круговым контуром питания (при расположении дрены у кровли пласта) понижение в дрене находится по формуле

$$S_0 = \frac{Q_r}{2\pi\kappa M}\left(\ln\frac{4R}{\ell} + \frac{M}{\ell}\ln\frac{M}{\pi r_r}\right). \qquad (IУ.176)$$

Здесь R - радиус кругового контура питания,

r_r - радиус горизонтального элемента комбинированного дренажа,

Q_r - приток воды в горизонтальный элемент,

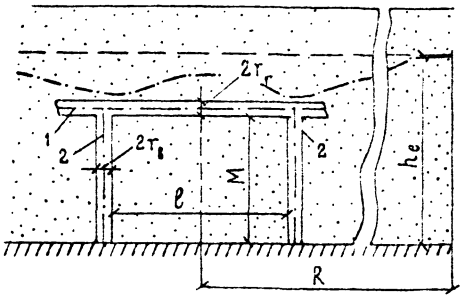


Рис.IУ.58. Схема комбинированного дренажа.
I - горизонтальный элемент дренажа; 2 - вертикальный элемент дренажа.

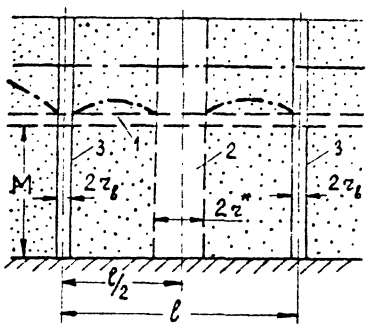


Рис.IУ.59. Расчетная схема комбинированного дренажа.
I - горизонтальный элемент дренажа; 2 - заменяющий его "большой" колодец", 3 - вертикальный элемент дренажа.

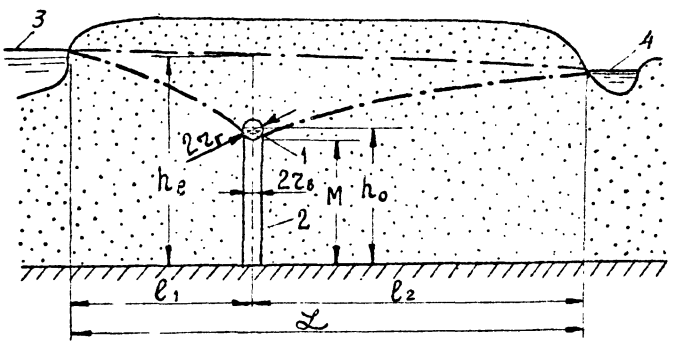


Рис.IУ.60. Схема комбинированного дренажа в потоке подземных вод.
I - горизонтальный элемент дренажа; 2 - вертикальный элемент дренажа; 3 - контур питания; 4 - контур стока.

S_o - понижение в дренаже.

Заменим эту горизонтальную дрену вертикальной совершенной скважиной с тем же дебитом Q_r и понижением, но радиусом, равным r^*. Тогда по формуле Дюпюи получаем

$$S_o = \frac{Q_r}{2\pi\kappa M} \ln \frac{R}{r^*} . \qquad (IУ.177)$$

Сравнивая формулы (IУ.176) и (IУ.177), для определения эквивалентного радиуса r^* получаем следующую зависимость:

$$\ln r^* = \ln \frac{\ell}{4} - \frac{M}{\ell} \ln \frac{M}{\pi r_r} . \qquad (IУ.178)$$

Таким образом, вместо элемента комбинированного дренажа, представленного на рис.IУ.58, получаем эквивалентную ей систему из трех скважин - двух с радиусами r_c и одной с радиусом r^* (рис.IУ.59). Дальнейший расчет ведется по хорошо разработанной методике расчета взаимодействующих скважин с учетом характера условий на границах пласта, степени несовершенства (для вертикальных скважин комбинированного дренажа), режима фильтрации (установившийся или неустановившийся).

IУ.70. 2-я схема. Комбинированный дренаж между контурами питания и стока. Схема дренажа (в разрезе) представлена на рис. IУ.60. Излагаемая методика расчета дренажа при расположении его между контурами питания и стока разработана применительно к условиям напорной фильтрации, переход к фильтрации со свободной поверхностью осуществлен с использованием соотношения

$$MS_o = \frac{h_e^2 - h_o^2}{2} ,$$

h_e - естественная глубина грунтовых вод в месте расположения дренажа.

При выполнении расчетов выделяются 3 случая: $\ell = 2M$, $\ell > 2M$ и $\ell < 2M$.

I-ый случай: $\ell = 2M$ (симметричный поток). Притоки воды, поступающие в горизонтальный (Q_r) и вертикальный ($Q_в$) элементы дренажа, вычисляются по формуле

$$Q_{r(в)} = \frac{\pi\kappa(h_e^2 - h_o^2)}{4} \left(\ln \frac{2\ell + 8\ell + 2c}{2c} - \frac{2\pi\ell}{4c + 8\ell} \right) ; \qquad (IУ.179)$$

$$b = \ln \frac{M}{2\pi r_{г(в)}} - 1; \qquad c = \frac{\pi \ell_1 \ell_2}{L};$$

$r_г$, $r_в$ – радиусы горизонтального и вертикального элементов комбинированного дренажа соответственно.

2-ой случай: $\ell > 2M$ (несимметричный приток). Приток воды, поступающий в горизонтальный элемент дренажа, равен:

$$Q_г = \frac{\pi k \alpha (h_e^2 - h_o^2)}{4} \left(\ln \frac{2\alpha M + \alpha b M + c}{c} - \frac{2\alpha b M}{2c + \alpha b M} \right) + \qquad (IУ.180)$$

$$+ q_{гр} (\ell - 2\alpha M).$$

Здесь

$$b = \ln \frac{\beta M}{2\pi r_г} - 1; \quad c = \frac{\pi \ell_1 \ell_2}{\beta L}; \quad \alpha = \frac{4M + \ell}{6M}; \quad \beta = \frac{1}{\alpha}; \qquad (IУ.181)$$

$$q_{гр} = \frac{\pi k (h_e^2 - h_o^2)}{2M \left[\ln \frac{M}{\pi r_г} + \frac{\pi \ell_1 \ell_2}{L} \right]}.$$

Приток воды, поступающий в вертикальный элемент дренажа

$$Q_в = \frac{\pi k (h_e^2 - h_o^2)}{4} \left(\ln \frac{2M + bM + c}{c} - \frac{2bM}{2c + bM} \right). \qquad (IУ.182)$$

Здесь

$$\alpha = \frac{4M + \ell}{6M}; \qquad c = \frac{\pi \ell_1 \ell_2}{\alpha L}; \qquad b = \ln \frac{\alpha M}{2\pi r_c} - 1.$$

3-ий случай: $\ell < 2M$ (несимметричный приток). Приток, поступающий в горизонтальный элемент дренажа, равен:

$$Q_г = \frac{\pi k \ell (h_e^2 - h_o^2)}{8M} \left(\ln \frac{2\ell + b\ell + 2c}{c} - \frac{2b\ell}{4c + b\ell} \right); \qquad (IУ.183)$$

$$b = \ln \frac{\beta \ell}{4\pi r_г} - 1; \qquad c = \frac{\pi \ell_1 \ell_2}{\beta L}; \qquad \beta = \frac{2(M + \ell)}{3c}.$$

Приток, поступающий в вертикальный элемент дренажа, равен:

$$Q_в = \frac{\pi k \beta \ell (h_c^2 - h_0^2)}{8M}\left(\ln\frac{2\beta\ell + \beta\ell\ell + 2c}{2c} - \frac{2\beta\delta\ell}{4c + \beta\ell\delta}\right) + q_c\left(M - \frac{\beta\ell}{2}\right). \quad (IУ.184)$$

Здесь

$$\delta = \ln\frac{\alpha\ell}{4\pi r_в} - 1; \quad c = \frac{\pi\ell_1\ell_2}{\alpha L}; \quad \alpha = \frac{3\ell}{2(M+\ell)}; \quad \beta = \frac{2(M-\ell)}{3c};$$

$$q_c = \frac{\pi k (h_c^2 - h_0^2)}{M\left(\ln\frac{\ell}{2\pi r_в} + \frac{2\pi\ell_1\ell_2}{\ell L}\right)}.$$

Во всех трех случаях суммарный приток воды, поступающий в дренаж, вычисляется по формуле

$$Q_c = Q_в + Q_г.$$

Средний приток на единицу длины комбинированного дренажа

$$q = \frac{Q_в + Q_г}{\ell}. \quad (IУ.185)$$

Построение депрессионной поверхности производится по зависимостям для однолинейного несовершенного горизонтального дренажа, расположенного между контурами питания и стока (см.выше) с учетом среднего притока, вычисленного по (IУ.185).

§ 4. Расчеты лучевых дренажей[x)]

IУ.71. Расчет лучевого дренажа осуществляется путем его приведения, в зависимости от планового расположения лучей, в одних случаях к горизонтальному кольцевому дренажу, в других – к горизонтальному линейному и в третьих – к вертикальному. К горизонтальному кольцевому дренажу приводятся схемы расположения лучей, которые изображены на рис.Ш.23а,в,е,ж,з, к вертикальному – на рис.Ш.23б,г,д,и,к.

IУ.72. Расчет водопонизительного действия лучевого дренажа, приведенного к горизонтальному кольцевому дренажу, выполняется по методике, § I раздел "б" главы IУ. Приведение дренажей к

---

x) Данный параграф написан Г.А.Разумовым.

горизонтальному кольцевому возможно, если расстояние ("просвет") между концами лучей составляет $б \leq 0{,}15\,\ell$.

Для схемы Ш.23е,ж,з лучевой дренаж приводится к горизонтальному кольцевому, если дрены-усилители имеют длину $\ell_y \leq 0{,}25\ell$. В противном случае, эти схемы приводятся к схемам вертикального дренажа.

IУ.73. В отличие от обычного горизонтального дренажа, лучевые дрены в большинстве случаев работают в напорном режиме и являются затопленными, что объясняется относительной малостью их диаметра и бестраншейным способом устройства. В связи с этим над лучевой дреной имеется место нависание кривой депрессии, величина которого может быть приближенно подсчитана по формуле:

$$h_н = 0{,}22\,\frac{q}{к}\,, \qquad (IУ.186)$$

где: q - дебит дрены на I пог.м ее длины,

$к$ - коэффициент фильтрации дренируемого грунта.

Таким образом, результат расчета сниженного уровня грунтовых вод от действия лучевого дренажа по формулам горизонтального дренажа должен быть повышен на величину $h_н$.

IУ.74. Расчет лучевого дренажа с ответвлениями (рис.IУ.61) выполняется путем его приведения к однолинейному дренажу. Для этого используется способ "разворачивания" ответвлений с помощью конформного отображения действительной полуплоскости области фильтрации на условную. Указанное преобразование для фрагмента $абсd$ (см.рис.IУ.61) с достаточной степенью точностью осуществляется путем пересчета координат по следующим формулам (расчетная схема - рис.IУ.62):

$$\xi = \sqrt{\sqrt{A^2 + Б^2} + A}\,; \qquad \eta = \sqrt{\sqrt{A^2 + Б^2} - A}\,; \qquad (IУ.187)$$

$$A = 0{,}5\,(\ell^2 + x^2 - y^2); \qquad Б = xy;$$

где x, y - координаты точек на действительной полуплоскости (т.е. области фильтрации);

ℓ - действительная длина дрены - ответвления;

ξ, η - новые координаты в отображенной области.

Для приведения ветвистого дренажа, имеющего несколько поперечных дрен, к фиктивной линейной дрене необходимо произвести столько последовательных преобразований по формулам (IУ.187),

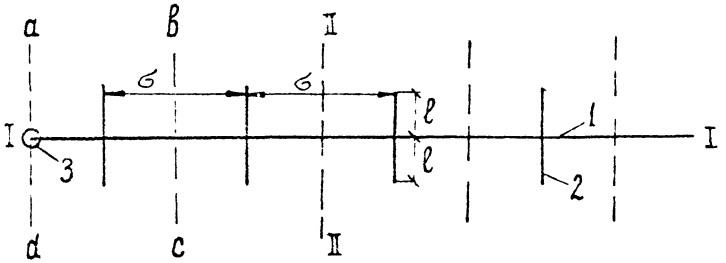


Рис.IУ.61. Схема лучевого дренажа с ответвлениями.
I - основная дрена; 2 - дрена-ответвление;
3 - водосборный колодец.

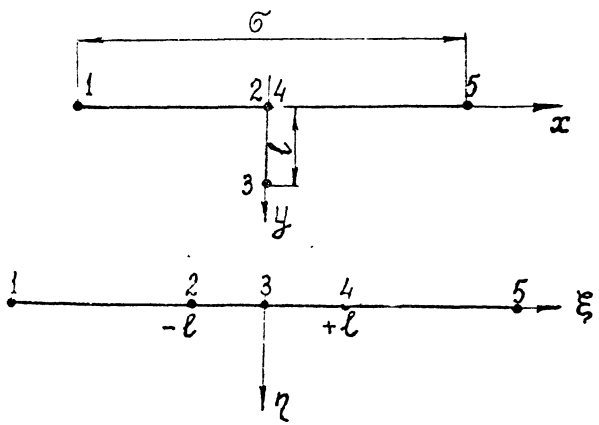


Рис.IУ.62. Расчетная схема приведения лучевого дренажа с ответвлениями к однолинейному дренажу.

сколько ответвлений имеет ветвистый дренаж. Описанная методика расчета применяется как к верхней полуплоскости (выше линии I-I на рис.IУ.61), так и к нижней. Результаты расчетов складываются.

После "вытягивания" дренажа с боковыми ответвлениями в одну линию расчет понижения уровней грунтовых вод ведется по методике, приведенной в § I раздел "в" главы IУ-й, где расчетная длина дрены принимается с учетом "разворачивания" боковых ответвлений.

IУ.75. Отдельно действующие лучевые дренажи с равномерно расположенными лучами (см.схему рис.IУ.23,к), применяющиеся для дренирования отдельных сооружений (или их частей), а также разгрузки куполов грунтовых вод рассчитываются как одиночные лучевые дренажи. При этом, если в соответствии с местными гидрогеологическими и производственными условиями лучевые скважины запроектированы разной длины ℓ_i и с разными углами θ_i между лучами и эта разница не превышает 20%, то для применения приведенных ниже формул необходимо разные длины и углы привести к средним значениям по зависимости:

$$\ell = \sum_{i=1}^{N} \frac{\ell_i}{N} ; \qquad \theta_c = \frac{360^\circ}{N} ; \qquad (IУ.188)$$

где ℓ и θ_c – соответственно осредненные длина горизонтальных радиальных скважин и угол между ними;

N – число лучей;

i – порядковый номер луча.

IУ.76. Дебит отдельно действующего лучевого дренажа определяется в зависимости от понижения уровня в его водосборном колодце, длины, числа, диаметра и глубины заложения лучевых горизонтальных скважин, а также фильтрационных характеристик дренируемых грунтов.

При установившемся движении дебит одиночного лучевого дренажа с равномерно расположенными в плане лучами (рис.IУ.63) может быть определен по формуле

$$Q = \frac{2{,}7 K S_0 \ell \gamma N}{\lg \frac{\ell}{1{,}4 r_c} + 2\psi \lg \frac{\ell + \sqrt{\ell^2 + 4h_\ell^2}}{2h_\ell}} , \qquad (IУ.189)$$

где h_ℓ – мощность водоносного пласта;

S_0 – снижение уровня воды в водосборном колодце;

ℓ – длина горизонтальной лучевой скважины;

r_c – радиус горизонтальной лучевой скважины.

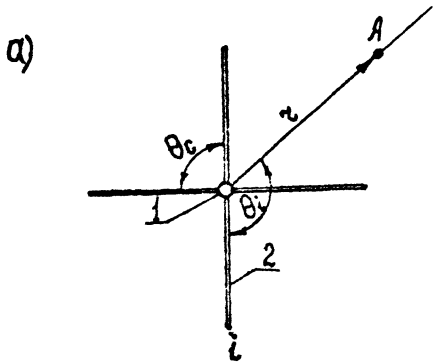


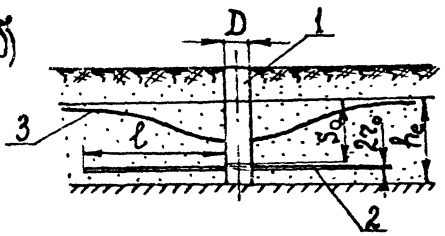
Рис.IУ.63. Одиночный лучевой дренаж с равномерно распространенными по кругу лучами

а) план; б) разрез;

I - водосборный колодец;

2 - лучевые дрены;

3 - депрессионная поверхность подземных вод.



Коэффициент взаимодействия лучевых дрен γ и коэффициент ψ берутся по таблице IУ.I6.

Таблица IУ.I6

N \ l/h_e	2	4	6	8	I0	20
I	2	3	4	5	6	7
	Коэффициент γ					
3	0,63	0,67	0,70	0,7I	0,72	0,75
4	0,48	0,52	0,57	0,60	0,63	0,64
6	0,33	0,38	0,40	0,45	0,47	0,52
8	0,28	0,33	0,36	0,42	0,45	0,5I
	Коэффициент ψ					
	0,5	5,0	6,2	7,0	8,0	I0,0

При неустановившемся режиме фильтрации дебит лучевого дренажа может быть определен по формуле

$$Q = \frac{4\pi\kappa S_0 h_e N}{N\ell n\tau + 1{,}6\bar{h}_e}, \qquad (IУ.190)$$

$$\tau = \frac{at}{h_e^2}; \qquad \bar{h}_e = \frac{h_e}{\ell};$$

a – коэффициент уровнепроводности.

Для расчетов лучевого дренажа, работающего в режиме постоянного понижения уровня, приведенными формулами (IУ.190) можно пользоваться в случае, если $t \geq \frac{10 r_э^2}{a}$, где $r_э$ – радиус эквивалентного "большого колодца".

IУ.77. Радиус эквивалентного по дебиту и понижению "большого колодца" для схемы равномерного расположения лучей определяется по формуле

$$r_э = 0{,}4(\ell + D) + 0{,}1 h_e \ell g \frac{N r_c}{h_e}, \qquad (IУ.191)$$

где D – диаметр водосборного колодца.

IУ.78. Понижение уровня грунтовых вод за пределами лучей (на расстоянии $r \geq 1{,}75\,\ell$ от оси водосборного колодца) определяется по соответствующим формулам для вертикального дренажа, приведенным в § 2 главы IУ.

IУ.79. Расчет водопонизительного действия в пределах самих лучевых скважин на расстояниях от водосборного колодца $r \leq 2h_e$ и при $\ell > 2h_e$ (рис.IУ.63) для случая постоянного понижения уровня во времени в колодце, при неустановившемся режиме фильтрации производится следующим образом. Вначале по формуле (IУ.190) находится приток воды в дренаж на различные моменты времени t. Затем строится криволинейный график $Q = f(t)$, который заменяется ступенчатым (см.рис.IУ.30). Понижение в т.А, расположенной на биссектрисе угла между двумя любыми лучами, определяется по формуле

$$S = \sum_{j=1}^{n} \frac{Q_j - Q_{j-1}}{4\pi\kappa\ell N} \sum_{j=1}^{N} F_s(\tau - \tau_{j-1}); \qquad (IУ.192)$$

$$F_s(\tau - \tau_{j-1}) = \alpha Ei\left[-\frac{\alpha^2+\beta^2}{4(\tau-\tau_{j-1})}\right] - \delta Ei\left[-\frac{\delta^2+\beta^2}{4(\tau-\tau_{j-1})}\right] + 2\frac{\ell}{h_e} - \qquad (IУ.193)$$

$$- 2\beta\left(arctg\frac{\alpha}{\beta} - arctg\frac{\delta}{\beta}\right);$$

$$\tau_{j-1} = \frac{a t_{j-1}}{h_e^2} \cdot \qquad \text{(IУ.194)}$$

В этих формулах:

$$\alpha = \frac{r\cos\theta_j - 0{,}5D}{h_e}; \qquad \beta = \frac{r\sin\theta_j}{h_e}, \qquad \delta = \frac{r\cos\theta_j - \ell}{h_e}, \qquad \text{(IУ.195)}$$

где: r – расстояние от вертикальной оси водосборного колодца лучевого дренажа до точки А, в которой определяется понижение уровня грунтовых вод S ;

θ_j – угол между j -ой лучевой скважиной и радиусом – вектором r ;

В частном случае четырехлучевого (крестообразного) дренажа (см.рис.IУ.63,а) функция F_S для точки, расположенной на расстоянии $r = \ell$, определяется по формуле

$$F_S(\tau - \tau_{j-1}) = 8\frac{\ell}{h_e} + 2\delta_1 Ei\left[-\frac{\beta_1^2 + \delta_1^2}{4(\tau - \tau_{j-1})}\right] + \qquad \text{(IУ.196)}$$

$$+ 2\delta_2 Ei\left[-\frac{\beta_1^2 + \delta_2^2}{4(\tau - \tau_{j-1})}\right] + 4\beta_1\left(arctg\frac{\delta_2}{\beta_1} - arctg\frac{\delta_1}{\beta_1}\right),$$

где $\beta_1 = 0{,}76\frac{\ell}{h_e}$; $\delta_1 = 0{,}29\frac{\ell}{h_e}$; $\delta_2 = 1{,}71\frac{\ell}{h_e}$.

Для двухлучевого прямоугольного дренажа (см.схему рис.Ш.23в) при тех же условиях $\theta_1 = \theta_2 = 90^0$ и $r = \ell$, можно пользоваться формулой

$$F_S(\tau - \tau_{j-1}) = 4\frac{\ell}{h_e} + 2\delta_1 Ei\left[-\frac{\beta_1^2}{4(\tau - \tau_{j-1})}\right] - \qquad \text{(IУ.197)}$$

$$- 2\delta_2 Ei\left[-\frac{\beta_1^2 + \delta_2^2}{4(\tau - \tau_{j-1})}\right] + 4\beta_1\left(arctg\frac{\delta_1}{\beta_1} - \frac{\pi}{4}\right).$$

IУ.80. Лучевые дренажи с неравномерно расположенными лучами (см.схемы рис.Ш.23б,г,д,и), приводимые к вертикальному дренажу, рассчитываются по методике, приведенной в § 2 главы IУ.

При этом в соответствующих формулах под расходом откачиваемой воды Q должен пониматься расход лучевого дренажа, эквивалентного вертикальному большому колодцу по дебиту и понижению в

нем уровня воды. Вертикальная ось расчетного "большого колодца" помещается в геометрическом центре лучевого дренажа. Эта точка определяется как центр тяжести многоугольника, вершинами которого служат середины лучей (например, для 3-х лучевого дренажа - см.рис.IУ.64).

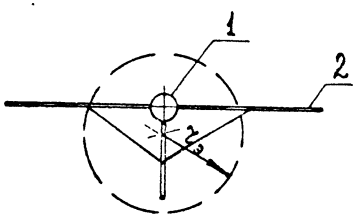


Рис.IУ.64.Одиночный дренаж с неравномерно распределенными по кругу лучами. I - водосборный колодец; 2 - лучевые дрены.

Радиус эквивалентного "большого колодца" для расчета лучевого дренажа с неравномерно расположенными лучами может быть приближенно определен по зависимости:

$$r_э = \frac{R}{10^{\alpha}}; \qquad \alpha = \frac{2{,}73 \kappa h_e S_o}{Q}. \qquad (IУ.I98)$$

Здесь R - радиус действия дренажа.

IУ.8I. Учет взаимодействия группы лучевых дренажей (см. схемы рис.Ш.23 б,г,д,з) выполняется по формуле

$$Q_n = \frac{4\pi\kappa h_e \Gamma S_o}{\frac{F}{n} + \sum_{\kappa=1}^{n} Ei\left(-\frac{r_\kappa^2}{4at}\right)}. \qquad (IУ.I99)$$

Здесь

$$F = N \ell n\, r + \frac{1{,}6\, h_e}{\ell}, \qquad (IУ.200)$$

где: Q_n - суммарный расход дренажных вод, откачиваемых лучевыми дренажами (с учетом их взаимовлияния);

n - число лучевых дренажей;

r_κ - расстояние от лучевого дренажа с номером κ до дренажа с понижением уровня воды в нем S_o.

IУ.82. В частном случае расположения лучевых дренажей по углам квадрата учет их взаимодействия может выполняться по формуле

$$Q_n = \frac{2\pi\kappa h_e S_o}{\ell n \frac{R_1^4}{11{,}3\sigma^3 r_э}}. \qquad (IУ.20I)$$

Здесь

$$R_1 = R_л + 1{,}4\sigma, \qquad R_л = r_з + 1{,}5\sqrt{at},$$

где σ - половина расстояния между осями водосборных колодцев лучевых дренажей.

Для двух взаимодействующих лучевых дренажей дебит равен:

$$Q_л = \frac{2\pi k h_c S_0}{\ln \frac{R_1^2}{2\sigma r_з}}, \qquad (IУ.202)$$

где $R_c = R_л + \sigma$.

IУ.83. Понижение уровня грунтовых вод в зоне действия группы лучевых дренажей за пределами лучей определяется по соответствующим формулам для взаимодействующих вертикальных скважин (см.§ 2 гл.IУ).

§ 5. Особенности расчетов дренажей при вакуумировании

IУ.84. Вакуумирование применяется с целью увеличения эффективности действия дренажей. Вакуумирование как метод интенсификации водотбора позволяет повысить энергию фильтрационного потока, что особенно важно при осушении слабопроницаемых грунтов. Создание вакуума в полости дренажного устройства эквивалентно уменьшению напора грунтовых вод в этом месте. А так как на контуре питания или значительном удалении от дрены напор грунтовых вод не изменяется, то при вакуумировании увеличивается действующая разность напоров, приводящая к росту водопритока. Исследования, посвященные вакуумированию, показывают, что расчеты вакуумных систем дренажа могут выполняться по тем же зависимостям, что и безвакуумные, однако, в значение напорной функции U должна войти величина наложенного вакуума. Тогда в общем случае напорная функция принимает вид:

в напорных водах

$$U = M\left[h_c - h + h_в(\xi)\right], \qquad (IУ.203)$$

в пластах со свободной поверхностью

$$U = \frac{h_c^2 - [h - h_в(\xi)]^2}{2}. \qquad (IУ.204)$$

Здесь $h_в(\xi)$ - величина вакуума на расстоянии ξ от дрены.

IУ.85. К сожалению, определение $h_в(\xi)$ в произвольной точке пласта весьма затруднительно. Поэтому при расчете вакуумных систем ограничиваются определением напорной функции лишь в самой дрене U_0, которая находится по формулам:
в напорных пластах

$$U_0 = M(h_e - h_0 + h_в) = M(S_0 + h_в), \qquad (IУ.205)$$

в пластах со свободной поверхностью

$$U_0 = \frac{h_e + h_в}{2}(h_e - h_0 + h_в) = \frac{h_e + h_0}{2}(S_0 + h_в). \qquad (IУ.206)$$

Здесь $h_в$ - величина вакуума, наложенного в дрене, в метрах водяного столба.

Таким образом, вакуумирование эквивалентно увеличению понижения в дрене на величину $h_в$, при этом мощность водоносного пласта остается неизменной.

§ 6. Об определении радиуса влияния дренажных сооружений.

IУ.86. Теоретически при отборе воды из дренажных устройств, работающих в безграничных пластах, влияние их на положение уровня грунтовых вод распространяется до бесконечности. Практически же можно выделить такое расстояние, начиная с которого уровень грунтовых вод с заданной степенью точности измерения остается неизменным. Это расстояние носит название радиуса влияния или радиуса действия (дальность действия) дренажа и играет роль расстояния до контура с постоянным напором.

IУ.87. При отсутствии источников пополнения грунтовых вод радиус влияния растет пропорционально $\sqrt{t}$. При наличии инфильтрационного питания или перетока воды из соседних недренируемых пластов через слабопроницаемые грунты кровли или подошвы пласта радиус влияния часто имеет установившееся значение.

IУ.88. При питании водоносного пласта за счет равномерной инфильтрации интенсивностью ω величина установившегося радиуса влияния может быть определена по формулам:
для одиночных скважин и кольцевых дренажей горизонтального или вертикального типа

$$R\sqrt{\lg R - \lg r_0 - 0{,}217} = 0{,}66\sqrt{\frac{K}{\omega}(2h_e - S_0)S_0 - 0{,}5r_0^2}, \qquad (IУ.207)$$

для линейного дренажа горизонтального или вертикального типа

$$R=\sqrt{\frac{K}{4\omega}(2h_e-S_o)S_o}\ . \qquad (IУ.208)$$

Определение R по формуле (IУ.207) производится методом последовательных приближений.

IУ.89. При питании водоносного горизонта из нижележащего напорного пласта через слабопроницаемый прослой мощностью "δ" и коэффициентом фильтрации κ_δ радиус влияния при неустановившемся движении к расчетному моменту времени t определяется по формулам:

для одиночных скважин и кольцевых дренажей

$$R(t)=2{,}82\sqrt{\frac{2\kappa h_e t}{\mu}\left(1-\frac{\lambda t}{4}\right)}\ , \qquad \lambda=\frac{2\kappa_\delta}{\delta\mu}\ ; \qquad (IУ.209)$$

для линейного дренажа

$$R(t)=2{,}08\sqrt{\frac{2\kappa h_e t}{\mu}\left(1-\frac{\lambda t}{4}\right)}\ . \qquad (IУ.210)$$

Эти формулы показывают, что при малых значениях времени влияние слабопроницаемого раздельного слоя практически не сказывается на величине $R(t)$. При $t\to\infty$ по этим формулам получаются значения установившегося радиуса влияния:

для одиночной скважины или кольцевого дренажа

$$R=2{,}82\sqrt{\frac{\kappa\delta h_e}{\kappa_\delta}}\ , \qquad (IУ.211)$$

для линейного дренажа

$$R=2{,}08\sqrt{\frac{\kappa\delta h_e}{\kappa_\delta}}\ . \qquad (IУ.212)$$

Последние формулы применимы при условии

$$G=r_o\sqrt{\frac{\kappa_\delta}{\kappa h_e\delta}}<0{,}2\ .$$

Если оно не выполнено, то расчет ведется по соотношению

$$R=r_o\,exp\left[-\frac{K_o(G)}{GK_1(G)}\right]\ ; \qquad (IУ.213)$$

$K_0(x)$ и $K_1(x)$ – функция Бесселя второго рода мнимого аргумента.

IУ.90. При отсутствии питания определение $R(t)$ может осуществляться и по формулам:
для кольцевой системы и одиночных скважин

$$R(t) = r_0 + \sqrt{\pi a t}, \qquad (IУ.214)$$

для линейного дренажа

$$R(t) = (1{,}12 \div 1{,}15)\sqrt{at}. \qquad (IУ.215)$$

§ 7. Расчеты противофильтрационных завес (барражей)

IУ.91. Во многих случаях предотвращение подтопления площадок промышленных предприятий может быть достигнуто путем сооружения вокруг них противофильтрационных завес (барражей), представляющих собой непроницаемые или весьма слабопроницаемые искусственно создаваемые стенки небольшой толщины (рис.IУ.65). Завесы позволяют в значительной степени изолировать огражденные территории от естественного потока грунтовых вод. Поэтому снижение первоначального уровня грунтовых вод внутри контура завесы происходит очень быстро при минимальном количестве дренажных устройств (горизонтального или вертикального типов), последующая работа которых (чаще всего периодическая) позволяет при небольших затратах поддерживать в пределах площадки промпредприятия необходимый сниженный уровень.

IУ. 92. Однако, путем создания противофильтрационных завес не всегда удается полностью устранить приток грунтовых вод в защищаемый контур. Это обусловлено тем, что в преобладающем большинстве случаев материал завесы имеет определенную, хотя и весьма низкую, проницаемость. Поэтому для поддержания внутри защищаемого контура сниженного уровня грунтовых вод необходимо удалять воду, фильтрующуюся в защищаемый контур через завесу.

IУ.93. Задачей расчета завес (барражей) является определение величины фильтрационного проскока через завесу (количества воды, поступающей в защищаемый контур) и построение депрессионной поверхности грунтовых вод. При этом должны быть учтены конфигурация завесы в плане, степень ее гидродинамического несовершенства, условия на контурах водоносного пласта, а также фильтрационные

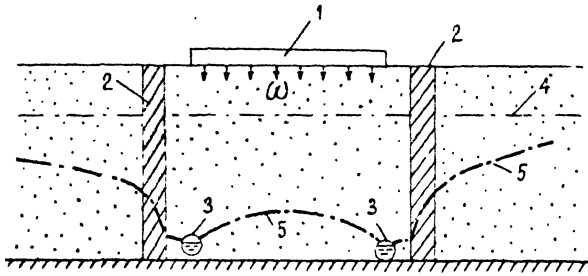


Рис.IУ.65. Схема противофильтрационной завесы вокруг площадки промпредприятия.
I- промплощадка; 2 - противофильтрационная завеса; 3 - дренаж; 4 - естественный уровень грунтовых вод; 5 - сниженный уровень грунтовых вод.

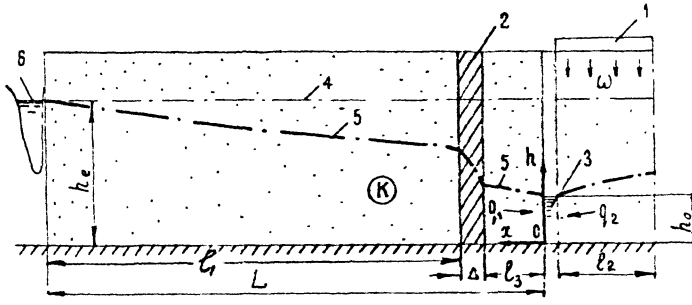


Рис.IУ.66. Схема удлиненной противофильтрационной завесы.
I - промплощадка; 2 - противофильтрационная завеса; 3 - линейный дренаж; 4 - естественный уровень грунтовых вод; 5 - сниженный уровень грунтовых вод; 6 - контур питания.

параметры материала завесы и водоносных пород.

IУ.94. Противофильтрационные завесы в плане могут иметь различную конфигурацию, в качестве расчетных ниже рассматриваются удлиненные (двухлинейные) и контурные (круглые) в плане завесы. Завесы остальных в плане форм сводятся к этим двум расчетным схемам, при этом используется методика, описанная ранее. Фильтрация может носить как неустановившийся, так и установившийся характер. Неустановившаяся фильтрация имеет место в пластах большой протяженности (теоретически безграничные пласты), с непроницаемыми границами, а также в начальные промежутки времени в пластах с контурами питания. Для установившейся фильтрации необходимо наличие контура питания.

а) Расчет удлиненных завес

Гидродинамическая схема удлиненной в плане завесы представлена на рис.IУ.66. Обозначим через κ и $\kappa_з$ коэффициенты фильтрации водоносных пород и материала завесы соответственно. Считаем, что внутри контура завесы параллельно ей устроен горизонтальный дренаж, в котором поддерживается постоянный уровень воды h_0.

Установившаяся фильтрация. Обозначим мощность грунтового потока на контуре питания (т.е. на расстоянии $x=L$ от дрены) через h_e (см.рис.IУ.66). Тогда расход потока, поступающего в дренаж через единицу ширины противофильтрационной завесы, определяется по формуле

$$q_1 = \frac{\kappa(h_e^2 - h_0^2)}{2[L+(\sigma-1)\Delta]}\ ; \qquad \sigma = \frac{\kappa}{\kappa_з}\ . \tag{IУ.216}$$

Построение депрессионной поверхности производится по формулам:

при $x \le \ell_з$

$$h^2 = h_0^2 + \frac{h_e^2 - h_0^2}{L+(\sigma-1)\Delta}\cdot x\ ; \tag{IУ.217}$$

при $\ell_з + \Delta \le x < L$

$$h^2 = h_e^2 - \frac{h_e^2 - h_0^2}{L+(\sigma-1)\Delta}\,(L-x)\ . \tag{IУ.218}$$

Полный приток воды, поступающей в дренаж на единицу ее длины с внутренней и наружной (со стороны завесы) областей, равен

$$q = q_1 + q_2 = \omega \ell_2 + \frac{\kappa (h_e^2 - h_0^2)}{2\left[L + (\sigma - 1)\Delta\right]} \qquad (IУ.219)$$

Приток из наружной области q_1 резко возрастает, если завеса является гидродинамически несовершенной, т.е. неполностью примыкает к водоупору (рис.IУ.67). В этом случае определение его

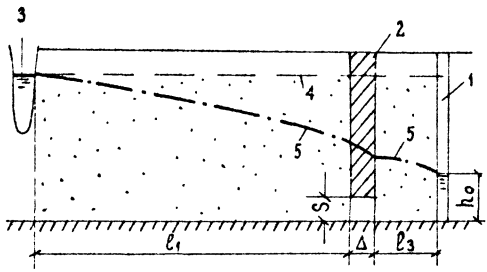


Рис.IУ.67. Схема несовершенной противофильтрационной завесы.

I - дренаж; 2 - несовершенная завеса; 3 - контур питания, 4 - естественный уровень грунтовых вод; 5 - сниженный уровень грунтовых вод.

производится по формуле

$$q_1 = \frac{\kappa (h_e - h_0)}{A}\,; \qquad (IУ.220)$$

$$A = \ln\left[\left(\operatorname{sh}\frac{\pi \ell_1}{2M^*} + \sqrt{\operatorname{sh}^2\frac{\pi \ell_1}{2M^*} + \cos^2\pi\frac{M^* - S}{2M^*}}\right)\left(\operatorname{sh}\frac{\pi \ell_3}{2M^*} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \sqrt{\operatorname{sh}^2\frac{\pi \ell_3}{2M^*} + \cos^2\pi\frac{M^* - S}{2M^*}}\right)\right] + \ln\left[\left(\operatorname{ch}\frac{2\ell_1}{2M^*} + \sqrt{\operatorname{ch}^2\frac{\pi \ell_1}{2M^*} + \cos^2\pi\frac{M^* - S}{2M^*}}\right)\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left(\operatorname{ch}\frac{\pi \ell_3}{2M^*} + \sqrt{\operatorname{ch}^2\frac{\pi \ell_3}{2M^*} - \cos^2\pi\frac{M^* - S}{2M^*}}\right)\right] - 4\ln\cos\frac{\pi(M^* - S)}{2M^*}\,. \qquad (IУ.221)$$

В этой формуле $M^* \approx \frac{h_e + h_o}{2}$.

В реальных условиях (т.е. практически всегда) $\ell_3 / M^* > 1$, $\ell_1 / M^* > 1$, $\frac{M^* - S}{M^*}$ будет изменяться в пределах от 0,7 до I. Тогда выражение (IУ.22I) можно значительно упростить и привести к виду.

$$A = \ln\left(4 \operatorname{sh} \frac{\pi \ell_1}{M^*} \operatorname{sh} \frac{\pi \ell_3}{M^*}\right) - 4 \ln \cos \frac{\pi (M^* - S)}{2M^*} \cdot \qquad (IУ.222)$$

При вычислениях по формуле (IУ.222) необходимо иметь в виду, что для значений $x > 3$

$$\operatorname{sh} x \approx \frac{1}{2} e^x ,$$

поэтому вместо (IУ.222) можно использовать формулу

$$A = \frac{\pi (\ell_1 + \ell_3)}{M^*} - 4 \ln \cos \frac{\pi (M^* - S)}{2M^*} \cdot \qquad (IУ.223)$$

Анализ формулы (IУ.220) показывает, что фильтрационный проскок может достигать довольно значительной величины, при этом в местах неполного примыкания завесы к водоупору происходит увеличение скорости фильтрации, что в свою очередь может привести к механическому разрушению завесы. Поэтому сооружение несовершенных завес нецелесообразно.

Неустановившаяся фильтрация. Обозначим начальную мощность грунтового потока (т.е. мощность естественного потока) через h_e. Тогда единичный расход потока q_1, фильтрующегося в дренаж через завесу, в произвольный момент времени t вычисляется по формуле

$$q_1 = \kappa \frac{h_e^2 - h_o^2}{2(\ell_3 + 6\Delta)} \exp\left[\frac{at}{(\ell_3 + 6\Delta)^2}\right] erfc \frac{\sqrt{at}}{\ell_3 + 6\Delta} \cdot \qquad (IУ.224)$$

Здесь a - коэффициент уровнепроводности,

$$a = \frac{\kappa h_c}{\mu} \quad ;$$

μ - коэффициент водоотдачи;

h_c - средняя мощность водоносного пласта.

Полный приток воды в дренаж на единицу ее длины складывается из притока с внутренней (q_2) и наружной (q_1) областей.

Приток из наружной области определяется по формуле

(IУ.224), неустановившийся приток из внутренней области находится по методике, приведенной ранее (см.§ 16 главы IУ).

Построение депрессионной поверхности грунтовых вод производится по формулам:

при $x \geq \ell_3 + \Delta$

$$h^2 = h_e^2 - (h_e^2 - h_o^2)\left\{erfc\,\frac{x-\ell_3-\Delta}{\sqrt{at}} - exp\left[\frac{\sigma(x-\ell_3-\Delta)}{\ell_3+\sigma\Delta} + \frac{at}{(\ell_3+\sigma\Delta)^2}\right]\cdot erfc\left[\frac{x-\ell_3-\Delta}{2\sqrt{at}} + \frac{\sqrt{at}}{\ell_3+\Delta}\right]\right\}; \qquad (IУ.225)$$

при $x \leq \ell_3$

$$h^2 = h_o^2 + \frac{h^2(t) - h_o^2}{\ell_3 + \sigma\Delta}\,x\,, \qquad (IУ.226)$$

$$h^2(t) = h_e^2 - (h_e^2 - h_o^2)\left\{1 - exp\left[\frac{at}{(\ell_3+\sigma\Delta)^2}\right] erfc\,\frac{\sqrt{at}}{\ell_3+\sigma\Delta}\right\}. \qquad (IУ.227)$$

б) Расчет круглых в плане завес

Гидродинамическая схема круглой в плане завесы приведена на рис.IУ.68. Сохраним принятые ранее обозначения, за исключением плановых размеров. Считаем также, что внутри области, защищаемой завесой, сооружен кольцевой горизонтальный дренаж, в котором поддерживается постоянный уровень воды h_o.

Установившаяся фильтрация. Обозначим через h_e мощность грунтовых вод на контуре питания, т.е. на расстоянии $r = R$ (см. рис.IУ.69). Тогда расход воды, фильтрующейся в дренаж через завесу, вычисляется по формуле

$$Q_1 = \pi\kappa\,\frac{h_e^2 - h_o^2}{\ell n\frac{R}{r_o} + \sigma\frac{\Delta}{r_2}}\,; \qquad \sigma = \frac{\kappa}{\kappa_f}\,. \qquad (IУ.228)$$

Построение депрессионной поверхности производится по уравнениям:

при $r \leq r_2$

$$h^2 = h_o^2 + \frac{h_e^2 - h_o^2}{\ell n\frac{R}{r_o} + \sigma\frac{\Delta}{r_2}}\,\ell n\,\frac{r}{r_o}\,; \qquad (IУ.229)$$

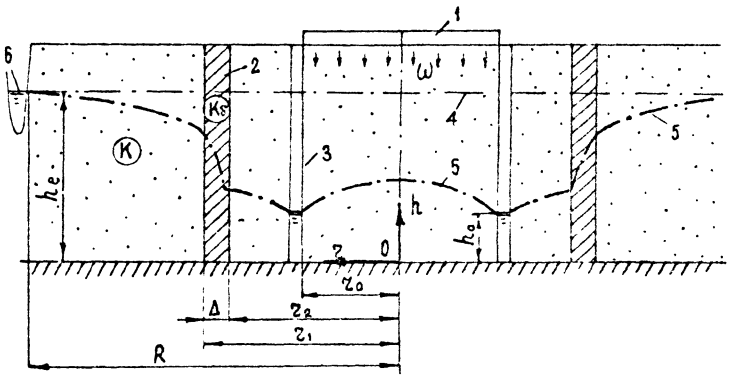


Рис.IУ.68. Схема контурной противофильтрационной завесы.
I - промплощадка; 2 - контурная завеса; 3 - кольцевой дренаж; 4 - естественный уровень грунтовых вод; 5 - сниженный уровень грунтовых вод;
6 - контур питания.

при $r_1 \le r \le R$

$$h^2 = h_e^2 - \frac{h_e^2 - h_o^2}{\ell n \frac{R}{r_o} + \sigma \frac{\Delta}{r_2}} \ell n \frac{R}{r} . \qquad (IУ.230)$$

Полный приток воды, поступающий в дренаж с наружной и внутренней областей, равен:

$$Q = Q_1 + \omega \pi r_o^2 = \pi K \frac{h_e^2 - h_o^2}{\ell n \frac{R}{r_o} + \sigma \frac{\Delta}{r_2}} + \omega \pi r_o^2 . \qquad (IУ.231)$$

Приток воды из наружной области резко возрастает, если завеса неполностью примыкает к водоупору. В этом случае при значениях $R/r_1 > 2$ и $\frac{M^* - S}{M^*} = 0,7 \div 1$, а эти условия практически имеют место всегда, определение фильтрационного расхода Q_1, поступающего из наружной области, производится по формуле

$$Q_1 = \frac{\pi^2 k (h_e^2 - h_o^2)}{\ell n \left[4 sh(\pi \ell n \frac{r_1}{r_o}) sh(\pi \ell n \frac{R}{r_1}) \right] - 4 \ell n \left(\cos \pi \frac{M^* - S}{2M^*} \right)} , \qquad (IУ.232)$$

$$M^* = \frac{h_e + h_o}{2} .$$

При $x > 3$ вместо (IУ.232) получаем более простую зависимость

$$Q_1 = \frac{\pi k (h_e^2 - h_o^2)}{\ell n \frac{R}{r_o} - \frac{4}{\pi} \ell n \left(\cos \pi \frac{M^* - S}{M^*} \right)} . \qquad (IУ.233)$$

Формула (IУ.233) показывает, что неполное примыкание завесы к водоупору практически делает нецелесообразным сооружение завесы.

Неустановившаяся фильтрация. Обозначим начальную (при $t = 0$) мощность грунтовых вод через h_e. Тогда приток воды в дренаж со стороны завесы в произвольный момент времени t находится по формуле

$$Q = \pi k \frac{h^2(t) - h_o^2}{\ell n \frac{r_1}{r_o} + 6 \frac{\Delta}{r_2}} . \qquad (IУ.234)$$

В этой формуле

$$h^2(t) = h_o^2 + (h_e^2 - h_o^2) N_2(r_2, t) . \qquad (IУ.235)$$

Значения функции $N_2(r_2, t)$ в зависимости от аргументов $\frac{a t}{r_2^2}$ и $\beta_o r_o$ приведены на рис.IУ.69. При этом

$$a = \frac{k h_c}{\mu} ; \qquad \beta_o = \frac{1}{r_2 \left(\ell n \frac{r_1}{r_o} + 6 \frac{\Delta}{r_2} \right)} .$$

Полный приток воды в дренаж складывается из притока с внутренней (Q_2) и наружной (Q_1) областей. Приток из на-

ружной области Q_1 определяется по формуле (IУ.234), а расчет переменного во времени притока Q_2 из внутренней области производится по методике, приведенной в § 16 главы IУ.

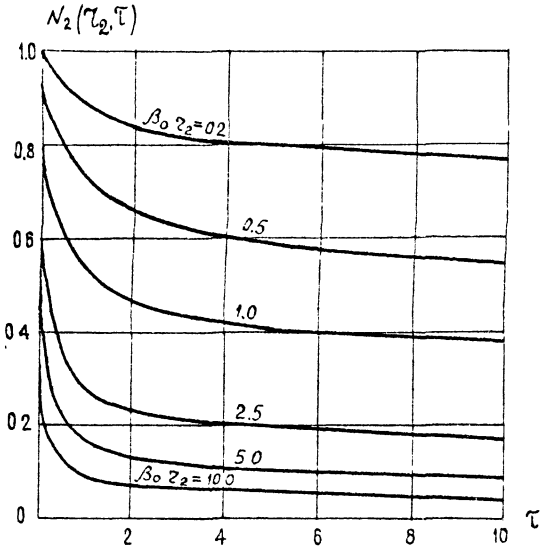


Рис.IУ.69. График функции $N_2(\eta_2,\tau)$.

Построение депрессионной поверхности грунтовых вод производится по уравнениям:

при $\tau \le \tau_2$

$$h^2 = \frac{h^2(t)\ln\frac{\tau}{\tau_0} + h_0^2\ln\frac{\tau_2}{\tau} + \varepsilon h_0^2\ln\frac{\tau_1}{\tau_2}}{\ln\frac{\tau_1}{\tau_0} + \varepsilon\frac{\Delta}{\tau_2}}\ ; \qquad \text{(IУ.236)}$$

при $\tau > \tau_2$

$$h^2 = h_0^2 + (h_e^2 - h_a^2)\,N_2(\beta_0,\tau); \qquad \tau = \frac{at}{r_2^2}\ . \qquad \text{(IУ.237)}$$

В этих формулах $h_2(t)$ определяется по (IУ.235).

$$N_2(\tau,t)=\frac{2\beta_0}{\pi}\int_0^\infty \frac{J_0(u\tau)\left[uY_1(u\tau_2)+\beta_0 Y_0(u\tau_2)\right]-Y_0(u\tau)\left[uJ_1(u\tau_2)+\beta_0 J_0(u\tau_2)\right]}{\left[uJ_1(u\tau_2)+\beta_0 J_0(u\tau_2)\right]^2+\left[uY_1(u\tau_2)+\beta_0 Y_0(u\tau_2)\right]^2}\,e^{-au^2t}\,\frac{du}{u}. \quad (IУ.238)$$

Вычисление $N_2(\tau,t)$ по формуле (IУ.238) чрезвычайно сложно. При больших значениях времени для определения положения уровня грунтовых вод при $\tau \geq \tau_2$ может быть использована формула

$$h^2=h_e^2-(h_e^2-h_o^2)\cdot R_n(\bar{\tau},\tau); \quad (IУ.239)$$

$$\bar{\tau}=\frac{\tau}{\tau_2^*}\ ; \qquad \tau=\frac{at}{(\tau_2^*)^2}\ ; \qquad \tau_2^*=\tau_2\,exp\left(0{,}577-\frac{1}{\beta_0\tau_2}\right).$$

Значения функции $R_n(\bar{\tau},\tau)$ приведены на рис.IУ.70.

§ 8. Примеры расчета дренажей и завес

Пример IУ.I. Осушение площадки, в пределах которой поступает дополнительная инфильтрация интенсивностью $\omega = 10^{-3}$ м/сут, предусматривается осуществить при помощи систематического горизонтального дренажа с глубиной заложения дрен ниже естественного уровня грунтовых вод на 3 метра. Необходимо найти междренное расстояние $2L$, если требуемое наименьшее снижение уровней равно 2 м (т.е. $S_ч = 2$ м), водоносный горизонт однослойный, начальная мощность его $h_e = 10$ м, коэффициент фильтрации пород К = I м/сут, коэффициент водоотдачи $\mu = 0{,}05$. Определить время, в течение которого будет достигнуто требуемое понижение. Схема дренажа представлена на рис.IУ.9,б.

Решение. В данном случае $h_e = 10$ м; $h_o = m = 7$ м, дренаж гидродинамически несовершенный.

В первую очередь по формуле (IУ.23) находим среднюю мощность пласта на период установившейся фильтрации, для чего в формуле (IУ.23) примем $\alpha = 0{,}2$, тогда

$$h_c = 7 + (10-7)\cdot 0{,}2 = 7{,}6 \text{ м}$$

Так как дренаж несовершенный, то воспользуемся методом приведения его к совершенному путем исправления междренного расстояния. Вычисление коэффициента несовершенства ζ_4 производим по

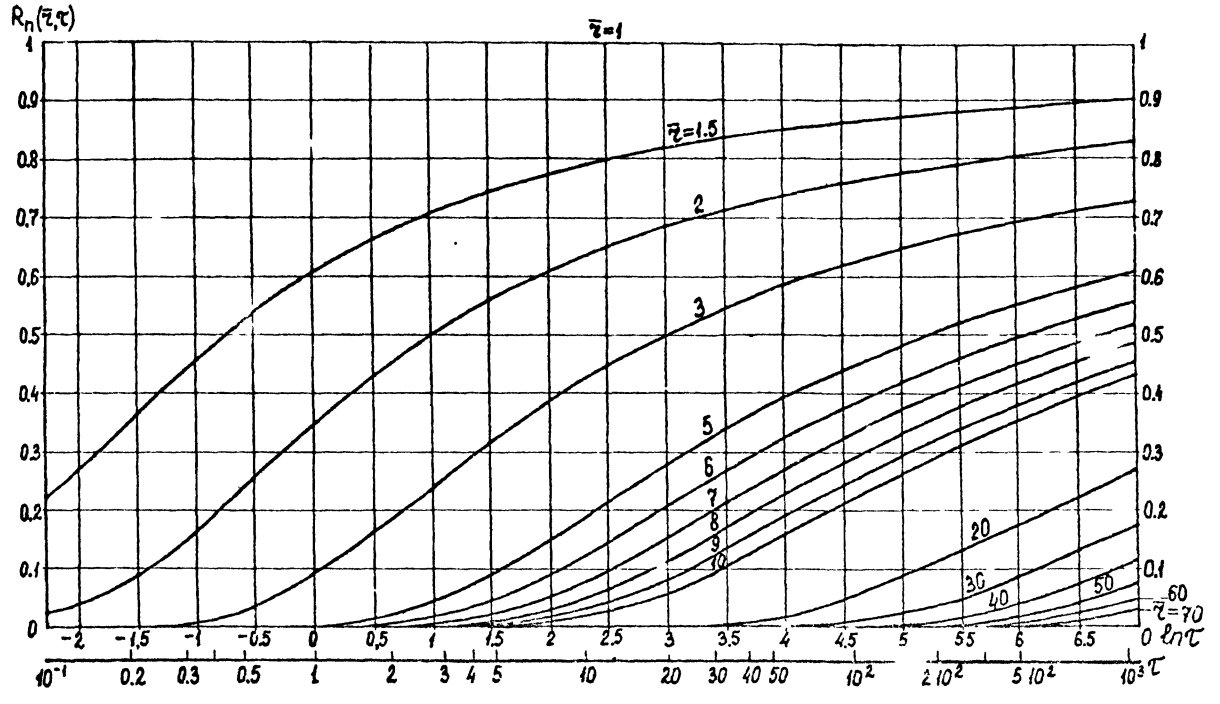


Рис.IУ.70. График функции $R_n(\bar{\tau},\tau)$

формуле (IУ.27). Однако, для вычисления ζ_L и последующего расчета L^* по формуле (IУ.25) необходимо знать величину L, которая, в свою очередь, является искомой. Поэтому решение задачи будем осуществлять методом последовательных приближений, для чего задаемся различными значениями L и оцениваем получаемый при этом эффект.

Примем L = I00 м. Воспользовавшись формулой (IУ.27), вычисляем соответствующий ему коэффициент несовершенства ζ_L:

$$\zeta_L = \frac{7,6}{7,6-7,0}\left[1 - \frac{8}{\pi^2}\sum_{i=1,3,5}^{\infty}\frac{sh\frac{3,14\cdot i\,7}{100}}{i^2\,sh\frac{3,14\,i\,7,6}{100}}\right] - 1 = 0,33.$$

(Для большей точности при вычислении ряда принималось 9 членов).

В соответствии с (IУ.25) находим, что половина исправленного междренного расстояния L^* равна

$$L^* = I00 \cdot (I + 0,33) = I33 \text{ м}$$

Остаточный (несниженный) уровень грунтовых вод на междренье находим по формуле (IУ.8):

$$h_ч = 7 + \frac{I0^{-3} \cdot I33^2}{2 \cdot I \cdot 7,6} = 8,I6 \text{ м}$$

Следовательно, при L = I00 м понижение уровня на междренье составит

$$S_ч = I0 - 8,I6 = I,84 \text{ м}$$

т.е. оно оказалось меньше потребного (2 м).

Во втором приближении уменьшим междренное расстояние и примем L = 50 м. Тогда по (IУ.27) ζ_L = 0,58; L^* = 79 м и

$$S_ч = I0 - \frac{I0^{-3} \cdot 79^2}{2,7,6^2} - 7 = 2,59 \text{ м}$$

т.е. снижение оказалось больше потребного.
Уточняя расчет получаем, что при L = 90 м, ζ_L = 0,35 м и

$$S_ч = I0 - 7 - \frac{I0^{-3} \cdot 90^2\,(I + 0,35)^2}{2 \cdot I,0 \cdot 7,6^2} = 2 \text{ м}$$

Таким образом, для обеспечения требуемого понижения междренное расстояние $2L$ должно быть равно I80 м.

Для определения времени достижения требуемого понижения

воспользуемся формулой (IУ.I8):

$$\Delta h_{ц}=(h_{e}-h_{o})\theta(\tau)+\frac{\omega L^{*2}}{2\kappa h_{c}}\left[1-\theta_{1}(\tau)\right]; \qquad \tau=\frac{\kappa h_{c} t}{\mu L^{*2}}.$$

Задаваясь различными значениями t, находим соответствующее значение τ, по графикам на рис.IУ.5 и IУ.6 определяем функции $\theta(\tau)$, $\theta_{1}(\tau)$ и производим расчет $\Delta h_{ц}$. Динамика снижения уровней на междуречье приведена на рис.IУ.7I.

Из этого рисунка видно, что при L = 90 м требуемое снижение на междуречье (наиболее удаленной от дрен точке) достигается при t = 200 суток.

Пример IУ.2. Для защиты от подтопления подвала промышленного сооружения намечено построить вокруг него горизонтальный совершенный дренаж прямоугольной в плане формы. Водоносный горизонт однослойный, со свободной поверхностью и имеет начальную мощность h_{e} = 6 м, коэффициент фильтрации пород К = 2,5м/сут, коэффициент водоотдачи μ = 0,07.

Размеры дренажа в плане I50 х 80 м, наиболее низкая точка подвала заглубляется на 5 м ниже естественного уровня грунтовых вод, $\omega = 5\cdot10^{-3}$ м/сут. Необходимо оценить эффективность дренажа и произвести его расчет. Питание водоносного горизонта происходит за счет равномерной инфильтрации атмосферных осадков $\omega^{*}= 10^{-3}$ м/сут.

Решение. Для решения задачи приведем прямоугольный в плане дренаж к эквивалентному круглому с приведенным радиусом r_{o}, который вычислим по формуле:

$$r_{o} = 1{,}17\,\frac{150+80}{4} = 67{,}5\ \text{м}.$$

Определим среднюю мощность пласта для внутренней зоны по формуле (IУ.23), а для внешней - по (IУ.23) с учетом (IУ.63). Тогда для внутренней и внешней зон они оказываются равными

$$h_{c}=h_{c_{0}}+\alpha\left(h_{e}-h_{o}\right)=0{,}2\cdot6=1{,}2\ \text{м}$$

(считаем, что в дренах уровень воды h_{o} = 0).

Предельное положение уровня грунтовых вод в центре дренажа вычислим по формуле (IУ.38)

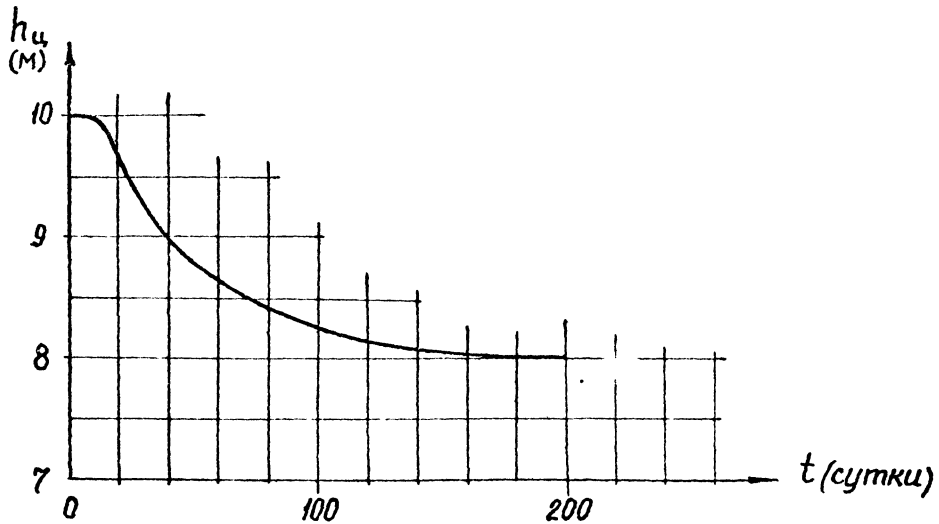


Рис.IУ.7I. Кривая снижения уровней в междренье.

$$h_ч = \frac{\omega r_o^2}{4\kappa h_c} = \frac{5\cdot10^{-3}\cdot67{,}5^2}{4\cdot2{,}5\cdot1{,}2} = 1{,}9 \text{ м},$$

т.е. запроектированный дренаж обеспечивает требуемое понижение в центре дренажа.

Установившийся приток воды из внутренней зоны производится по формуле (IУ.53) при $\lambda = 0$, $\tau \to \infty$ и $\sigma = 1$:

$$Q_{вн} = \omega\pi r_o^2 = 5.10^{-3}.3{,}14.67{,}5^2 = 72 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Установившийся внешний приток вычислим по (IУ.58), причем радиус контура питания R определим по формуле:

$$R\sqrt{\lg R - \lg 67{,}5 - 0{,}217} = 0{,}66\sqrt{\frac{2{,}5}{0{,}001}\cdot 6^2 - 0{,}5\cdot67{,}5^2} = 195{,}5$$

Подбором находим, что R = 375 м. С учетом размера кольцевого дренажа расчетное значение радиуса питания

$$R = 375 + 67{,}5 = 443 \text{ м}$$

Тогда установившийся внешний приток

$$Q_{внеш.} = 3{,}14\cdot2{,}5\,\frac{6^2}{\ln\frac{443}{67{,}5}} = 150 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Суммарный установившийся приток

$$Q_{сум} = 150 + 72 = 222 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расчитаем динамику снижения уровня грунтовых вод в центре дренируемого контура, для чего воспользуемся формулой (IУ.52)

$$h_ч = h_o + (h_c + h_o)L_1(\tau) + \frac{2\omega r_o^2}{\kappa h_c}\left[\frac{1}{8} - \frac{1}{2}L_2(\tau)\right]; \qquad \tau = \frac{\kappa h_c t}{\mu r_o^2}.$$

Задаемся различными моментами времени t, причем при $t <$ 20 сут. в соответствии с (IУ.23) h_c = 4,2 м, а при $t >$ 20 сут. h_c = 1,2 м. Расчет сведем в таблицу IУ.17.

Таблица IУ.17

t сут.	τ	$L_1(\tau)$	$L_2(\tau)$	$h_ч$, м
20	0,187	0,525	0,115	4,18
40	0,374	0,178	0,029	2,75
80	0,748	0,015	0	2,0
100	1,122	0	0	1,9

Из этой таблицы видно, что по истечении времени t = 100сут понижение уровня в центре дренажа достигает установившегося значения.

Пример IУ.3. Кольцевой несовершенный горизонтальный дренаж глубиной 3 м (ниже уровня грунтовых вод) заложен в верхнем слое двухслойного пласта со свободной поверхностью и суммарной мощностью 10 м. Мощность нижнего слоя и его коэффициент фильтрации равны 3 м и 20 м/сут., коэффициент фильтрации верхнего слоя 2 м/сут. Радиус кольцевого дренажа r_0 = 25 м, r_c = 0,5 м, радиус действия R = 300 м. Требуется оценить эффективность дренажа, если в пределах кольцевого контура поступает дополнительная инфильтрация интенсивностью $\omega = 10^{-3}$ м/сут.

Решение. Определение притока воды в дренаж и положение уровня грунтовых вод в центре дренажа оцениваются по формулам (IУ.73)-(IУ.75). В данном случае исходные параметры таковы:

h_c = 10 м; $M_н$ = 6 м; $M_в$ = 1 м; S_0 = 3 м; K_2 = 20 м/сут.;

K_1 = 2 м/сут.; $\sigma_0 = \frac{K_2}{K_1} = 10$; $\delta = \frac{K_1 - K_2}{K_1 + K_2} = \frac{2-20}{2+20} = -0{,}82$;

M = 7 м; $M^* = 7 + 0{,}5 \cdot 3{,}0 = 8{,}5$ м; $\beta = \frac{1}{7} = 0{,}143$;

$h_c^* = 10 - 6 + 10 \cdot 6 = 64$ м; $\tau_1^* = 25 + 64 = 89$ м; $\bar{\tau}_0 = \frac{85}{8{,}5} = 2{,}94$;

$\bar{\tau}_1^* = \frac{89}{8{,}5} = 10{,}5$ м; $\frac{\bar{\tau}_0}{\beta} = \frac{2{,}94}{0{,}143} = 20{,}5$;

$\frac{\bar{\tau}_1^*}{\beta} = \frac{10{,}5}{0{,}143} = 73$; $\bar{R} = \frac{300}{8{,}5} = 35{,}3$; $\frac{\bar{R}}{\beta} = \frac{35{,}3}{0{,}143} = 247$.

По графикам на рис.IУ.25 и IУ.29 определяем специальные функции, входящие в решения.

$\varphi(\bar{\tau}_0, \bar{\tau}_1^*) = \varphi(2{,}94; 10{,}5) = \varphi_1(2{,}94) - \varphi_2(10{,}5) =$
$4{,}45 - 3{,}15 = 1{,}3$,

$\varphi_\delta\left(\frac{\bar{\tau}_0}{\beta}, \frac{\bar{\tau}_1^*}{\beta}\right) = \varphi_\delta(20{,}5; 73) = \varphi_{1\delta}(20{,}5) - \varphi_{2\delta}(73) =$
$= -0{,}095 - (-0{,}02) = -0{,}075$;

$\varphi(\bar{\tau}_0, \bar{R}) = \varphi(2{,}94; 35{,}3) = \varphi_1(2{,}94) - \varphi_2(35{,}3) =$
$= 4{,}45 - 1{,}93 = 2{,}52$;

$\mathcal{F}(\bar{\tau}_0) = \mathcal{F}(2{,}94) = -0{,}25$; $\mathcal{F}_\delta\left(\frac{\bar{\tau}_0}{\beta}\right) = \mathcal{F}_\delta(20{,}5) = 0$.

Вычисляем ζ_2 по формуле (IУ.74)

$$\zeta_2 = \frac{0,143+10\cdot(1-0,143)}{3,14\cdot 2,94}\cdot\left[\ln\frac{3\cdot 25}{0,5}+\frac{4\cdot 2,94}{1+10}\cdot 1,3-2\cdot 20,5\cdot 0,075\right]-$$

$$-\ln\frac{89}{25}=2,52.$$

Тогда полный приток воды в кольцевой дренаж составит

$$Q=\frac{3,14\cdot 2\cdot(2\cdot 10-3)\cdot 3}{\ln\frac{300}{25}+2,52}+3,14\cdot 25^2\cdot 10^{-3}=66\ \text{м}^3/\text{сут}.$$

По формуле (IУ.75) вычисляем $\Delta h_ц$:

$$\Delta h_ц=3\cdot\frac{6-2\cdot 2,94\cdot(1-0,82)\cdot 0,25-3,14}{6+2\cdot 2,94\cdot(1-0,82)\cdot 2,52}+\frac{10^{-3}\cdot 25}{2\cdot 3,14\cdot 2}\left[6-3,14-\right.$$

$$\left.-2\cdot 9,94\cdot(1-0,82)\cdot 0,25\right]=0,92\ \text{м}$$

Таким образом, понижение в центре дренажа равно

$$S_ц=3,0-0,92=2,08\ \text{м}$$

Пример IУ.4. Рассчитать приток воды в пластовый дренаж прямоугольной в плане формы.

Заданы: мощность водоносного (однослоиного) пласта h_e=10 м, заглубление дренажа ниже уровня грунтовых вод S_o = 3 м, коэффициент фильтрации К = 3 м/сут., радиус влияния R = 150 м, размеры дренажа в плане 15 х 25 м.

Решение. Определим приведенный радиус дренажа r_o .

$$r_o=1,18\ \frac{15+25}{4}=11,8\ \text{м}$$

Приток воды в дренаж вычисляем по формуле (IУ.115), для чего находим функцию $\mathcal{F}_{пл\,др}$ (по графику на рис.IУ.45):

$$\mathcal{F}_{пл\,др}\left(\frac{R}{m},\frac{r_o}{m}\right)=\mathcal{F}_{пл\,др}\left(\frac{150}{7};\frac{11,8}{7}\right)=\mathcal{F}_{пл\,др}(21,4;\ 1,68)=4,7.$$

Тогда по (IУ.115)

$$Q=3,14\cdot 3\cdot 3\left[\frac{3}{\ln\frac{150}{11,8}}+\frac{2\cdot 11,8}{4,7}\right]=175,2\ \text{м}^3/\text{сут}.$$

Решим ту же задачу в предложении, что рассматриваемый пласт подстилается другим пластом с коэффициентом фильтрации $К_2$=10м/сут и большой мощности. В этом случае для расчета притока в первую очередь найдем δ :

$$\delta=\frac{K_1-K_2}{K_1+K_2}=\frac{3-10}{3+10}=-0,54.$$

Так как $\delta < 0,6$, то для расчета притока воспользуемся формулой (IУ.II7), причем в первую очередь вычислим функцию θ :

$$\theta = 1,57 - arc\sin\frac{11,8}{150} - 2\cdot0,54\ arc\sin\frac{11,8}{7+\sqrt{49+139}} + 2\cdot0,54\cdot$$

$$\cdot\frac{11,8}{\sqrt{22500+139+4\cdot49}} + 2\cdot0,54^2\ arc\sin\frac{11,8}{14+\sqrt{4\cdot49+139}} - 2\cdot0,54^2\cdot$$

$$\cdot\frac{11,8}{\sqrt{22500+139+16\cdot49}} = 1,092.$$

Следовательно, в соответствии с (IУ.II7)

$$Q = 3,14\cdot3\cdot\left[\frac{3}{\ell n\frac{150}{11,8}} + \frac{2\cdot11,8}{1,092}\right] = 641\ м^3/сут,$$

т.е. приток воды в дренаж резко возрастает.

Допустим теперь, что подстилающий пласт большой мощности имеет коэффициент фильтрации $K_2 = 0,3$ м/сут. В этом случае

$$\delta = \frac{3-0,3}{3+0,3} = 0,82$$

и для расчета необходимо использовать формулу (IУ.II8), воспользовавшись которой находим, что

$$Q = 192\ м^3/сут,$$

т.е. в этом случае приток в дренаж возрастает всего лишь на 11,4%.

Пример IУ.5. Рассчитать береговой вертикальный дренаж, состоящий из линейного ряда взаимодействующих совершенных скважин, при работе их в однослойном пласте со свободной поверхностью (см.рис.IУ.53).

Заданы: $h_1 = 30$ м; $h_c = 25$ м; $h_c = \sqrt{\frac{1850}{200}(30^2-25^2)+25^2} =$ $= 29,6$ м; $h_0 = 22,5$; $L_1 = 150$ м; $L_2 = 1850$ м; $S_0 = 29,6-22,5 =$ $= 7,1$ м; $L = 2000$ м; К = 10 м/сут.; $\sigma = 25$ м; колодцы оборудованы фильтрами диаметром $d_c = 0,3$ м.

Решение. Дебит каждого колодца ряда определим по формуле (IУ.139).

$$Q = \frac{3,14\cdot10\cdot(2\cdot29,6-7,1)\cdot7,1}{\frac{2\cdot3,14\cdot150\cdot1850}{25\cdot2000}+\ell n\frac{25}{3,14\cdot0,3}} = 306\ м^3/сут.$$

Депрессионную поверхность по линии, проходящей через скважины нормально к линейному ряду, рассчитаем по формуле (IУ.140), причем результаты расчета сведем в таблицу IУ.18.

Пример IУ.6. Требуется защитить подвальную часть здания, расположенную на 5 метров ни их уровня от подтопления грунтовыми водами. Неограниченный в план водоносный горизонт со свободной поверхностью и начальной мощностью h_e = 15 м имеет коэффициент фильтрации K = 3 м/сут и коэффициент водоотдачи μ = 0,15. Размеры защищаемого контура (здания) 20 х 30 м. Необходимо рассчитать потребное количество скважин радиусом r_c = 200 мм, обеспечивающих в центре дренируемого контура необходимое понижение. Скважины несовершенные. Высота капиллярного поднятия воды в осушаемых грунтах 30 см.

Решение. Расчетное понижение в центре дренируемого контура должно быть не менее (с учетом капиллярной каймы)

$$S_ц \geqslant 5 + 0{,}3 = 5{,}3 \text{ м}.$$

Принимаем, что кольцевая система скважин располагается по контуру защищаемого здания на расстоянии 5 м от стен, тогда приведенный радиус дренажного контура, приведенного к круглому, равен

$$r_o = 1{,}18\,\frac{30+40}{4} = 20{,}6 \text{ м}.$$

По формуле (IУ.68) при $\omega = 0$ и $R \to \infty$ определяем среднюю величину понижения S_o^*, которую необходимо поддерживать на контуре дренажа для обеспечения понижения в центре. Относительно S_o^* и неизвестной величины $M = h_e - S_o$ эта формула примет вид

$$S_o^* = S_ц\,\frac{\ln\frac{8r_e}{r_c} + 2\frac{r_o}{h_e - S_o^*}\,\varphi_1\left(\frac{r_o}{h_e - S_o^*}\right)}{K + 2\frac{r_o}{h_e - S_o^*}\left[\varphi_1\left(\frac{r_o}{h_e - S_o^*}\right) - F\left(\frac{r_o}{h_e - S_o^*}\right)\right]}.$$

Методом подбора находим, что $S_o^* = 5{,}9$ м.

При таком среднем понижении на линии дренажа суммарный приток воды в дренажную систему вычисляем по формуле (IУ.76), причем

$$a = \frac{K h_c}{\mu} = \frac{3\cdot(9{,}1 + 0{,}2\cdot 5{,}9)}{0{,}15} = 200 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Таблица IУ.I8

Расчет эффективности дренажа (к примеру IУ.С)

x	$\frac{Q}{\pi K}$	$-\frac{2\pi(x-x_0)}{\sigma}$	$\exp\left[-\frac{2\pi(x-x_0)}{\sigma}\right]$	$\ln\left\|1-\exp\left[-\frac{2\pi(x-x_0)}{\sigma}\right]\right\|=A$	$\frac{Q\cdot A}{\pi K}$	$\frac{1}{2}-\frac{x}{L}$	$h_1^2-h_2^2$	$\left(\frac{1}{2}-\frac{x}{L}\right)(h_1^2-h_2^2)=B$	h_2^2	$\frac{QL_1}{K\sigma}$	$\frac{QL_1}{K\sigma}\left(\frac{1}{2}-\frac{x}{L}\right)=C$	$h_2^2+\frac{Q\cdot A}{\pi K}+B+C$	$h(x)$
-I000	9,75	-	-	-	-	-	-	-	-				30,0
-950	"	+25,I	7,95.I0^{I0}	25,I	244	0,975	275	268	625	+368	-358	779	27,9
-900	"	+I2,6	2,96.I0^{5}	I2,6	I23	0,950	"	262	"	"	-349	66I	25,8
-875	"	+6,26	52,5	6,26	6I,5	0,938	"	258	"	"	-345	559,5	24,5
-850	"	Уровень воды в скважинах											
-750	"	-25,I	0	0	0	0,875	"	240	"	"	-322	543	23,38
-350	"	-I25	0	0	0	0,675	"	I85,5	"	"	-248	262,3	23,75
+I50	"	-248	0	0	0	0,425	"	II7	"	"	-I56	586,0	24,2
+650	"	-376	0	0	0	0,I75	"	48	"	"	-64,5	608,5	24,62
+I000	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0

Расчет суммарного дебита дренажной системы сведем в табл. IУ.I9.

Таблица IУ.19

t, сут	r_o, м	$\frac{at}{r_o^2}$	m^*, м	$\frac{r_o}{m^*}$	$F_{cов}(\tau)$	ς,	Q, м³/сут
0,I	20,6	0,0472	I3,2	I,56	0,64	0,2I	3I30
I	"	0,472	"	"	I,54	"	I535
5	"	2,36	"	"	2,5	"	990
I0	"	4,72	"	"	3,33	"	830
25	"	II,8	"	"	4,I7	"	6I0
50	"	23,6	"	"	4,54	"	565
I00	"	47,2	"	"	5,0	"	5I5
I000	"	472,0	"	"	7,I4	"	365

Имея суммарный дебит системы на разные моменты времени, по формуле (IУ.I6I) с учетом (IУ.I52) подбором находим необходимое число скважин n и понижение в них. Расчеты сводим в таблицу IУ.20.

Таблица IУ.20

Кол-во скважин	δ, м	t, сут	$\tau = \frac{at}{r_o^2}$	S_o, м	$Q_{сум}$ по (IУ.I5I) с учетом (IУ.I72)	$Q_{сум}$ по таблице IУ.I9
I0	I3	0,I	0,0472	7	I965	3I30
		I	0,472	"	I247	I535
		I0	4,72	"	760	830
		I00	47,2	"	5I5	5I5
		I000	472	"	377	365
20	6,5	0,I	0,0472	7	2940	3I30
		I	0,472	"	I575	I535
		I0	4,72	"	890	830
		I00	47,2	"	560	5I5
		I000	472	"	400	365

Продолжение таблицы IУ.20

I	2	3	4	5	6	7
8	I6,2	0,I	0,0472	7	I670	3I30
		I	0,472	"	III0	I535
		I0	4,72	"	705	830
		I00	47,2	"	490	5I5
		I000	472	"	365	365
6	2I,6	0,I	0,0472	7	I320	3I30
		I	0,472	"	945	I535
		I0	4,72	"	640	830
		I00	47,2	"	455	5I5
		I000	472	"	345	365

При заданном количестве скважин n по формуле (IУ.I53) с учетом соотношения (IУ.I63) определяем понижения в центре дренируемого контура, для этого переменный во времени суммарный приток воды в систему разобьем на ряд разнодебитных интервалов. Опуская подробности этих расчетов, получаем, что требуемое в центре дренажа понижение 5,3 м может быть достигнуто различным количеством скважин за различное время:

при $n = 6$ – за 75 суток,
$n = 8$ – за 50 суток,
$n = I0$ – за I0 суток,
$n = 20$ – за I0 суток.

Поэтому последующий выбор количества скважин должен быть основан на календарном графике строительства объекта.

Пример IУ.7.[x] Определить водопонизительный эффект от действия ветвистого лучевого дренажа (рис.IУ.6), расположенного в полосообразном пласте шириной $L = I00$ м и представляющего собой горизонтальную водосборную дрену длиной I52,5 м с ответвлениями длиной $\ell = 12,5$ м, расположенными под прямым углом к оси водосборной дрены с шагом $\delta = 30$ м.

Задано: $K = 0,2$ м/сут.; $\mu = 0,08$; $h_e = 6$ м; $h_o = 0,I$ м; $\omega = 2 \cdot I0^{-4}$ м/сут.; $L = I00$ м; $t = 30$ сут., $\ell = I2,5$ м; $\delta = 30$ м.

---

x) Примеры IУ.7 и IУ.8 составлены Г.А.Разумовым.

Решение: выполняем приведение ветвистого дренажа к горизонтальному однолинейному. Подставляя в формулы (IУ.I57) значения координат поочередно каждого из боковых ответвлений (0÷У), получим значения новых координат точек, которые сведены в таблицу IУ.2I. В результате выполненных расчетов определено, что "вытягивание" дренажа в одну линию дает приращение ее длины на 34,5 м. Длина расчетной горизонтальной дрены равна:

$$\ell_p = 152{,}5 + 2 \times 34{,}5 = 221{,}5 \text{ м} .$$

Удельный расход дренажных вод, поступающих на I пог.м линейного дренажа, определяется при неустановившемся режиме фильтрации по формуле (IУ.2I):

$$q = 2x0{,}2x6\,\frac{6-0{,}1}{100}\;1{,}33+2x100x0{,}0002/0{,}5-0{,}38/ = 0{,}19 \text{ м}^3/(\text{сут.м})$$

Здесь специальные функции $\Pi(\tau)$ и $\Pi_I(\tau)$ определяются по рис. IУ.8 и таблице IУ.4: $\Pi(\tau) = 1{,}33$; $\Pi_I(\tau) = 0{,}38$;

$$\tau = \frac{0{,}2.6.30}{0{,}08.100^2} = 0{,}045 .$$

Общий расход дренажа

$$Q = 2\ell_p q = 2.221{,}5.0{,}19 = 84{,}1 \text{ м}^3/\text{сут} = 3{,}5 \text{ м}^3/\text{ч} .$$

При установившемся режиме фильтрации

$$Q = 2\omega\ell L .$$

Для тех же значений общий дренажный расход составляет

$$Q = 2.0{,}0002.221{,}5.100 = 8{,}86 \text{ м}^3/\text{сут} = 0{,}37 \text{ м}^3/\text{ч} .$$

Понижение уровня грунтовых вод при неустановившемся режиме фильтрации определяется по формуле (IУ.I0I), расчеты по которой для разных расстояний от оси дренажа "x" и значений времени t приведены в таблице IУ.22.

При установившемся режиме фильтрации понижение грунтовых вод определяется по формуле (IУ.95) при $t \to \infty$, расчеты по которой для различных значений "x" приведены в таблице IУ.23.

Как видим, водопонизительный эффект от действия дренажа достигает границы водоносного пласта.

Таблица IУ.21

Расчетные величины длины участков дренажа, полученных путем "вытягивания" ответвлений в линейную дрену

Длина ответвлений, м	ℓ = I2,5		ℓ^{I} = II,7		ℓ^{II} = II,3		ℓ^{III} = II,I		$\ell^{IУ}$ = I0,9		$\ell^{У}$ = 0	
новые координаты / №№ точек	ξ	η	ξ^{I}	η^{I}	ξ^{II}	η^{II}	ξ^{III}	η^{III}	$\xi^{IУ}$	$\eta^{IУ}$	$\xi^{У}$	$\eta^{У}$
I	0	I2,5	0	0	-34,4	0	-66,I	0	-97,7	0	-I28,5	0
2	0	0	-I2,5	0	-23,5	0	-55,0	0	-86,7	0	-II7,5	0
3	30	I2,5	32,2	II,7	0	0	-33,3	0	-67,2	0	-98,I	0
4	30	0	32,5	0	II,7	0	-22,4	0	-54,5	0	-85,5	0
5	60	I2,5	6I,2	I2,2	30,6	II,3	0	0	-32,8	0	-64,0	0
6	60	0	6I,3	0	3I,0	0	+II,3	0	-22,6	0	-53,9	0
7	90	I2,5	90,9	I2,3	59,6	II,9	30,5	II,I	0	0	-32,I	0
8	90	0	9I,3	0	60,0	0	3I,0	0	II,I	0	-22,I	0
9	I20	I2,5	I20,6	I2,4	89,I	I2,3	59,08	I2,0	29,8	I0,9	0	0
I0	I20	0	I20,7	0	89,2	0	59,20	0	30,30	0	I0,9	0
II	I52,5	0	I55	0	I23,5	0	93,I8	0	63,I	0	34,5	0

Схема дренажа

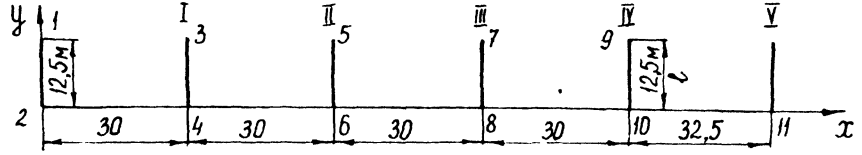


Таблица IУ.22

x \ t	I0	30	60	I00	200	500
5	0,0I7	0,065	0,I28	0,238	0,472	I,2I3
I0	0,0I2	0,047	0,I06	0,I99	0,422	I,II2
25	0,006	0,0I8	0,059	0,I23	0,286	0,83
50	0,000	0,000	0,0I8	0,046	0,I52	0,509
I00	0,000	0,000	0,000	0,006	0,006	0,I53

Таблица IУ.23

x	5	I0	25	50	I00
S_x	5,75	5,I3	4,I9	3,0I	2,06

Пример IУ.8. Определить водопонизительный эффект от действия четырех лучевых водозаборов, установленных по углам промплощадки размерами I50 х I50 м(рис. Ш.23,е).

Задано: h_e = 5,5 м; К = 0,5 м/сут.; μ = 0,075; ℓ = 50 м; D = 4 м; r_c = 0,I5 м; n = 4; $б$ = I50 м; S_0 = 5 м; N = 4 ; t = 300 сут.

Решение. Радиус эквивалентного по дебиту и понижению "большого колодца" определяется по формуле (IУ.I9I):

$$r_э = 0,4(50+4)+0,I.I5,5 \lg \frac{4.0,I5}{5,5} = 2I,5 \text{ м}.$$

Приток к лучевому дренажу, взаимодействующему с тремя другими, определяется по формуле (IУ.20I)

$$Q_л = \frac{2\pi .0,5.5,5.5,5}{\ln \frac{388,5^4}{II,3.I50^3.2I,5}} = I8,9 \text{ м}^3/\text{сут},$$

где: $R_л = 2I,5 + I,5 \cdot \sqrt{36,7.300} = I78,5$ м ;

$R_г = I78,5 + I,4.I50 = 388,5$ м .

Здесь коэффициент уровнепроводности: $a = \frac{0,5.5,5}{0,075} = 36,7 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Приведенный радиус всей дренажной системы

$$r_0 = I,I8 \frac{I50}{2} = 88,5 \text{ м}$$

Сниженный в центре дренируемой площади уровень грунтовых вод определяется по формуле:

$$h_ц = \sqrt{H^2 - \frac{Q_л}{\pi K} \ln \frac{R_л}{r_0}} = \sqrt{5{,}5^2 - \frac{18{,}9}{\pi 0{,}5} \ln \frac{388{,}5}{88{,}5}} = 3{,}54 \text{ м} .$$

Как видим, система четырех лучевых водозаборов обеспечивает понижение уровня грунтовых вод в центре площадки на величину 1,96 м.

Пример IУ.9. Для ограждения удлиненной промплощадки, расположенной параллельно реке на расстоянии L = 500 м, устроена противофильтрационная завеса (см.рис.IУ.66). С целью отвода воды, фильтрующейся через завесу, построен линейный горизонтальный дренаж. Заданы следующие исходные данные: ℓ_1 = 450 м; ℓ_3 = 49 м, Δ = 1 м, K = 10 м/сут., $K_л$ = 0,001 м/сут., h_e = 10 м; h_0 = 2 м. Определить приток воды в дренаж на единицу его длины со стороны реки и оценить, как он изменится, если завеса не будет доведена до водоупора до S = 0,5 м (см.рис.IУ.67).

Решение. Определение притока воды в дренаж производим по формуле (IУ.216):

$$q_1 = \frac{10\,(100-4)}{2\left[500 + \left(\frac{10}{0{,}001} - 1\right).1\right]} = 0{,}046 \text{ м}^3/(\text{сут.м}) .$$

Приток в дренаж со стороны реки в случае несовершенной завесы определяем по формуле (IУ.220) с учетом соотношения (IУ.223) т.е. по формуле

$$q_1 = \frac{K(h_e - h_0)M^*}{\ell_1 + \ell_3 - \frac{4M^*}{\pi} \ln\left(\cos\pi \frac{M^* - S}{2M^*}\right)} .$$

В рассматриваемом случае

$$M^* = \frac{10 + 2}{2} = 6 \text{ м}$$

Зададим несовершенству завесы S значения, равные 0,1 м, 0,25 м и 0,5 м. Тогда соответственно получаем следующие значения расходов:

При S = 0,1 м

$$q_1 = \frac{10(10-2).6}{49+450 - \frac{4.6}{3{,}14} \ln\left(\cos\frac{5{,}9\pi}{2.6}\right)} = \frac{480}{495+2^{\circ},4} = 0{,}92 \text{ м}^3/(\text{сут}\cdot\text{м});$$

при $S = 0{,}25$ м

$$q_1 = \frac{10.(10-2).6}{49+450 - \frac{4.6}{3{,}14} \ln\left(\cos\frac{5.75\pi}{2.6}\right)} = \frac{480}{495+19{,}6} = 0{,}93 \text{ м}^3/(\text{сут}\cdot\text{м});$$

при $S = 0{,}5$ м

$$q_1 = \frac{10.(10-2)}{49+450 - \frac{4.6}{3{,}14} \ln\left(\cos\frac{5.5\pi}{2.6}\right)} = \frac{480}{495+14{,}2} = 0{,}94 \text{ м}^3/(\text{сут}\cdot\text{м}).$$

При отсутствии завесы расход был бы равен

$$q = \frac{\kappa(h_e^2 - h_o^2)}{2L} = \frac{10.(100-4)}{2.500} = 0{,}96 \text{ м}^3/(\text{сут}\cdot\text{м}).$$

Таким образом, совершенная завеса, проницаемость которой в 10^4 раз меньше проницаемости пласта, позволяет уменьшить приток в дренаж в 21 раз, в то время как даже незначительное окно в подошве завесы ($S = 0{,}1$ м) практически сводит к нулю этот эффект.

ГЛАВА У. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СЛОЖНЫХ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

§ 1. Предпосылки, средства и общие положения фильтрационных расчетов дренажных систем методом моделирования.

а) Предпосылки моделирования и моделирующие устройства.

У.1. Различают физическое и математическое моделирование. Физическое моделирование, т.е. воспроизведение фильтрационного потока в уменьшенном масштабе, имеет весьма ограниченное применение из-за технической сложности и жестких требований к соблюдению критериев подобия. Математическое моделирование подразделяется на аналоговое и на основе ЭЦВМ. Основным видом в настоящее время является аналоговое моделирование. Существует весьма много физических процессов, которые по своим законам и уравнениям аналогичны фильтрации грунтовых вод (электрический ток, теплопроводность, движение вязкой жидкости в капиллярах и т.д.). Технически наиболее просто и удобно осуществляется моделирование фильтрации на основе аналогии с электрическим током.

У.2. Аналогия между процессами фильтрации и распростране-

ния электрического тока в проводящей среде состоит в том, что оба процесса описываются математически одинаковыми уравнениями. Аналогичны также основные законы - Дарси при фильтрации подземных вод и Ома для распространения электрического тока:

для электрического тока $$J = \frac{\Delta U}{R}, \qquad (У.1)$$

для фильтрационного потока $$Q = \frac{\Delta H}{\varphi}. \qquad (У.2)$$

Очевидно, сила тока J в уравнении (У.I) аналогична расходу фильтрационного потока Q в уравнении (У.2), разность потенциалов ΔU аналогична разности пьезометрических напоров ΔH, электрическое сопротивление R - фильтрационному сопротивлению φ.

Под фильтрационным сопротивлением понимают в простейшем случае следующее выражение:

$$\varphi = \frac{\Delta L}{\kappa F}, \qquad (У.3)$$

где κ - коэффициент фильтрации;

F - площадь поперечного сечения фильтрационного потока,

ΔL - длина пути фильтрации, на которой происходит падение напора ΔH.

У.3. Переход от фильтрационных параметров к электрическим при моделировании осуществляется с помощью масштабных коэффициентов. Основными масштабами служат:

масштаб напряжений $$\alpha_U = \frac{\Delta U}{\Delta H}, \qquad (У.4)$$

масштаб силы тока $$\alpha_J = \frac{J}{Q}, \qquad (У.5)$$

масштаб сопротивлении $$\alpha_R = \frac{R}{\varphi}, \qquad (У.6)$$

линейный масштаб $$\alpha_L = \frac{L_м}{L_н}. \qquad (У.7)$$

Здесь $L_н$ и $L_м$ - линейные размеры натуры и модели.

Для сохранения подобия необходимо, чтобы первые три масштабных коэффициента были связаны между собой следующим соотношением:

$$\alpha_J = \frac{\alpha_U}{\alpha_R}. \qquad (У.8)$$

У.4. Моделирование осуществляется с помощью специальных моделирующих устройств - электроинтеграторов. Интеграторы различают по типу используемой электропроводной среды, по типу потенциометров и по характеру воспроизводимого на модели процесса.

Электропроводная среда бывает двух типов - непрерывная (обычно электропроводная бумага, иногда жидкий электролит) и дискретная (сетка сопротивлений).

Потенциометры также бывают двух типов - предназначенные для задания непосредственно потенциалов (граничных условий первого рода) и предназначенные для задания силы тока (граничных условий второго рода). По характеру модельный процесс может быть стационарным и нестационарным.

У.5. В настоящее время широко распространены следующие типы электроинтеграторов: ЭГДА 9/60, ЭИ-12, МСМ-I, УСМ-I, ЭИНП 3/66 и БУСЭ-I.

ЭГДА-9/60 предназначен для моделирования стационарных процессов. В качестве электропроводной среды используется электропроводная бумага. Имеется делитель граничных условий первого рода.

ЭИ-12 предназначен для моделирования стационарных процессов. В составе интегратора имеется сетка сопротивлений и два делителя - делитель граничных условий первого рода и делитель граничных условий второго рода (делитель истоков). Делителями можно пользоваться только раздельно. Обычно пользуются первым делителем.

МСМ-I (малая сеточная машина) является увеличительной приставкой к интегратору УСМ-I, но широко используется и как самостоятельный интегратор. Имеется сетка сопротивлений, делитель граничных условий первого рода и делитель граничных условий второго рода. Обоими делителями можно пользоваться одновременно. В составе интегратора имеются также электрические емкости и делитель начальных условий, используемые в блоке с УСМ-I.

У.6. УСМ-I (универсальная сеточная машина) предназначена для моделирования как стационарных, так и нестационарных процессов. В состав интегратора входят трехмерная сетка сопротивлений с электрическими емкостями в некоторой части узлов сетки, делители граничных условий первого и второго рода, делители начальных условий. Интегратор УСМ-I имеется лишь в крупных научно-исследовательских и проектных организациях.

ЭИНП 3/66 (электроинтегратор нестационарных процессов) предназначен для моделирования нестационарных процессов на электропроводной бумаге. Делителей не имеет. На выход интегратора подано только 0 и 100% базового напряжения.

БУСЭ-I (блочный универсальный сеточный электроинтегратор). В последнее время получает все более широкое распространение. В составе интегратора имеется трехмерная сетка сопротивлений, кроме того, к каждому узлу сетки может быть подключено сопротивление для моделирования нестационарного процесса в конечно-разностной форме (методом Либмана). Имеются делители граничных условий как первого рода, так и второго рода.

б) Общие положения методики моделирования дренажных систем

У.7. Моделирование применяется для расчета дренажных систем в сложных гидрогеологических условиях, главным образом в тех случаях, когда фильтрационный поток имеет сложный двухмерный в плане характер. Помимо двухмерности потока, может быть учтена неоднородность фильтрационных свойств проницаемого пласта, изменчивость граничных условий, весьма сложные комплексы различных факторов, влияющих на формирование фильтрационного потока. Аналитические методы фильтрационных расчетов дренажных систем в таких условиях обычно чрезвычайно усложняются, поэтому более надежным и быстрым методом расчета является моделирование.

У.8. При моделировании двухмерного в плане потока в первую очередь рассматривается стационарный режим фильтрации, соответствующий осредненным эксплуатационным условиям работы дренажной системы. Это основной расчетный случай.

Во вторую очередь при необходимости рассчитывается нестационарный режим фильтрации. Нестационарность учитывается для оценки сезонных колебаний уровней грунтовых вод и для определения длительности осушения защищаемой территории. Этот расчет с достаточной степенью точности можно выполнять аналитически для отдельных характерных полос тока, которые выделяются по результатам моделирования двухмерного в плане стационарного потока.

У.9. В зависимости от типа электропроводной среды различают модели непрерывные (обычно из электропроводной бумаги), сеточные и комбинированные. Для расчета дренажных систем более предпочтительны модели из электропроводной бумаги, так как они наглядны, на них легко отображаются даже самые сложные конфигурации дренажной системы. Обычно такие модели получаются комбинированными.

У.10. Для построения модели предварительно разрабатывается

фильтрационная схема. Выделяется в плане расчетная область фильтрации, т.е. область, в пределах которой дренажная система оказывает влияние на фильтрационный поток. Схематизируется строение проницаемого пласта внутри этой области. На границах области фильтрации устанавливаются граничные условия. Внутри области фильтрации учитываются все дренажные сооружения как проектируемые, так и существующие, водозаборы, водоемы, водотоки и прочие естественные и искусственные источники питания и разгрузки грунтовых вод. Учитывается также распределенное в области инфильтрационное питание грунтовых вод, а в некоторых случаях - и испарение с поверхности грунтовых вод.

У.II. После схематизации натурных условий выбираются масштабные коэффициенты, рассчитывается и строится электрическая модель. Затем проводится моделирование. Ниже излагается методика расчета и техника выполнения отдельных элементов электрической модели. Одновременно освещаются принципы схематизации натурного фильтрационного потока и даются указания по выбору масштабных коэффициентов. Рассматривается основной расчетный случай - двухмерный в плане фильтрационный поток, стационарный режим фильтрации. Методика дается применительно к моделям из электропроводной бумаги.

§ 2. Схема и модель проницаемого пласта.

У.I2. Модель проницаемого пласта является основой всей электрической модели. Поэтому она разрабатывается в первую очередь. Проницаемым пластом называют верхнюю обводненную толщу грунтов, лежащих на региональном водоупоре, распространенном во всей расчетной области фильтрации. Обычно водоупором служат слабопроницаемые глинистые грунты или коренные породы.

В разрезе пласта выделяют только слои с резко различными (в десятки раз) фильтрационными свойствами. Все соседние литологические разности с близкими значениями коэффициента фильтрации объединяют в один общий слой. Чаще всего удается схематизировать строение пласта как однослойное, двухслойное (со слабо проницаемым верхним слоем) или трехслойное (с промежуточным слабопроницаемым слоем).

а) Однослойный пласт (рис.У.I,а).

У.I3. Поток в однослойном пласте, как правило (за исключением небольших зон вблизи рек, водоемов, дрен), является одно-

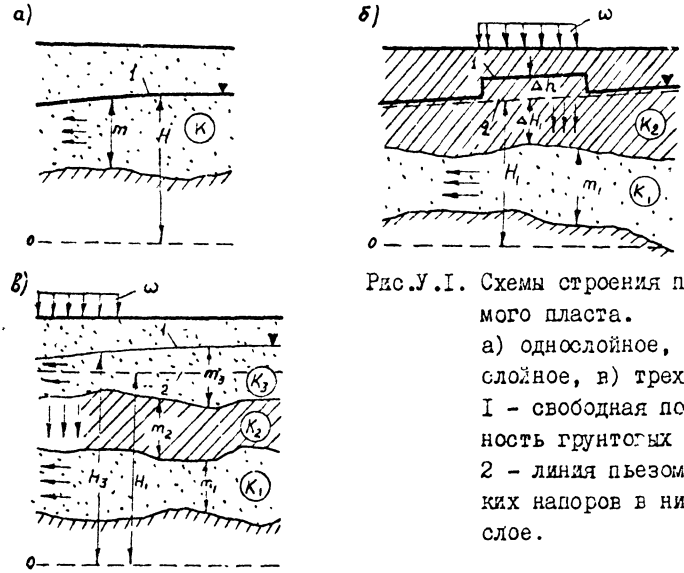


Рис.У.I. Схемы строения проницаемого пласта.
а) однослойное, б) двухслойное, в) трехслойное,
I - свободная поверхность грунтовых вод,
2 - линия пьезометрических напоров в нижнем слое.

мерным в разрезе, т.е. он движется почти горизонтально вдоль простирания пласта. Показателем фильтрационных свойств пласта служит проводимость T, вычисляемая по формуле

$$T = \sum_{i}^{n} m_i K_i \quad , \qquad (У.9)$$

где m_i и K_i - мощности и коэффициенты фильтрации отдельных литологических разностей, слагающих пласт.

Проводимость вычисляется в пределах обводненной мощности пласта. Она зависит от уровня грунтовых вод и изменяется вслед за изменением уровня. В первом приближении она определяется при естественном уровне грунтовых вод. Далее в процессе моделирования ее можно уточнять методом последовательного приближения.

У.I4. Модель однослойного пласта выполняется из электропро-

водной бумаги в форме плана области фильтрации в некотором удобном масштабе. Сопротивление бумаги ρ определяют в зависимости от фильтрационной проводимости пласта T по формуле:

$$\rho = \frac{\alpha_\ell}{T} \cdot \qquad (У.10)$$

Масштабный коэффициент α_ℓ принимается в зависимости от имеющегося ассортимента бумаги с учетом соотношения (У.8). В случае плановой фильтрационной неоднородности пласта область фильтрации разбивают на зоны постоянной проводимости. Для каждой зоны подбирают бумагу по формуле (У.10). Далее фрагменты модели склеивают свежей чертежной тушью или специальным электропроводным клеем.

б) Двухслойный пласт (рис.У.1,б).

У.15. Наиболее распространены пласты, когда нижний слой имеет повышенную проницаемость, верхний - малую. При моделировании стационарной фильтрации обычно пласт рассматривается как однослойный. В расчет принимается проводимость только нижнего слоя, так как можно считать, что в верхнем слое фильтрация в горизонтальном направлении незначительна. Это допущение существенно упрощает моделирование, поскольку проводимость становится независимой от уровня грунтовых вод.

У.16. Влияние двухслойности пласта проявляется на участках инфильтрационного питания или испарения с поверхности грунтовых вод. На этих участках считается, что фильтрация в верхнем слое происходит только в вертикальном направлении, причем она сопровождается некоторыми потерями напора. Поэтому уровень в верхнем слое должен отличаться от напора в нижнем слое на величину Δh (рис.У.1,б). Ее можно вычислить после моделирования по следующей формуле:

$$\Delta h = \frac{\Delta H_1}{\frac{K_2}{\omega} - 1} \quad , \qquad (У.11)$$

где ω - интенсивность инфильтрационного питания или испарения с поверхности грунтовых вод,

K_2 - коэффициент фильтрации верхнего слоя,

ΔH_1 - превышение напора в нижнем слое над кровлей этого слоя (по результатам моделирования).

в) Трехслойный пласт (рис.У.1,в).

У.17. В трехслойных пластах чаще всего промежуточный слой является слабопроницаемым, поэтому принимается следующая схема

фильтрации: в верхнем и нижнем слоях поток перемещается в горизонтальном направлении, в промежуточном слое - в вертикальном. Модель пласта получается комбинированной. Верхний и нижний слои моделируются электропроводной бумагой, промежуточный слой - дискретными сопротивлениями. Схема электрической модели трехслойного пласта показана на рис.У.2. Модель верхнего и нижнего слоев стро-

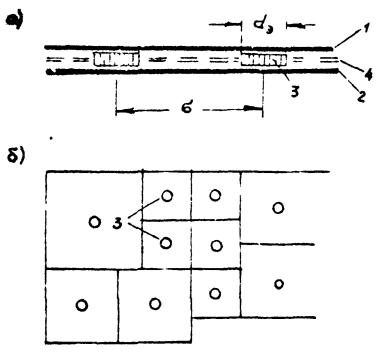


Рис.У.2. Схема электрической модели трехслойного пласта.
а) разрез модели, б) возможное размещение электродов в плане.
I - электропроводная бумага - модель верхнего слоя, 2 - электропроводная бумага - модель нижнего слоя, 3 - электроды - модель промежуточного слоя,
4 - диэлектрическая прослойка (бумага, пленка).

ится также, как модель однослойного пласта в форме плана области фильтрации. По формуле (У.9) рассчитывается проводимость слоев, по формуле (У I0) - сопротивление электропроводной бумаги. Нижний слой очевидно имеет постоянную проводимость. Проводимость верхнего слоя зависит от уровня грунтовых вод. Поэтому в процессе моделирования может потребоваться ее уточнение.

У.I8. Роль дискретных сопротивлений, моделирующих промежуточный слой, играют круглые электроды. Обычно они выполняются из медной или латунной фольги. Чертежной тушью или электропроводным клеем эти электроды приклеиваются к верхнему и нижнему листам модели (рис.У.2,а). В плане электроды размещаются в центрах квадратов, на которые предварительно разбивается область фильтрации. Не обязательно, чтобы все квадраты были одинаковы. Вполне допустима схема разбивки, показанная на рис.У.2,б. От размера квадрата зависит диаметр электрода. Диаметр электрода $d_э$ в масштабе мо-

дели вычисляется по формуле:

$$d_э = \alpha_L \frac{2\sigma}{exp(A)} \quad , \qquad (У.I2)$$

где

$$A = \frac{1}{2} + \frac{2\pi m_2 \cdot T_1 \cdot T_3}{\sigma^2 \kappa_2 (T_1 + T_3)} \quad ;$$

α_L - масштаб модели; σ - сторона квадрата в натуральном размере; κ_2 и m_2 - коэффициент фильтрации и мощность промежуточного слоя в центре квадрата; T_1 и T_3 - проводимости верхнего и нижнего слоев в центре квадрата.

Желательно, чтобы диаметр электрода был не менее 5 мм и не более 2-3 см.

Если диаметр электрода, рассчитанный по формуле (У.I2), получается больше указанных пределов, то следует изменить схему квадратов, уменьшив их размеры. Если же диаметр окажется меньше 5 мм, то его нужно принять равным 5-I0 мм, но при этом приклеить отдельно электрод на верхнем листе и отдельно на нижнем, затем соединить эти электроды через дополнительное сопротивление, вычисляемое по формуле:

$$R = \alpha_R \left[\frac{m_2}{\sigma^2 \kappa_2} - \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_3} \right) \frac{1}{2\pi} \left(\ln \frac{2\sigma\alpha_2}{d_э} - \frac{1}{2} \right) \right] . \qquad (У.I3)$$

Обозначения те же, что и в формуле (У.I2).

г) Неоднородный пласт.

У.I9. Характерные схемы неоднородного строения пласта показаны на рис.У.3. Там же даны схемы электрической модели пласта. Для построения модели предварительно в области фильтрации выделяются зоны однородного строения пласта (однослойное, двухслойное, трехслойное). Далее в каждой зоне модель строят по соответствующей методике, изложенной выше. Особо следует отметить лишь переход на модели от трехслойного строения пласта к двухслойному (рис.У.3а,б) и к однослойному (рис.У.3в,г). В первом случае верхний и нижний листы модели связаны только через дискретные сопротивления, моделирующие промежуточный слой. Во втором случае, кроме того, верхний лист приклеивается по контуру к нижнему листу.

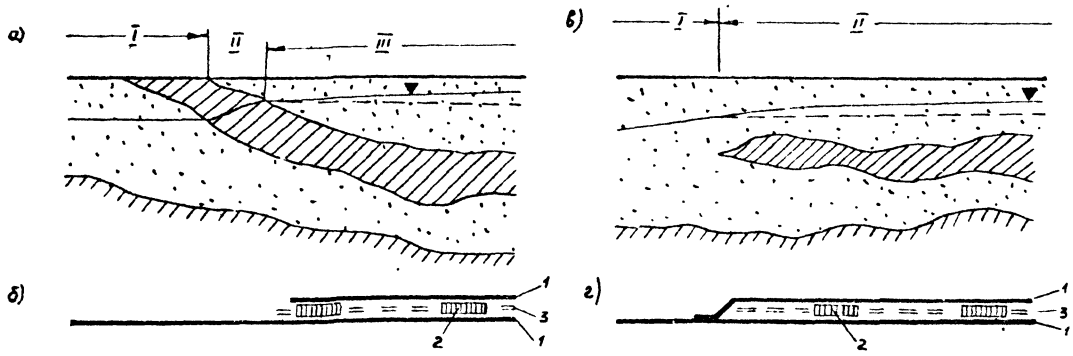


Рис.У.3. Схема неоднородных пластов.
а),б) пласт с одно-, двух- и трехслойным строением и его модель; в),г) пласт с одно- и трехслойным строением и его модель.
I - электропроводная бумага - (модель хорошо проницаемых слоев); 2 - электрод (модель промежуточного слабопроницаемого слоя); 3 - диэлектрическая прослойка (бумага, пленка).

§ 3. Границы области фильтрации и условия на них.

а) Границы области фильтрации.

У.20. Расчетной областью фильтрации называется зона влияния дренажа, в пределах которой ожидается изменение картины движения фильтрационного потока. Границы этой зоны проводят в первую очередь по береговым линиям рек и водоемов, достаточно широких или достаточно глубоко врезанных в проницаемый пласт.

Если водоем (водоток) глубоко, не менее чем на 3/4, врезан в проницаемый пласт, то граница называется совершенной. При меньшей врезке граница называется несовершенной. Несовершенные границы обладают некоторыми дополнительными фильтрационными сопротивлениями.

Дополнительное фильтрационное сопротивление на несовершенство f_r на единицу длины береговой линии в соответствии с обозначениями на рис.У.4, вычисляются по следующим формулам: при однослойном строении пласта (рис.У.4,а) в наихудшем случае, когда $h = 0$ - на основе решений С.Н.Нумерова

$$f_r = \frac{0{,}44}{k}, \qquad (У.14)$$

при двухслойном строении пласта (рис.У.4,б) - на основе решений А.А.Угинчуса

$$f_r = \sqrt{\frac{m_2}{k_1 \cdot k_2 \cdot m_1}} \cdot \qquad (У.15)$$

У.21. Сопротивление на несовершенство врезки водоемов (водотоков) в пласт на модели обычно выражается в виде удлинения пласта в сторону водоема (водотока). Схема удлинения пласта показана на рис.У.5.

На прямолинейном участке границы удлинение пласта в масштабе модели вычисляется по формуле

$$\Delta L = f_r \frac{\alpha_e \alpha_L}{\rho} \cdot \qquad (У.16)$$

На криволинейном участке границы удлиненный контур проводится по дуге окружности радиуса R_2, который в зависимости от радиуса кривизны R_1 граничной линии вычисляется по формуле

$$R_2 = R_1 \exp\left(\pm f_r \frac{\alpha_e \alpha_L}{\rho R_1}\right). \qquad (У.17)$$

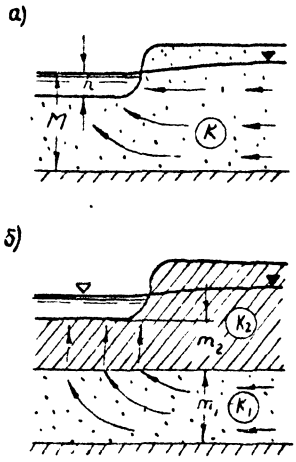


Рис.У.4. Схема несовершенных границ области фильтрации.
а) при однослойном строении пласта,
б) при двухслойном строении пласта.

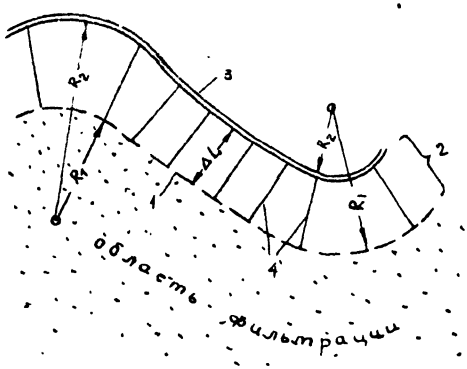


Рис.У.5. Схема модели несовершенной границы области фильтрации.
I - естественная граница области фильтрации;2 - полоса дополнительного сопротивления на несовершенство;
3 - шина на границе полосы сопротивления (для задания граничных условий).
4 - прорези в полосе сопротивлений.

Знак "+" становится в случае выпуклой границы, знак "-" в случае вогнутой границы. Радиусы R_1 и R_2 берутся в масштабе модели. Сопротивление бумаги ρ для удлинения пласта может быть выбрано любое.

Ток на участке удлинения должен идти строго по нормали к границе области фильтрации. Для этого делаются прорези на участке удлинения пласта по схеме, показанной на рис.У.5.

У.22. Помимо береговых линий водоемов и водотоков, границами области фильтрации могут служить также резкие перепады и выступы водоупорных пород, создающие разрыв фильтрационного потока по высоте или в плане. Необходимо иметь в виду, что область фильтрации при моделировании обязательно должна быть ограничена со всех сторон. Недостающие границы проводятся по линиям тока и по линиям равного напора за пределами влияния дренажа. В качестве граничных выбирают такие линии тока и линии равного напора, о которых заведомо известно, что их положение в плане не изменится под влиянием дренажа.

б) Граничные условия

У.23. На всех границах должны быть заданы либо уровни грунтовых вод (граничные условия первого рода), либо фильтрационные расходы (граничные условия второго рода). На береговых линиях водоемов обычно заданными являются уровни воды в них. На перепадах водоупорных пород задаются: для области фильтрации на верхней террасе - уровни (отметки) уступа, для области фильтрации на нижней террасе - поступающий сверху фильтрационный расход.

Линии тока и границы разрыва фильтрационного потока в плане рассматриваются как непроницаемые стенки (их считают границами с нулевыми граничными условиями второго рода). На линиях равного напора предпочтительнее задавать фильтрационный расход, поступающий в выделенную область фильтрации. Однако, если на граничной линии равного напора сохраняется естественный уровень, то в качестве граничного условия необходимо задать этот уровень.

У.24. Граничные условия первого рода задаются на модели электрическими потенциалами. Для этого к модели пласта вдоль границы приклеивают проволочную шину и подключают ее к делителю потенциалов. Проволоку предварительно очищают от изоляции. Удобно и надежно приклеивается шина клейкой лентой. Если напор (уровень) постоянен на всей границе, то в качестве шины используется

медная проволока. Если значение напора (уровня) должно изменяться вдоль границы, то шина изготавливается из константовой или какой-либо другой проволоки с большим сопротивлением. Потенциалы подаются на такую шину по концам и в некоторых промежуточных точках так, чтобы выдерживалась нужная закономерность изменения напора вдоль границы. Длина проволоки $\Delta L_ш$ между соседними точками задания потенциалов должна быть не менее следующей величины:

$$\Delta L_ш = \frac{\Delta U}{[J]\rho}, \qquad (У.18)$$

где ΔU - разность потенциалов в рассматриваемом промежутке;

$\rho_ш$ - удельное сопротивление проволочной шины,

$[J]$ - допускаемая сила тока для используемого интегратора.

Если $\Delta L_ш$ оказывается больше соответствующего участка границы, то проволоку сворачивают в спираль.

У.25. Потенциалы обычно выражаются в долях единицы или в процентах от базового напряжения делителя потенциалов. Для расчета потенциалов предварительно из всей совокупности заданных уровней (напоров) выбирают наибольшее H_{max} и наименьшее H_{min} значения. При этом учитывают не только граничные, но и другие заданные уровни (на линиях дренажей, внутренних рек и т.п.). Относительные (в долях единицы) потенциалы $\bar{U}$, соответствующие промежуточным значениям заданных уровней H, вычисляются по формуле

$$\bar{U} = \frac{H - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}. \qquad (У.19)$$

Расчет по формуле (У.19) означает, что принимается следующий масштаб потенциалов:

$$\alpha_U = \frac{\Delta U_{OI}}{H_{max} - H_{min}}, \qquad (У.20)$$

где ΔU_{OI} - базовое напряжение делителя потенциалов.

У.26. Граничные условия второго рода (фильтрационные расходы) моделируются силой тока. Для задания силы тока к границе области фильтрации на модели подклеивается полоса электропроводной бумаги, выполняющая роль дополнительного сопротивления. На свободной границе полосы приклеивается проволочная шина и на нее подается некоторый потенциал. Сопротивление и потенциал на шине подбираются так, чтобы проходящий через сопротивление ток соответствовал заданному фильтрационному расходу. Ток должен идти

строго по нормали к области фильтрации. Поэтому в полосе бумажного сопротивления делают поперечные прорези. В целом получается такая же конструкция, как в случае учета несовершенства русел рек и ложа водоемов на границах области фильтрации (см.рис.У.5).

У.27. Если интегратор оснащен делителем граничных условий второго рода, то потенциал для задания силы тока берется с этого делителя и подается на модель через полосу сопротивления. Величина потенциала принимается в 20-50 раз больше базового напряжения делителя граничных условий первого рода. Ширина полосы сопротивления, подобно удлинению пласта ΔL , вычисляется по формулам (У.16) и (У.17). Входящее в эти формулы фильтрационное сопротивление в данном случае вычисляется по формуле

$$f_r = \frac{\bar{U}_{II} \cdot \Delta U_{oII}}{q \alpha_u} \quad , \qquad (У.21)$$

где ΔU_{oII} - базовое напряжение делителя граничных условий второго рода, $\bar{U}_{II}$ - принятый для задания силы тока потенциал в долях единицы базового напряжения того же делителя, α_u - масштаб потенциалов, определяемый при задании граничных условий первого рода, q - заданный фильтрационный расход на границе области фильтрации.

У.28. Необходимо учитывать, что делители граничных условий второго рода имеют высокое напряжение, поэтому сопротивления для задания силы тока, шина на границе этого сопротивления и подводка от делителя к шине должны тщательно изолироваться во избежание поражения экспериментаторов электрическим током.

У.29. При отсутствии делителя граничных условий второго рода (в интеграторах ЭГДА 9/60, ЭИ-12) сила тока задается с помощью делителя граничных условий первого рода.

В этом случае масштаб потенциалов α_u выбирается так, чтобы примерно 1/3 базового напряжения делителя приходилась на задание положительных расходов, 1/3 - на задание отрицательных расходов и 1/3 - на задание граничных условий первого рода. Для этого определяется, как отмечалось раньше, диапазон граничных условий первого рода от H_{min} до H_{max}.

Затем вычисляются следующие величины:

$$H_{m\,max} = H_{max} + (H_{max} - H_{min}) \, , \qquad (У.22)$$

$$H_{m\,min} = H_{min} - (H_{max} - H_{min}) . \qquad (У.23)$$

При расчете $H_{m\,max}$ и $H_{m\,min}$ произвольную плоскость сравнения для отсчета H_{max} и H_{min} необходимо выбрать таким образом, чтобы в формуле (У.23) исключить отрицательный результат.

Далее вычисляются относительные потенциалы, соответствующие граничным условиям первого рода

$$\bar{U}_r = \frac{H_i - H_{m\,min}}{H_{m\,max} - H_{m\,min}} . \qquad (У.24)$$

После этого 100% базового напряжения делителя используется для задания положительных расходов, $0\ \%$ - для задания отрицательных расходов.

У.30. Ток, моделирующей фильтрационный расход вдоль рассматриваемой линии, подводится к модели пласта через дополнительное сопротивление, которое подклеивается к граничной линии второго рода.

Сила тока, задаваемая с помощью делителя граничных условий первого рода, существенно зависит от потенциала $\bar{U}_r$ на границе области фильтрации, т.е. на линии подклейки дополнительного сопротивления к модели пласта.

В связи с этим ширину полосы бумажного сопротивления необходимо подбирать в процессе моделирования в зависимости от потенциала $\bar{U}_r$.

Ширина полосы определяется по формулам (У.16) и (У.17), но входящее в них сопротивление f_r вычисляется по следующим формулам:

для положительных расходов -

$$f_r = \frac{H_{m\,max} - H_{m\,min}}{q} (1 - \bar{U}_r) , \qquad (У.25)$$

для отрицательных расходов -

$$f_r = \frac{H_{m\,max} - H_{m\,min}}{q} , \qquad (У.26)$$

где q - заданный расход, $\bar{U}_r$ - потенциал на границе области фильтрации в долях единицы от базового напряжения делителя.

У.31. Подбор ширины ΔL дополнительного бумажного сопротивления для задания тока производят в следующем порядке. Вначале

рассчитывают максимально возможную ширину бумажного сопротивления $\Delta L'$, при этом для положительных расходов в формуле (У.25) принимают $\bar{U}_r = 0$, для отрицательных расходов $-\bar{U}_r = I$ (в формуле У.26). Подключая к концам этого сопротивления относительные потенциалы 0 и I, находят линию, соответствующую $\bar{U}_r = 0{,}5$. Вдоль этой линии приклеивают медную шину. Приклеивать следует липкой лентой. При некотором навыке ее можно сравнительно легко снимать не повреждая электропроводную бумагу. После сборки модели и подачи на нее тока измеряют потенциалы $\bar{U}_r$. В соответствии с измеренными потенциалами рассчитывают новое положение границы полосы сопротивления и переносят на нее шину. Далее все три операции (измерение, расчет ширины, перенос шины) повторяются до совпадения предыдущего и последующего положения шины. Для удобства подбора следует заранее рассчитать и разметить положения шины, соответствующие разным значениям потенциалов $\bar{U}_r$.

Сопротивление для задания силы тока по границе области фильтрации подбирают в зависимости от $\bar{U}_r$ в следующем порядке. В первом приближении принимают $\bar{U}_r = I$ в случае положительного расхода и $\bar{U}_r = 0$ в случае отрицательного расхода. Тогда в обоих случаях получается максимальное значение $f_{r\,max} = \frac{H_{max} - H_{min}}{q}$. При этом значении вычисляют ширину полосы бумажного сопротивления, используя формулу (У.I6) для прямолинейных участков границы и (У.I7) для закруглений границы. Приклеивают бумажное сопротивление к границе области фильтрации. Вдоль свободной границы сопротивления приклеивают шину, на которую подают потенциал I00% в случае положительного расхода и 0 в случае отрицательного расхода Измеряют вдоль границы области фильтрации (т.е. на линии приклеивания сопротивления к области фильтрации) потенциалы $\bar{U}_r$. Вычисляют при этих значениях f_r по формулам(У.25), (У.26), ширину полосы сопротивления по формулам (У.I6), (У.I7), отмечают границу этой ширины и переносят на нее шину. Далее все операции повторяют до совпадения предыдущего и последующего значений $\bar{U}_r$ в каждой точке границы области фильтрации.

§ 4. Дренажные сооружения

У.32. При моделировании различают: а) точечные дрены и б) линейные дрены.

Под точечными дренами понимают скважины и шахтные колодцы. Линейными дренами являются горизонтальные и комбинированные дре-

нажи, а также цепочки скважин. Форма дренажной линии в плане при моделировании не имеет значения. Она может быть прямой, ломаной, криволинейной, замкнутой (кольцевой) и т.д.

В точках и на линиях дрен также, как на границах области фильтрации, должны быть заданы граничные условия в виде уровня воды (граничное условие первого рода) или в виде расхода (граничное условие второго рода).

а) Точечные дрены

У.33. Точечные дрены моделируются круглыми электродами из медной фольги или из проволоки, свернутой в кольца. Электроды из фольги приклеивают тушью. Проволочные электроды удобно приклеивать липкой лентой. Диаметр электрода должен быть не менее 8-10 мм. При этом он почти всегда оказывается больше диаметра скважины (колодца) в масштабе модели. Это несоответствие диаметров компенсируется подключением дополнительного электрического сопротивления, вычисляемого по формуле

$$R_c = \alpha_R \cdot \varphi_c \quad , \qquad (У.27)$$

где φ_c - фильтрационное сопротивление, вычисляемое в свою очередь по формуле

$$\varphi_c = \frac{1}{2\pi T} \cdot \ell n \frac{d_э}{\alpha_L d_c} \quad , \qquad (У.28)$$

где d_c - натуральный диаметр скважины, $d_э$ - диаметр электрода в масштабе модели; α_L - линейный масштаб , T - проводимость пласта в точке размещения скважины.

У.34. Формула (У.28) относится к гидродинамически совершенной скважине. Но скважина может быть частично заглублена в пласт (рис.У.6) или фильтр может быть установлен не на всю глубину скважины (рис.У.7). Такая скважина называется несовершенной. На несовершенство вводится поправка в формулу (У.28), т.е. сопротивление φ_c несовершенной скважины вычисляется по формуле

$$\varphi_c = \frac{1}{2\pi T}\left(\ell n \frac{d_c \alpha_L}{d_э} + \xi\right) , \qquad (У.29)$$

где ξ - коэффициент сопротивления на несовершенство, определяемое по графикам на рис.У.6 и У.7.

Графики составлены для случая двухслойного пласта (схема "а" на рис.У.6 и У.7). Однослойный пласт (схема "б" на рис.У.6 и рис.У.7) условно приводится к двухслойному. Кровля проницаемого слоя приближенно (с запасом в сторону увеличения сопротивле-

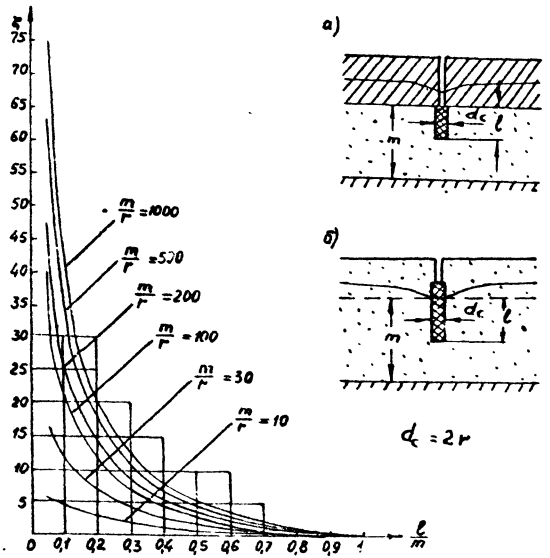


Рис.У.6. Графики коэффициента дополнительного сопротивления на несовершенство скважины (скважина примыкает к кровле или к подошве пласта)

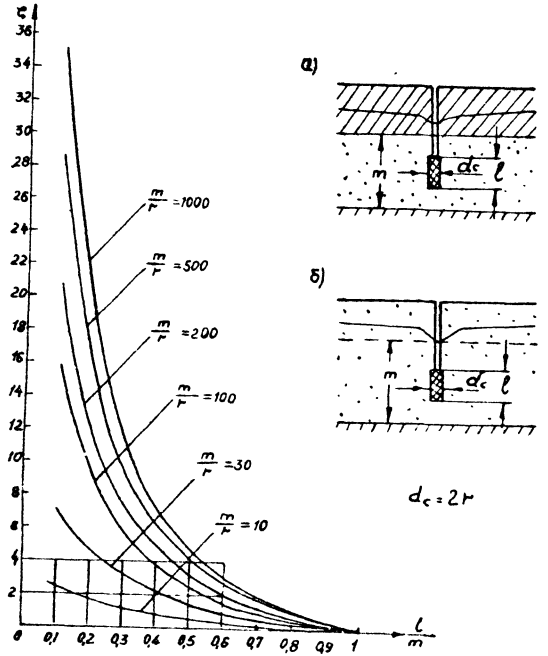


Рис.У.7. Графики коэффициента дополнительного сопротивления на несовершенство скважины (фильтр скважины помещается в средней части пласта).

ния) проводится на уровне воды в скважине, т.е. принимают

$$m = h_c \,, \qquad (У.30)$$

где h_c - глубина от уровня воды в скважине до подошвы проницаемого слоя.

Если известен расход скважины Q_c, то кровлю пласта проводят несколько выше уровня воды в скважине из расчета:

$$m = \sqrt{h_c^2 + \frac{Q_c}{\pi K} \ln \frac{2h_c}{d_c}} \,, \qquad (У.31)$$

где d_c - диаметр скважины, K - коэффициент фильтрации проницаемого слоя.

У.35. Электрическое дополнительное сопротивление R_c, вычисляемое по формуле (У.27), обязательно подключается к электроду в том случае, когда в скважине задан уровень (граничное условие первого рода). Сопротивление удобно выполнять из электропроводной бумаги в виде прямоугольника со следующим соотношением сторон:

$$\frac{\ell_R}{b_R} = \frac{R_c}{\rho} \,, \qquad (У.32)$$

где ρ - сопротивление бумаги, из которой изготавливается сопротивление R_c, ℓ_R и b_R - стороны прямоугольника.

Схема подключения сопротивления к электроду показана на рис.У.8.

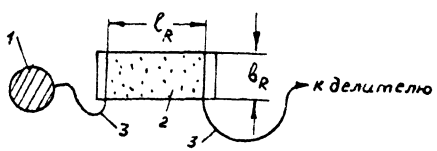


Рис.У.8. Схема электрической модели скважины.
I - круглый электрод; 2 - бумажное сопротивление; 3 - соединительный провод.

На свободный конец сопротивления подается потенциал, соответствующий заданному в скважине уровню. Расчет потенциала

производится по формуле (У.19) или (У.24), наряду с потенциалами, которые задаются на границах области фильтрации. При этом заданный в скважине уровень должен учитываться в числе прочих при выборе H_{max} и H_{min} .

У.36. Дополнительное сопротивление R_c не вводится, если в скважине задан расход (граничное условие второго рода). Взамен его к электроду подключается сопротивление R_y для подачи силы тока, соответствующей заданному в скважине расходу. Сопротивление R_y при подаче тока с помощью делителя граничных условий второго рода вычисляется по формуле:

$$R_y = \frac{\bar{U}_{II} \Delta U_{oII}}{Q_c} \cdot \alpha_R \quad , \qquad (У.33)$$

где Q_c – заданный в скважине расход, а остальные обозначения те же, что и в формуле (У.21).

Сопротивление подключается к электроду по схеме, показанной на рис.У.8. Соотношение сторон прямоугольника вычисляется по формуле (У.32) с учетом замены R_c на R_y . На свободный конец сопротивления подается потенциал $\bar{U}_{II}$. Необходимо подчеркнуть, что принимается единое значение потенциала $\bar{U}_{II}$ для задания всех граничных условий второго рода: в скважинах, на границах области фильтрации и в любых других местах модели.

У.37. Сопротивление R_y при подаче тока с помощью делителя граничных условий первого рода вычисляется по формуле

$$R_y = \alpha_R \frac{H_{mmax} - H_{mmin}}{Q_c} \cdot \bar{U}_c \quad , \qquad (У.34)$$

где H_{mmax} и H_{mmin} – условные уровни, определяемые по формулам (У.22) и (У.23),

$\bar{U}_c$ – потенциал (в долях единицы базового напряжения делителя), возникающий на электроде.

В первом приближении принимают $\bar{U}_c = 1$. Тогда получается максимально возможная величина $\bar{U}_c$. Бумагу для сопротивления выбирают такую, чтобы получился удлиненный прямоугольник в виде полосы с соотношением сторон по формуле (У.32) не менее 4-5. Один конец полосы жестко соединяется с электродом (соединительный провод приклеивается к сопротивлению). На втором конце устанавливается скользящий контакт (зажим) для регулировки величины сопротивления в соответствии с $\bar{U}_c$. На контакт подается потенциал 0. Сопротивление регулируется в ходе моделирования также,

как аналогичные сопротивления на границах области фильтрации. Схема подключения сопротивления R_y показана на рис.У.9.

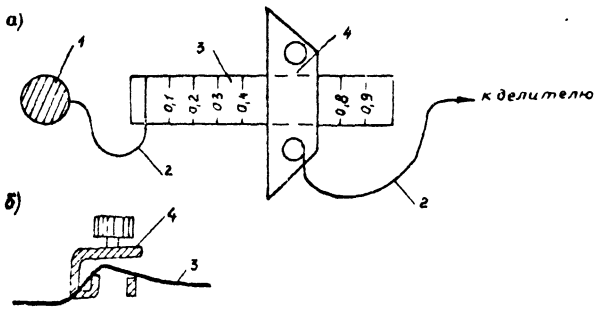


Рис.У.9. Схема конструкции переменного бумажного сопротивления.
а) схема подключения сопротивления к модели скважины; б) конструкция скользящего контакта;
I - электрод (модель скважины); 2 - соединительный провод; 3 - бумажное сопротивление; 4 - скользящий контакт.

У.38. Аналогично дренажным скважинам моделируются водозаборные скважины.

Группу близко расположенных скважин на модели можно заменить одной условной (эквивалентной) скважиной. Такая замена допустима в том случае, когда во всех скважинах заданным граничным условием является расход (но не уровень). Эквивалентную скважину помещают в точке с координатами:

$$x = \frac{\sum Q_i x_i}{\sum Q_i}, \qquad y = \frac{\sum Q_i y_i}{\sum Q_i},$$

где x и y - координаты эквивалентной скважины,
x_i и y_i - координаты каждой из заменяемых скважин,
Q_i - расход каждой из заменяемых скважин.

Система координат выбирается произвольно.

Граничным условием в эквивалентной скважине является суммарный расход заменяемых скважин. Моделируется эквивалентная

скважина также, как обычная одиночная скважина с заданным в ней расходом.

б) Линейные дрены.

У.39. Линейные дрены моделируются проволочными шинами. Конструктивные особенности и несовершенство дрен (т.е. неполнота врезки в проницаемый пласт) учитываются с помощью дополнительных сопротивлений. В таблице У.I приведены формулы для вычисления дополнительных фильтрационных сопротивлений f_g на единицу дренажной линии.

Формулы разработаны для случая двухслойного пласта, когда мощность нижнего, более проницаемого слоя не зависит от уровня грунтовых вод. В случае однослойного пласта они применяются приближенно. При этом пласт условно схематизируется как двухслойный. Кровля проницаемого слоя приближенно (с запасом с сторону увеличения сопротивления f_g) проводится на уровне воды в дрене. Если известен расход дренажа, то кровлю пласта можно назначать несколько выше уровня воды в скважине или дрене с таким расчетом, чтобы мощность проницаемого слоя, считая от водоупора, была равна:

в случае горизонтальных дрен

$$m = \sqrt{h_g^2 + h_g \frac{q}{\kappa}} \quad , \qquad (У.35)$$

где h_g - глубина от уровня воды в дрене до подошвы проницаемого слоя,

q - приток к дренажной линии на единицу ее длины,

κ - коэффициент фильтрации проницаемого слоя;

в случае ряда вертикальных скважин

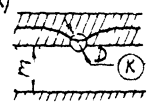
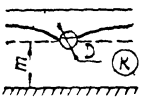
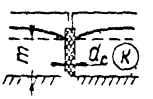
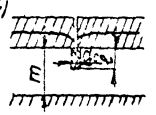
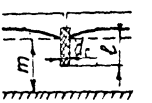
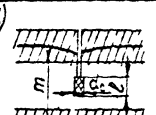
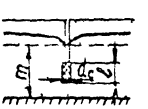
$$m = \sqrt{h_c^2 - \frac{q\delta}{\pi\kappa} \ln \frac{2h_c}{d_c}} \quad , \qquad (У.36)$$

где h_c - глубина от уровня воды в скважине до подошвы проницаемого слоя,

δ - расстояние между скважинами в ряду.

У.40. Формулы в таблице У.I даны для несовершенных горизонтальных дрен (схемы I,2) и для рядов вертикальных скважин (схемы 3-5) с различной степенью их несовершенства. Кроме того, дренаж может быть комбинированным, т.е. в виде несовершенной горизонтальной дрены и ряда самоизливающихся в нее вертикальных скважин. Дополнительное фильтрационное сопротивление комбинированного

Таблица V.1

Тип дрены	№ схемы	Тип потока: напорный	Тип потока: со свободной поверхностью	Формула
Горизонтальная дрена	1	а) 	б) 	$f_g = \frac{1}{k\pi} \ln \frac{2m}{\pi D}$
	2			при $\frac{k_1}{k_2} > 10$ $f_g = \frac{1}{k_2 \pi} \ln \frac{8m_2}{\pi D}$
Линейный ряд скважин	3	а) 	б) 	$f_g = \frac{\sigma}{2\pi k m} \ln \frac{\sigma}{\pi d_c}$ σ – шаг скважин в ряду
	4	а) 	б) 	$f_g = \frac{\sigma}{2\pi k m} \left(\ln \frac{\sigma}{\pi d_c} + \xi \right)$ ξ – по графику на рис V.7 σ – шаг скважин в ряду
	5	а) 	б) 	$f_g = \frac{\sigma}{2\pi k m} \left(\ln \frac{\sigma}{\pi d_c} + \xi \right)$ ξ – по графику на рис V.7. σ – шаг скважин в ряду

дренажа вычисляется по формуле

$$f_g = \frac{f_{gr} \cdot f_{gc}}{f_{gr} + f_{gc}} \quad , \qquad (У.37)$$

где f_{gr} и f_{gc} - сопротивлен горизонтальной дрены и сопротивление ря. вертикальных скважин, входящих с состав комбинированного дренажа.

Вычисляются они по формулам, приведенным в таблице У.I.

У.4I. Электрическое сопротивление, соответствующее дополнительному фильтрационному сопротивлению f_g , выполняется в виде полосы электропроводной бумаги. Расчетная ширина полосы ΔL_g в масштабе модели вычисляется по формуле

$$\Delta L_g = \alpha_L \cdot \alpha_R \frac{f_g}{\rho} \quad , \qquad (У.38)$$

где ρ - электрическое сопротивление бумаги, из которой выполняется дополнительное сопротивление дренажа,

α_L - линейный масштаб,

α_R - масштаб сопротивлений.

Одной стороной полоса сопротивления приклеивается к модели пласта вдоль заданной линии дренажа, а вдоль другой свободной стороны полосы приклеивается проволочная шина. Схема модели линейной дрены в разрезе показана на рис.У.I0. Для совершенной горизонтальной дрены сопротивление $f_g = 0$, т.е. оно не требуется. В этом единственном случае шина приклеивается непосредственно к модели пласта.

У.42. В линейных дренах обычно задаются граничные условия первого рода, т.е. уровень воды в дрене. Если значение уровня постоянно вдоль всей дренажной линии, то шина, моделирующая дрену, выполняется из медной проволоки. На нее подается в любом месте потенциал, соответствующий заданному уровню. Потенциал вычисляется по формуле (У.I9) или (У.24). При переменном значении уровня шина изготавливается из константановой или иной проволоки с высоким сопротивлением. Потенциалы подаются на нее по концам шины и во всех характерных промежуточных точках. Вычисляются потенциалы также по формуле (У.I9) или (У.24). Между соседними точками подачи потенциалов длина проволоки должна быть не менее величины $\Delta \ell_w$, вычисляемой по формуле (У.I8). Если $\Delta \ell_w$ оказывается больше соответствующего участка дренажной линии, то проволоку сворачивают в спираль и в таком виде приклеивают.

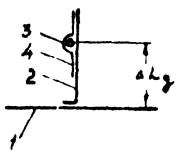


Рис.У.IO. Схема модели линейной дрены(в разрезе).
I - модель пласта (лист электропроводной бумаги);
2 - сопротивление (из электропроводной бумаги), учитывающее несовершенство и конструктивные особенности дрены; 3 - электропроводная шина;
4 - клейкая лента.

Проволока, используемая для шины, обязательно должна быть очищена от изоляции. Приклеивать ее следует клейкой лентой.

У.43. Весьма часто бывает так, что конструкции дрены и значения граничных условий в ней заранее строго не определены. В ходе моделирования они должны подбираться исходя из необходимого понижения уровня грунтовых вод на промплощадке. Такую задачу целесообразно решать в две стадии. На первой стадии проводится моделирование при следующих условиях. Все точечные дрены рассматриваются как совершенные колодцы. Диаметр колодца принимают равным диаметру электрода в масштабе, т.е. 8-IO мм. Все линейные дрены рассматриваются, как совершенные горизонтальные галереи. Очевидно, отсутствие дополнительных сопротивлений дрен несколько упрощает моделирование. В ходе моделирования подбирается необходимый уровень в совершенных дренах. Далее по результатам моделирования определяется приток к совершенным дренам. Методика определения притока излагается ниже.

У.44. На второй стадии решения задачи выбирается желаемая конструкция дрен взамен совершенной дрены и рассчитывается необходимый уровень воды в ней. Расчет выполняется по следующим

формулам:

в случае точечной дрены

$$H_д = H_{дс} - Q_{дс} \cdot \Phi_c \quad , \qquad (У-39)$$

где $H_д$ - уровень в расчетной дрене,

$H_{дс}$ - уровень в совершенном колодце,

$Q_{дс}$ - приток к совершенному колодцу,

Φ_c - сопротивление расчетной скважины, вычисляемое в зависимости от ее диаметра и несовершенства по формуле (У.28) или (У.29);

в случае линейной дрены

$$H_д = H_{дс} - q_{дс} \cdot f_д \quad , \qquad (У.40)$$

где $H_д$ и $H_{дс}$ - уровень в совершенной дрене и в расчетной дрене,

$q_{дс}$ - удельный (на единицу длины) приток к дрене,

$f_д$ - сопротивление, вычисляемое по формулам таблицы У.I или по формуле (У.37) в зависимости от конструкции дрены и степени ее несовершенства.

Величина $H_д$ вычисляется в нескольких точках дренажной линии, так как она может быть переменной.

§ 5. Распределенное питание, внутренние водотоки и водоемы.

а) Распределенное питание грунтовых вод.

У.45. Под распределенным питанием понимают как инфильтрацию, так и испарение с поверхности грунтовых вод. В первом случае питание считается положительным, во втором - отрицательным. Распределенное питание, как и фильтрационный расход, моделируется силой тока, который может быть подан на модель только дискретно. В связи с этим область питания разбивают на квадраты и в пределах каждого квадрата вычисляют суммарный расход питания Q_ω по формуле:

$$Q_\omega = \omega \delta^2 \quad , \qquad (У.41)$$

где ω - интенсивность питания, δ - размер стороны квадрата.

Расход Q_ω считают сосредоточенным в центре квадрата. На модели в центре каждого квадрата приклеивают круглый элект-

род, на который подают ток, соответствующий расходу питания. При трехслойном строении пласта электроды приклеивают только на модель верхнего слоя.

У.46. Шаг сетки электродов, т.е. сторона квадрата δ, принимается с таким расчетом, чтобы между противоположными границами области дополнительного питания было не менее 3-4 электродов. При трехслойном строении пласта шаг и размещение электродов назначают с учетом сетки электродов, моделирующих слабопроницаемый слой. Во-первых, электроды для задания тока питания не должны совпадать с электродами, моделирующими слабопроницаемый слой. Иначе потребуется учитывать их взаимодействие. Во-вторых, необходимо, чтобы шаг сетки тех и других электродов был одинаковым. При этом сетки должны быть смещены относительно друг друга на полшага в обоих направлениях, как показано на рис.У.II.

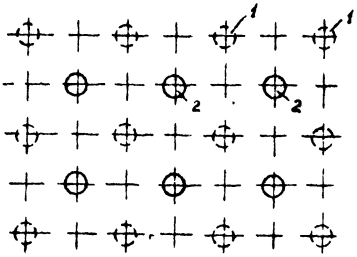


Рис.У.II. Схема смещения сеток электродов.
I - электроды, моделирующие слабопроницаемый слой,
2 - электроды для задания силы тока.

У.47. Расчет и подача тока на электрод при отрицательном питании осуществляется также, как при моделировании дренажной или водозаборной скважины с заданным в ней расходом в качестве граничного условия.

При положительном питании имеются некоторые отличия. Если ток задается с помощью делителя граничных условий второго рода, то необходимо лишь иметь в виду, что этот делитель, как и делитель условий первого рода, обычно состоит из двух частей. Одна часть делителя предназначена для подачи положительной силы тока, вторая - для отрицательной. Если ток задается с помощью делителя граничных условий первого рода, то, во-первых, сопротивление R_y, подключаемое к электроду для задания силы тока, вместо (У.34), вычисляется по следующей формуле:

$$R_y = \alpha_e \frac{H_{mmax} - H_{mmin}}{Q_\omega} \cdot (1 - \bar{U}_e), \qquad (У.42)$$

во-вторых, на свободный конец этого сопротивления подается не 0%, а 100% базового напряжения делителя потенциалов.

б) Водотоки и водоемы внутри области фильтрации

У.48. Водотоки и водоемы, находящиеся внутри области фильтрации, влияют на фильтрационный поток и поэтому должны быть отражены на модели. Под водотоками и водоемами в общем смысле следует понимать естественные реки и озера, искусственные каналы и пруды, отстойники и бассейны, а также трубчатые канализационные коллекторы и закрытые емкости, которые могут в той или иной мере сообщаться с грунтовыми водами. Различают два типа водотоков и водоемов. Первый тип - гидравлически связанные с грунтовыми водами (рис.У.12а,б), второй тип - гидравлически не свя-

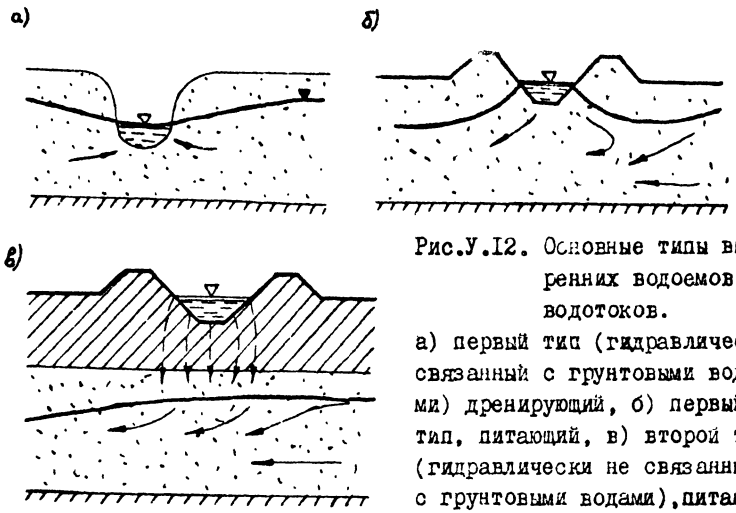


Рис.У.12. Основные типы внутренних водоемов и водотоков.
а) первый тип (гидравлически связанный с грунтовыми водами) дренирующий, б) первый тип, питающий, в) второй тип (гидравлически не связанный с грунтовыми водами), питающий.

занные с грунтовыми водами (см.рис.У.12,в). Обычно вопрос о типе водоема (водотока) возникает в том случае, когда из него

происходит подпитка грунтовых вод. Такие водоемы, водотоки могут быть как первого (рис.У.I2,б), так и второго типа (рис.У.I2,в). Водотоки и водоемы, дренирующие грунтовые воды (рис.У.I2,а) всегда относятся к первому типу.

У.49. Водотоки и водоемы первого типа разделяются на две группы: а) малые, б) большие.

К группе "а" относятся водотоки и водоемы, ширина и диаметр которых не могут быть воспроизведены в масштабе модели из-за их малости. Такие водотоки и водоемы моделируются по типу линейных и точечных дрен. В группе "б" совершенные водотоки и водоемы моделируются по типу границ области фильтрации, т.е. их береговые линии рассматриваются как совершенные границы области фильтрации с заданными на этих границах уровнями. Несовершенные водотоки и водоемы группы "б" моделируются с учетом дополнительных сопротивлений, вычисляемых по формулам из таблицы У.2. Для водотоков формулы даны на основе решений А.А.Угинчуса, для круглых водоемов - на основе решений Е.М.Шестакова и Ф.М.Бочевера.

У.50. В таблице У.2 даны формулы для вычисления фильтрационных сопротивлений в расчете на единицу длины береговой линии водотока (схема № I) и водоема (схема № 2). Соответствующие электрические сопротивления выполняются из электропроводной бумаги в виде полосы, приклеиваемой вдоль береговой линии. Ширина полосы вычисляется по формуле, аналогичной (У.38).

Несовершенство водотока, как показано на схемах в таблице У.2, учитывается не только береговыми сопротивлениями f, но и промежуточным f_o. Это промежуточное сопротивление необходимо учитывать при следующих условиях:

однослойный пласт $B \leq 3m$, (У.43)

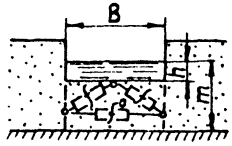
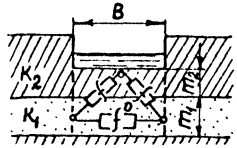
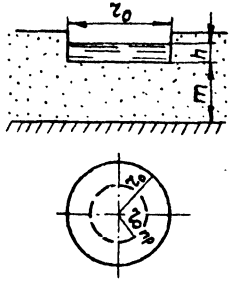
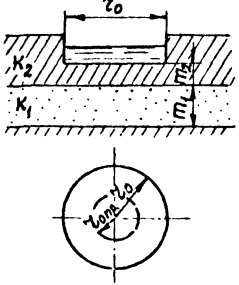
двухслойный пласт $B \leq 3b$. (У.44)

Обозначения те же, что и в таблице У.2.

В противном случае сопротивление f_o не нужно учитывать. Учитывается только f отдельно для каждой береговой линии, как в случае границы области фильтрации.

Несовершенство круглого водоема, вместо сопротивления f, может быть учтено в виде уменьшения радиуса водоема. Уменьшенный (приведенный) радиус водоема $r_{опр}$ вычисляется по формулам, также приведенным в таблице У.2.

Таблица V.2.

№ схемы	Однослойный пласт		Двухслойный пласт	
	схема	формула	схема	формула
1 (водоток)		при $\frac{h}{m}=0$ $f=\left(0{,}44+\frac{0{,}16}{\frac{B}{m}}m\right)\frac{1}{K}$ $f^0=\left[\frac{0{,}27\frac{B}{m}-0{,}022}{\frac{B}{m}lg\,cth\left(\frac{\pi}{4}\frac{B}{m}\right)}\right]\frac{1}{K}$		$f=\frac{cth\frac{\delta B}{2}}{K_1m_1\delta}$ $f^0=\frac{Sh\,\delta B}{K_1m_1\delta}$ $\delta=\sqrt{\frac{K_2}{K_1m_1m_2}}$
2 (водоём)		при $\frac{h}{m}=0$ $f=\frac{1}{K}\frac{\mathcal{Y}_0\left(\frac{r_0}{m}\right)}{\mathcal{Y}_1\left(\frac{r_0}{m}\right)}$ $\mathcal{Y}_0$ – функция Бесселя нулевого порядка $\mathcal{Y}_1$ – функция Бесселя первого порядка $r_{0\,пр}=r_0\,exp\left[-\frac{m\mathcal{Y}_0\left(\frac{r_0}{m}\right)}{r_0\mathcal{Y}_1\left(\frac{r_0}{m}\right)}\right]$		$f=\frac{1}{K_1m_1\delta}\frac{\mathcal{Y}_0(\delta r_0)}{\mathcal{Y}_1(\delta r_0)}$ $\delta=\sqrt{\frac{K_2}{K_1m_1m_2}}$ $\mathcal{Y}_0$ – функция Бесселя нулевого порядка $\mathcal{Y}_1$ – функция Бесселя первого порядка $r_{0\,пр}=r_0\,exp\left[-\frac{\mathcal{Y}_0(\delta r_0)}{r_0\delta\mathcal{Y}_1(\delta r_0)}\right]$

У.5I.Водоемы и водотоки второго типа всегда имеют противофильтрационный экран, естественный или искусственный (рис.У.I2в) слой слабопроницаемых грунтов, илистых отложений, специальное гидроизоляционное покрытие и т.д. Фильтрацию из таких водоемов, водотоков через экран можно рассматривать как распределенное инфильтрационное питание грунтовых вод. Интенсивность инфильтрации ω вычисляется по формуле:

$$\omega = \left(1 + \frac{h_2}{m_2}\right) \kappa_2 \quad , \qquad (У.45)$$

где h_2 - глубина воды в водоеме, водотоке, m_2 и κ_2 - мощность и коэффициент фильтрации экранирующего слоя.

Инфильтрация распределена в пределах акватории водоема, водотока. На модели это инфильтрационное питание задается по методике, изложенной ранее.

§ 6. Техника моделирования.

У.52. При моделировании в первую очередь собирается электрическая модель. Сборка осуществляется в такой последовательности. Изготавливается в выбранном масштабе геометрически подобная модель пласта. К модели пласта приклеиваются все дополнительные сопротивления, затем токопроводящие шины, электроды. Устанавливаются скользящие контакты. Бумажные элементы модели обычно склеиваются тушью. Шины лучше приклеивать клейкой лентой (рис.У.I3).

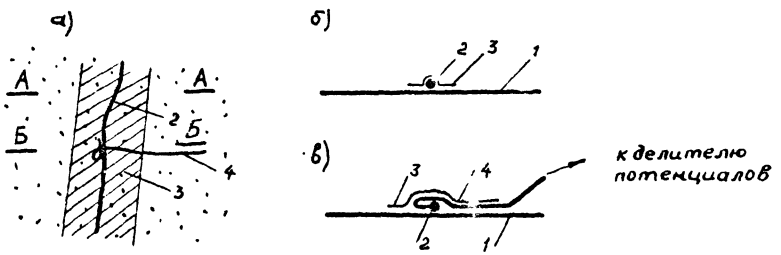


Рис.У.I3. Схема закрепления электропроводной шины на бумажной модели.

а) вид сверху; б) разрез по линии А-А; в) разрез по линии Б-Б; I - электропроводная бумага; 2 - электропроводная шина, 3 - клейкая лента; 4 - медный провод для подачи промежуточного потенциала на шину.

Для этих целей следует применять клейкую ленту для склеивания кино и фотопленка.

Далее подключают шины к делителю потенциалов, включают интегратор и производят отладку модели. При моделировании на ЭГДА 9/60 обязательно проверяют измерительным устройством потенциалы, поданные на модель, и при необходимости исправляют их.

У.53. После проверки и исправления потенциалов регулируются сопротивления, с помощью которых подается сила тока на модель. Регулировка производится в следующем порядке. Измеряются потенциалы в точках подключения этих сопротивлений к модели пласта. Затем в зависимости от измеренных потенциалов изменяется с помощью скользящего контакта величина сопротивления. После этого снова измеряются потенциалы в местах подключения сопротивлений к модели пласта, изменяется величина сопротивления и так далее - до совпадения последующей и предыдущей величины сопротивления. Следует сначала измерять потенциалы во всех местах подачи тока и только после этого изменять величины сопротивлений также во всех местах. Такой порядок работы обеспечивает наиболее быструю "подготовку" сопротивлений.

У.54. На отлаженной модели производится измерение потенциалов. Обычно измерение состоит в отыскании на модели пласта некоторых эквипотенциалей. Для этого нужное значение потенциала устанавливается на измерительном устройстве и щупом-иглой отыскиваются места с выставленным значением потенциала. Стрелка гальванометра на измерительном устройстве при этом должна устанавливаться на нуль. Следует искать такие эквипотенциали, которые соответствуют удобным значениям уровней грунтовых вод, например, кратные 1 или 0,5 м абсолютных отметок. Тогда на модели сразу получается нормальная карта гидроизогипс. Искомые значения потенциалов вычисляются по формуле (У.19) или (У.24).

У.55. При однослойном и трехслойном строении пласта от уровня грунтовых вод зависит проводимость пласта (верхнего слоя в трехслойном пласте). Поэтому после построения карты гидроизогипс необходимо пересчитать проводимость пласта, затем соответствующую ей электрическую проводимость модели пласта и некоторые дополнительные сопротивления, которые вычисляются в зависимости от проводимости пласта. По результатам пересчета вносятся изменения в электрическую модель. В некоторых случаях может оказаться более выгодным изготовить модель заново, после корректировки

модели снова производится ее отладка и измеряются потенциалы на ней (строится карта гидроизогипс). Далее повторяются все операции по уточнению модели до совпадения предыдущих и последующих результатов моделирования.

У.56. Конечной целью моделирования является, во-первых, определение планово-высотного положения дрен (т.е. положение в плане дренажных линий и точек и уровней воды в них), во-вторых, определение притока к дренам. Именно этим целям служит карта гидроизогипс, получаемая в результате моделирования. Сопоставляя карту гидроизогипс с требуемым положением уровней грунтовых вод на промплощадке, судят об эффективности действия проектируемого дренажа. Изменяя планово-высотное положение (а иногда и приток к дренам) и повторяя моделирование, добиваются в конечном счете удовлетворительного положения уровней грунтовых вод на промплощадке. Таким образом, подбирают нужное планово-высотное положение дрен.

У.57. Приток к дренам может быть определен двумя способами. Во-первых, по силе электрического тока, поступающего на модель дрены (на шину или электрод). Во-вторых, по карте гидроизогипс, полученной в результате моделирования. Первый способ может быть применен, если к шине (электроду) подключено некоторое заранее известное сопротивление, например, сопротивление несовершенства. Тогда измеряют падение потенциалов на этом сопротивлении $\Delta\bar{U}$ и вычисляют расход по формуле

$$Q = \frac{\Delta\bar{U}(H_{max} - H_{min})}{R}\,\alpha_2 \,, \qquad (У.46)$$

где $\Delta\bar{U}$ – разность потенциалов на концах сопротивления (в долях единицы от базового напряжения делителя потенциалов),

H_{max} и H_{min} – уровни, имеющие тот же смысл, что и в формулах (У.19) и (У.24).

Первым способом обычно можно определить только суммарный приток к дрене, чаще всего приток к точечной дрене (колодцу, скважине).

У.58. Вторым способом можно определить приток к дрене дифференцированно, по участкам. Для этого по карте гидроизогипс строят линии тока. С помощью этих линий разделяют весь поток,

поступающий к дрене, на отдельные полосы тока.

В пределах каждой полосы подсчитывается расход, в соответствии с обозначениями на рис.У.I4, по следующим формулам: в слу-

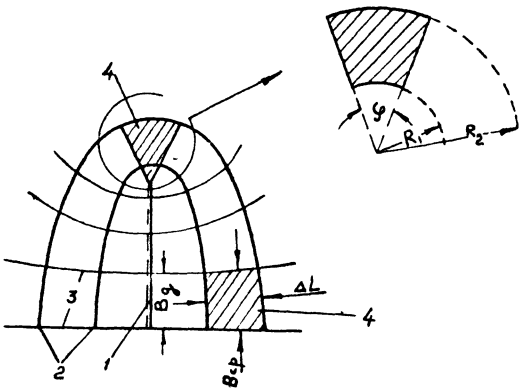


Рис.У.I4. Схема к расчету притока к дрене.
I - дрена;
2 - гидроизогипсы;
3 - линия тока;
4 - расчетный элемент потока

чае плоскопараллельного или близкого к нему потока

$$Q = \frac{\alpha_l}{\rho} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta L} \cdot B_{ср} \,, \qquad (У.47)$$

в случае радиального потока

$$Q = \varphi \frac{\alpha_l}{\rho} \cdot \frac{\Delta H}{\ell n \frac{R_2}{R_1}} \,, \qquad (У.48)$$

где ΔH - разность уровней на участке ΔL полосы тока где-то вблизи дренажной линии;

$B_{ср}$ - средняя ширина полосы на этом участке,

ρ - сопротивление бумаги на этом же участке,

α_l - масштаб сопротивлений,

R_1 и R_2 - радиусы, соответствующие границам участка полосы тока, на котором происходит падение уровня ΔH ,

φ - угол в радианах того сектора, которым является расчетная полоса тока.

Вычисленный по формулам (У.47) и (У.48) расход относят к ширине полосы тока на линии дренажа (B_g на рис.У.14).

§ 7. Приемы упрощения техники моделирования.

У.59. В некоторых частных случаях фильтрации техника моделирования может быть несколько упрощена с помощью ряда методических приемов, основанных на преобразовании исходных уравнений фильтрации.

а) В случае напорной фильтрации, в частности, при двухслойном строении пласта, применяют метод сложения течений.

Допускается применение этого метода к потокам со свободной поверхностью (в однослойном и трехслойном пластах), при относительно небольшом понижении грунтовых вод, когда проводимость пласта изменяется незначительно.

б) В случае потока со свободной поверхностью в однослойном пласте на горизонтальном водоупоре применяется линеаризация уравнения фильтрации по способу Багрова-Веригина.

в) В случае потока в горизонтально-слоистом пласте на горизонтальном водоупоре применяют потенциал Гиринского.

г) В двух предыдущих случаях линеаризация может быть дополнена методом сложения течений.

У.60. Метод сложения течений имеет следующее простое математическое выражение, справедливое для любой точки области фильтрации

$$H = H_e - \Delta H \ , \qquad (У.49)$$

$$Q = Q_e - \Delta Q \ , \qquad (У.50)$$

где H_e и Q_e – пьезометрический напор и фильтрационный расход в естественных условиях,

ΔH и ΔQ – изменение напора (понижение) и расхода (отбор) под влиянием дренажа;

H и Q – напор и расход при работе дренажа.

Для расчета методом сложения течений нужно обязательно иметь карту гидроизогипс в естественных условиях. При этом имеются в виду условия, существующие до строительства дренажа и учитывающие все уже действующие факторы, в том числе искусственные сооружения. "Естественной" картой гидроизогипс считается также карта, получаемая в результате прогноза повышения уровней грунтовых вод, если такой прогноз предварительно выполнен. Моделированием определяется только понижение уровней грунтовых вод ΔH .

Карта гидроизогипс в расчетных условиях, т.е. при работе дренажа строится на основе формулы (У.49).

У.61. Понижение ΔH моделируется также, как пьезометрические напоры. Отличие состоит лишь в форме выражения граничных условий в фильтрационной схеме. На границах области фильтрации, в том числе на внутренних границах, на линиях водотоков и дренажей, в точках дренажей и водозаборов вместо пьезометрических напоров (уровней) задаются понижения напоров ΔH, а вместо расходов - изменения расходов ΔQ.

Как правило повсюду, за исключением вновь проектируемых дренажей, $\Delta H = 0$ и $\Delta Q = 0$. На линиях и точках вновь проектируемых дренажей ΔH отсчитывается от естественных уровней грунтовых вод в этом месте. В качестве ΔQ принимается полный заданный расход Q дренажного сооружения.

Следует иметь ввиду, что при $\Delta Q = 0$ границы области фильтрации рассматриваются как непроницаемые стенки, а все существующие внутри области фильтрации водозаборы, дренажи и подобные сооружения с заданными в них $\Delta Q = 0$ вообще не учитываются. Не учитывается также естественное распределенное питание внутри области фильтрации. Задается только дополнительное питание, не учтенное в естественной карте гидроизогипс.

У.62. Линеаризация по способу Багрова-Веригина основывается на следующем преобразовании уравнения фильтрации:

для потока на горизонтальном водоупоре

$$q = T\frac{\partial h}{\partial x} = \kappa m\frac{\partial h}{\partial x} = \kappa\frac{\partial\left(\frac{h^2}{2}\right)}{\partial x}\ , \qquad (У.51)$$

где h - глубина потока,

x - линейная координата,

$T=\kappa m$ - проводимость пласта,

κ - коэффициент фильтрации.

В соответствии с этим преобразованием моделируются не уровни грунтовых вод, а функции

$$\varphi = \frac{h^2}{2}\ . \qquad (У.52)$$

В форме функции φ задаются все граничные условия первого рода в расчетной фильтрационной схеме. Кроме того, в качестве фильтрационных свойств в пласте вместо проводимости

задается коэффициент фильтрации в соответствии с преобразованием (У.51). В этом состоит основной смысл применения линеаризации. Коэффициент фильтрации не зависит от уровней грунтовых вод. Следовательно, отпадает необходимость уточнять модель пласта в ходе моделирования.

У.63. Построение модели и моделирование выполняются так, что значениям функции φ соответствуют уровни грунтовых вод, а коэффициенту фильтрации - проводимость пласта. В результате моделирования на модели пласта получают эквипотенциали, соответствующие тем или иным значениям функции φ. Следует искать такие эквипотенциали, которые соответствуют некоторым удобным значениям глубин потока согласно формуле (У.52). Тогда сразу получится карта гидроизогипс в удобной для употребления форме.

У.64. Метод сложения течений может быть применен и для функции φ, т.е. аналогично (У.49) и (У.50) можно записать

$$\varphi = \varphi_e - \Delta\varphi, \qquad (У.53)$$

$$Q = Q_e - \Delta Q, \qquad (У.54)$$

где φ_e и Q_e - функция φ и фильтрационный расход в естественных условиях, $\Delta\varphi$ и ΔQ - изменение функции φ и расхода под влиянием дренажа; φ и Q - функция φ и расход в расчетных условиях, т.е. при работе дренажа.

Для моделирования нужно иметь карту гидроизогипс в естественных условиях. С помощью формулы (У.52) она превращается в карту изолиний функции φ_e.

Величина $\Delta\varphi$ определяется моделированием. Далее с помощью формулы (У.53) строится карта изолиний функции φ в расчетных условиях, которая затем с помощью обратного пересчета по формуле (У.52) превращается в расчетную карту гидроизогипс.

У.65. Для моделирования функции $\Delta\varphi$ все граничные условия первого рода выражаются через значения $\Delta\varphi$, расчет их выполняется по формуле

$$\Delta\varphi = \varphi_e - \varphi. \qquad (У.55)$$

Как правило, везде, за исключением вновь проектируемых дренажных линий и точек, $\Delta\varphi = 0$

Все граничные условия второго рода и величина инфильтрационного питания выражается через ΔQ. Делается это так же, как

при моделировании ΔH (т.е. при прямом использовании метода сложения течений).

Показателем фильтрационных свойств пласта при моделировании функции $\Delta\varphi$ служит коэффициент фильтрации. Расчет параметров модели выполняется так, что значениям $\Delta\varphi$ соответствуют уровни грунтовых вод, ΔQ - полный расход, а коэффициенту фильтрации - проводимость пласта.

У.66. Потенциал Гиринского для слоистого пласта имеет следующее выражение:

$$G = -\sum_{i=1}^{n} \kappa_i m_i (h - z_i), \qquad (У.56)$$

где m_i и κ_i - мощность и коэффициент фильтрации i-го слоя,

z_i - расстояние от водоупора до середины этого слоя,

h - общая глубина потока.

Суммирование по формуле (У.56) производится в пределах обводненной мощности слоя. Для моделирования задаются все граничные условия первого рода в форме функции φ. Граничные условия второго рода как обычно выражаются в виде фильтрационного расхода. Проводимость пласта при использовании функции Гиринского является безразмерным показателем, численно равным единице во всей области фильтрации. После таких преобразований моделирование выполняется по изложенной выше методике.

ГЛАВА УI. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ДРЕНАЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УI.I. Гидравлические расчеты дренажных сооружений заключаются:

а) в горизонтальных дренах - в расчете их водоприемной способности, в подборе дренажных обсыпок, в расчете водопропускной способности дренажных труб, фильтра и фильтрующих постелей;

б) в вертикальных дренах - в подборе дренажных обсыпок, в расчете сифонных и эрлифтных систем водоотвода, в расчете водопропускной способности водоподъемных труб;

в) в комбинированных дренах - в подборе дренажных обсыпок и в расчетах водоприемной и пропускной способностей их горизонтальных и вертикальных элементов.

§ I. Расчет водоприемной поверхности дренажных труб.

IУ.2. Водоприемная поверхность дренажных труб (за исключе-

нием пористобетонных) устраивается в виде специальных водоприемных отверстий в стенках труб или зазоров на их стыках. В первом случае при проектировании водоприемной поверхности необходимо назначить форму и размер отверстий, определить их количество и схему размещения на поверхности трубы. Во втором случае проверяется допустимость использования зазоров в качестве водоприемных отверстий и определяется размер зазора.

УI.3. В о д о п р и е м н ы е о т в е р с т и я в с т е н к а х т р у б. Форма и размер отверстий назначаются в зависимости от способа их выполнения. В асбестоцементных и пластмассовых трубах отверстия просверливают или пропиливают. Диаметр круглых сверленых отверстий принимают не менее I–I,5 см, ширину щели – не менее 0,5–I см. Не следует пробивать отверстия, так как при этом существенно снижается прочность трубы.

В бетонных и железобетонных трубах отверстия выполняются одновременно с изготовлением труб. Для этого в местах размещения отверстий закладывают промасленные деревянные пробки, которые удаляют после схватывания бетона. Диаметр отверстий принимают не менее 2–2,5 см, иначе трудно удалять пробки из бетона.

УI.4. Количество водоприемных отверстий определяется гидравлическим расчетом; при этом различают: а) отверстия, расположенные в верхней или боковой частях трубы, и б) отверстия, расположенные в донной ее части.

На рис.УI.I приведена схема к гидравлическому расчету отверстий первого типа; при этом имеется в виду, что через отверстие происходит истечение воды из фильтрующей обсыпки во внутреннюю полость трубы, и оно сопровождается некоторыми потерями напора (h_0 – на рис.УI.I).

Задавая допустимую величину этих потерь, можно определить количество отверстий n на I п.м. трубы по формуле

$$n = \frac{q}{\mu F_0 \sqrt{2 g h_0}} , \qquad (УI.I)$$

где q – приток к дрене (на I п.м.), определяемый гидрогеологическим расчетом дренажа;

F_0 – площадь одного отверстия (для вертикальных щелей в расчет принимается площадь отверстия ниже уровня воды в трубе);

g – ускорение силы тяжести;

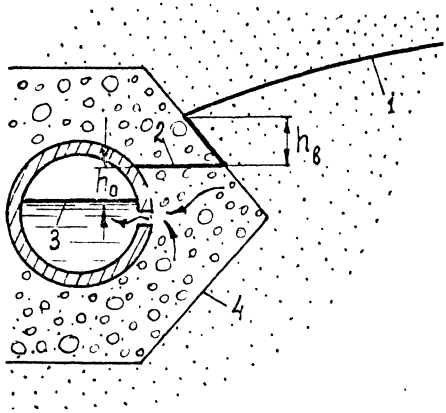


Рис.УI.I. Схема к гидравлическому расчету водоприемного отверстия трубы:
I - поверхность грунтовых вод в окружающем грунте (кривая депрессии); 2 - уровень воды в фильтрующей обсыпке, 3 - уровень воды в дренажной трубе; 4 - контур фильтрующей обсыпки; $h_в$ - участок высачивания на внешнем контуре фильтрующей обсыпки; h_0 - потери напора при истечении воды через водоприемное отверстие.

μ -коэффициент расхода.

УI.5. Коэффициент расхода отверстий первого типа (т.е. расположенных в верхней или боковой части трубы) определяется в зависимости от числа Рейнольдса и от отношения d_{17}/t_0, где t_0 - размер отверстия (диаметр или ширина щели, зазора), d_{17} - размер частиц обсыпки, соответствующий 17% их содержанию по кривой расчетного зернового состава. В расчетный состав включаются фракции крупнее 0,4 t_0 - в случае круглых отверстий и 0,6 t_0 - в случае щелей или зазоров.

Число Рейнольдса вычисляется по формуле

$$Re = \frac{t_0\sqrt{2gh_0}}{\nu}, \qquad (УI.2)$$

где ν - кинематический коэффициент вязкости, равный 0,0131 $см^2/с$ при температуре воды 10^0С.

Значения коэффициента расхода приведены в таблице УI.I.

Таблица УI.I

Re	d_{17}/t_o							
	0,4	0,65	I	I,5	2	3	4	6
10^5	0,33	0,27	0,2I	0,33	0,40	0,47	0,5I	0,55
10^4	0,3I	0,25	0,20	0,33	0,40	0,48	0,5I	0,55
$5\cdot10^3$	0,28	0,24	0,I9	0,32	0,40	0,48	0,52	0,56
$2\cdot10^3$	0,22	0,20	0,I7	0,29	0,36	0,45	0,48	0,53

УI.6. Расчет отверстий второго типа (расположенных в донной части трубы) выполняется: а) по условию предотвращения выноса фильтрующей обсыпки из-под трубы и б) по величине допустимых потерь напора. Из двух полученных значений принимается наибольшее количество отверстий.

Условие предотвращения выноса имеет вид

$$v_o \le 0{,}2\sqrt{g d_{10}}\ , \qquad (УI.3)$$

где v_o - скорость потока в отверстии, g - ускорение силы тяжести, d_{10} - размер частиц обсыпки, соответствующий 10% по кривой зернового состава.

Согласно условия (УI.3) количество донных отверстий на I п.м. дренажной трубы определяется по формуле

$$n \ge \frac{q}{F_o \cdot 0{,}2\sqrt{g d_{10}}}\ . \qquad (УI.4)$$

УI.7. Расчет донных отверстий по величине допустимых потерь напора выполняется по формуле (УI.I) с учетом следующих особенностей определения коэффициента расхода:

а) величина d_{17} выбирается из зернового состава грунта за исключением 10% мелких частиц, которые могут быть вынесены из-под трубы при соблюдении условия (УI.3);

б) в случае $d_{17}/t_o < I$ в расчет принимается значение коэффициента расхода при $d_{17}/t_o = I$.

УI.8. Допустимые потери напора h_o в формуле (УI.I) прини-

маются с учетом обеспечения максимальной эффективности водоприемной поверхности. В случае опасности химического зарастания отверстий величину потерь напора следует принимать не более 0,5-I см, учитывая возможность увеличения потерь по мере зарастания отверстий. Если принять минимальное значение коэффициента расхода из таблицы УI.I - $\mu = 0,I7$, то при этих условиях ориентировочно можно определить количество отверстий по формуле

$$n = \frac{q}{0,17 F_0 \sqrt{981 \cdot 1}} \approx 0,2 \frac{q}{F_0} , \qquad (УI.5)$$

где q - имеет размерность в $см^3/с$, F_0 - $см^2$.

УI.9. Формулой (УI.5) рекомендуется пользоваться для расчета количества отверстий в первом приближении. Если при этом общая площадь отверстий оказывается более I,0% от площади поверхности трубы, то следует определить количество отверстий более точно, по формуле (УI.I).

УI.I0. Размещение отверстий на поверхности трубы производится с учетом максимальной эффективности водоприемной поверхности и условий прочности трубы. Отверстия следует размещать не выше уровня воды в трубе, если это не требуется какими-либо особыми условиями. Расстояние между отверстиями желательно принимать не менее чем в I5-20 раз больше размера отверстия. Тогда отверстия практически не влияют на прочность трубы. В противном случае необходимо учитывать снижение прочности трубы под влиянием водоприемных отверстий. Коэффициент снижения прочности вычисляется по формуле

$$\kappa_\rho = \frac{\rho_n}{\rho} = 1 - \frac{t}{C} , \qquad (УI.6)$$

где ρ_n и ρ - прочность перфорированной и неперфорированной трубы; t - размер отверстий (вдоль трубы), C - расстояние между отверстиями (вдоль трубы).

УI.II. Зазоры на стыках труб. Возможность использования зазоров в качестве водоприемных отверстий проверяется гидравлическим расчетом. Схема к расчету показана на рис.УI.2. Необходимо, чтобы проницаемость фильтрующей обсыпки была в I0 и более раз выше проницаемости окружающего грунта. Тогда можно считать, что фильтрационный поток в обсыпке движется вдоль трубы от середины звена к зазорам. Движение потока в

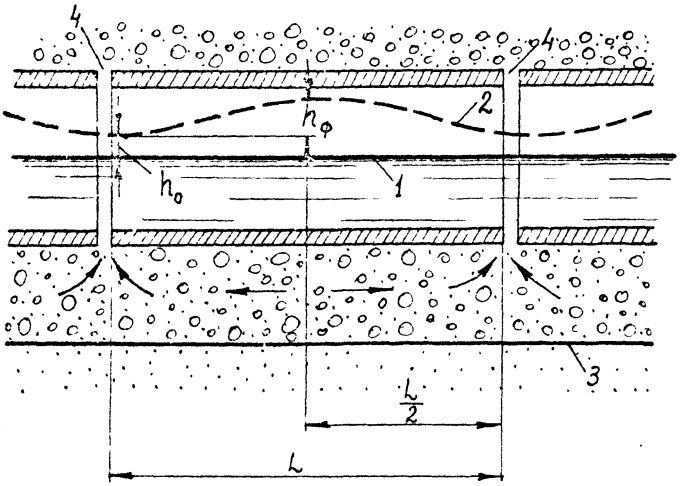


Рис.УI.2. Схема к гидравлическому расчету зазоров на стыках труб:
I - уровень воды в трубе; 2 - поверхность воды в фильтрующей обсыпке; 3 - контур фильтрующей обсыпки; 4 - зазор на стыке труб; h_φ - потери напора при движении воды в обсыпке к зазору; h_0 - потери напора при истечении воды через зазор.

обсыпке сопровождается потерями напора h_φ, величина которых может быть определена по формуле

$$h_\varphi = \frac{q L^2}{\kappa_\varphi F_\varphi \cdot 8}, \qquad (УI.7)$$

где L - длина трубы, т.е. расстояние между зазорами; q - приток на I м дренажной трубы, определяемой гидрогеологическим расчетом, F_φ - площадь потока в фильтрующей обсыпке, равная площади обсыпки ниже уровня воды в ней (или приближенно - ниже уровня воды в трубе); κ_φ - коэффициент фильтрации фильтрующей обсыпки.

УI.I2. Вычисленную по формуле (УI.7) величину потерь напора сравнивают с некоторой допустимой величиной $[h_\varphi]$, определяемой по условию эффективности работы дренажа. При отсутствии осо-

бых требований следует принимать допустимую величину потерь $[h_\varphi]$ не более 3-5 см.

Если $h_\varphi \leq [h_\varphi]$, то зазоры на стыках труб можно использовать в качестве водоприемных отверстий.

Если $h_\varphi > [h_\varphi]$, то следует предусматривать устройство специальных водоприемных отверстий.

УI.I3. Зазор, используемый в качестве водоприемного отверстия, следует оставлять открытым только в нижней части трубы, примерно на I/3 ее параметра. Верхняя часть зазора должна быть прикрыта или заделана во избежание просыпания грунта или обсыпки в трубу.

УI.I4. Необходимый размер определяется гидравлическим расчетом. Очевидно зазор работает как донное отверстие. Поэтому для его расчета используются формулы (УI.I) и (УI.4), которые применительно к зазору приобретают следующий вид:

$$F_j \geq \frac{q\ell}{0{,}2\sqrt{g d_o}} \quad ; \qquad (УI.8)$$

$$F_j \geq \frac{q\ell}{\mu\sqrt{2gh_o}} \quad , \qquad (УI.9)$$

где F_j - площадь зазора ниже уровня воды в трубе; q - приток на I п.м. дренажной трубы, ℓ - длина звена трубы (расстояние между зазорами), остальные обозначения даны в пояснениях к формулам (УI.I) и (УI.4), а коэффициент расхода определяется по пункту УI.7.

Из двух значений F_j принимают наибольшее и в зависимости от рабочей длины зазора (через которую вода поступает в трубу) определяют необходимую ширину зазора.

Пример УI.I. На рис.УI.3 дана конструктивная схема дренажа с асбестоцементной трубой. Длина звена трубы ℓ = 3 м; зерновой состав фильтрующей обсыпки показан на рис.УI.4. Коэффициент фильтрации обсыпки κ_φ = I800 м/сут = 2,08 см/с, приток к дренажу составляет q = 2,3 м^3/(сут·м) = 0,266 см^3/(с·м).

Т р е б у е т с я рассчитать водоприемную поверхность дренажной трубы.

В а р и а н т I. Вначале проверим возможность использования в качестве водоприемных отверстий зазоров на стыках труб. Для расчета по формуле (УI.7) вычисляем площадь потока в фильтрующей

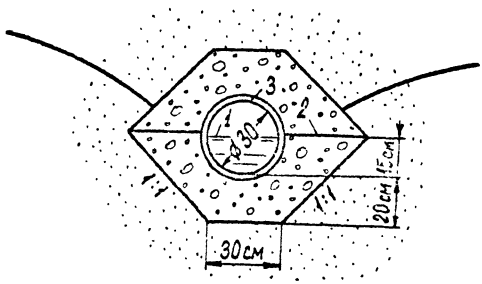


Рис.УI.3. Конструктивная схема дренажа:
I - уровень воды в трубе;
2 - уровень воды в фильтрующей обсыпке;
3 - труба.

обсыпке. Согласно рис.УI.3:

$$F_ф = (30 + 35) \cdot 35 - \frac{I}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 32^2 = I765 \text{ см}^2.$$

По формуле (УI.7) находим

$$h_ф = \frac{0{,}266 \cdot 300^2}{2{,}08 \cdot I765 \cdot 8} = 0{,}8I \text{ см}$$

Так как потери незначительны, то зазоры на стыках можно использовать в качестве водоприемных отверстий.

По формуле (УI.8) вычисляем необходимую площадь зазора, предварительно найдя по рис.УI.4 (кривая 2) $d_{I0} = 0{,}29$ см.

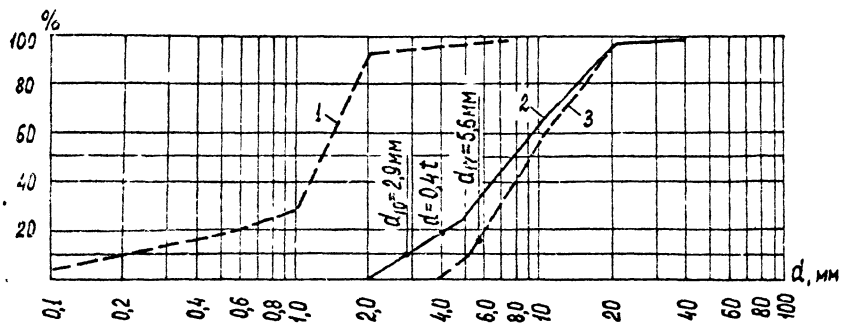


Рис.УI.4. Кривые зернового состава грунта и обсыпки:
I - кривая для грунта; 2 - кривая для обсыпки; 3 - то же, за исключением частиц меньше 0,4 t_o .

$$F_э = \frac{0{,}266 \cdot 300}{0{,}2 \cdot \sqrt{981 \cdot 0{,}29}} = 23{,}7 \text{ см}^2.$$

По формуле (УI.7) площадь будет заведомо меньше.

Зазор прикрываем сверху на 2/3 периметра трубы. Длина открытой части зазора равна:

$$\ell_э = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 33 = 34{,}6 \text{ см}$$

Необходимая ширина зазора:

$$\delta_э = \frac{F_э}{\ell_э} = \frac{23{,}7}{34{,}6} = 0{,}69 \text{ см}$$

В а р и а н т 2. Стыки перекрыты муфтами; водоприемные сверленые отверстия предусматриваются в стенках трубы. Диаметр отверстия принимаем $t_о = 1{,}0$ см; его площадь $F_о = 0{,}785$ см^2.

Для расчета количества отверстий предварительно принимаем $h_о = 0{,}5$ см. По формуле (УI.2) находим:

$$Re = \frac{1{,}0 \cdot 2 \cdot 981 \cdot 0{,}5}{0{,}0131} = 2390.$$

В составе фильтрующей обсыпки выделяем часть с частицами крупностью более 0,4 $t_о = 0{,}4$ см, и в выделенной части (кривая 3 на рис.УI.4) находим $d_{17} = 5{,}6$ мм.

При $\frac{d_{17}}{t_о} = \frac{5{,}6}{10} = 0{,}56$ и $Re = 2390$ находим по таблице УI.1. $\mu = 0{,}21$.

По формуле (УI.1) вычисляем необходимое количество отверстий на 1 п.м. дренажной трубы

$$n = \frac{26{,}6}{0{,}21 \cdot 0{,}785 \cdot 2 \cdot 981 \cdot 0{,}5} = 5{,}15.$$

Принимаем $n = 6$.

Для сравнения подсчитаем количество отверстий по приближенной формуле (УI.4):

$$n = 0{,}2 \cdot \frac{26{,}6}{0{,}785} = 6{,}8$$

Отверстия размещаем с двух сторон трубы, а расстояние между ними в ряду принимаем $\ell_о = 30$ см.

§ 2. Подбор и расчет дренажных обсыпок

УI.15. Дренажные обсыпки в горизонтальных дренажах и в фильтрах вертикальных дрен подбирают так, чтобы частицы дренируе-

мого грунта не выносились и не кольматировали обсыпки, а трубы и фильтры не засорялись. Это достигается соответствующим подбором состава фильтрующих обсыпок и постелей и их толщины.

УI.I6. Материалы, предназначаемые для фильтрующих обсыпок и постелей, должны удовлетворять требованиям прочности, морозостойкости и коррозионной устойчивости (последнее требование особенно важно для территорий промышленных предприятий, где возможно попадание в грунт агрессивных промышленных стоков).

Для устройства фильтрующих обсыпок и постелей рекомендуется применять природные пески и гравий, а также щебень крепких горных пород. Форма отдельных частиц гравия и щебня должна приближаться к сферической или кубической, при этом следует избегать применения частиц игловатой и плитчатой формы. Наиболее пригодным для изготовления щебня следует считать породы:

а) из изверженных - граниты, сиениты, диориты, габбро, порфиры, липариты, базальты, диабазы и другие с плотностью 2,3-2,7 г/см^3;

б) из осадочных - особо прочные разности кремнистых известняков и крепких песчаников с плотностью 2,0-2,4 г/см^3, при временном сопротивлении на сжатие не менее 600 кгс/см^2.

В условиях высоких температур, например, на металлургических заводах под регенераторами мартеновских печей, перекидными клапанами и боровами, известняк в качестве материала для фильтрующих постелей не может быть использован из-за возможности превращения его в окись кальция и выщелачивания дренажной водой, что может привести к осадке защищаемого сооружения.

УI.I7. Прочность гравия и щебня должна соответствовать марке не ниже У-50 по сопротивлению удару на копре ПМ (ГОСТ 8267-75 и ГОСТ 8268-74).

Крупнозернистые и среднезернистые пески должны отвечать требованиям ГОСТа 8736-77. Материалы для обсыпок и постелей не должны содержать частиц $d < 0,I$ мм более 3-5% по весу, размокать и растворяться в воде. При содержании глинистых частиц более 2% гравийно-песчаный материал должен быть промыт водой.

а) Подбор обсыпок в горизонтальных дренажах

УI.I8. Для подбора состава фильтрующих обсыпок в дренажах горизонтального типа рекомендуется пользоваться расчетными графиками Б.С.Истоминой (ВНИИ ВОДГЕО), составленными применительно к

составу дренируемых грунтов (связные и несвязные) и различным схемам движения воды.

УI.I9.В условиях песчаных и гравелистых грунтов с коэффициентом неоднородности $\eta_з = d_{60}/d_{10} \leq 10$ и средним диаметром $d_{50} > 0{,}15$ мм, при движении воды сверху вниз, подбор первого слоя фильтра следует производить, используя графики (рис.УI.5 и рис. УI.6), выражающие зависимости $D^{I}_{50}/d_{50} = f(\eta_ф)$.

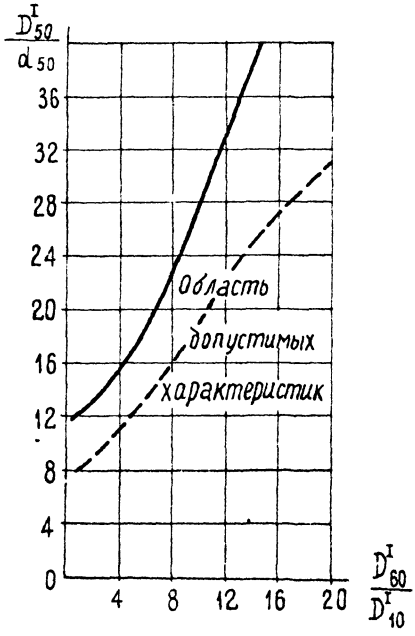


Рис.УI.5. График для подбора первого слоя фильтра из гравелистых материалов при его толщине $h_{сф} \geq 8D_{50}$ и движении воды сверху вниз.

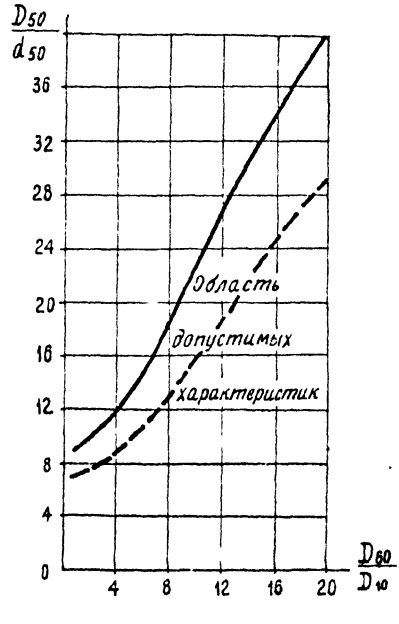


Рис.УI.6. График для подбора первого слоя фильтра из щебенистых материалов при его толщине $h_{сф} \geq 6D_{50}$ и движении воды сверху вниз.

Здесь сплошной линией проведены осредненные кривые, пунктирной огибающие. При пользовании сплошными линиями расчет ведется для осредненного состава грунтов.

При пользовании огибающими (пунктирными) линиями подбор и проверка выполняется с запасом. Здесь D_{50}^{I}, d_{50} - средние диаметры частиц для смежных грунтов (соответственно фильтра и дренируемого грунта); D_{60}^{I}, d_{60} - контролирующие диаметры частиц; D_{10}^{I}, d_{10} - действующие диаметры частиц; $\eta_г$ - коэффициент неоднородности дренируемого грунта; $\eta_ф$ - коэффициент неоднородности фильтрующей обсыпки (слоя фильтра).

УI.20. В тех же условиях ($\eta_г \leq 10$ и $d_{50} = 0{,}15 \div 0{,}7$ мм), но при движении воды снизу вверх, основываясь на требовании отсутствия контактного выпора более мелкозернистого грунта в поры более крупного, подбор первого слоя обсыпки может быть выполнен по графику, изображенному на рис.УI.7.

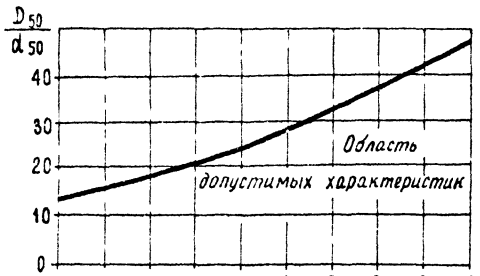


Рис.УI.7. График для подбора первого слоя фильтра в песчаных грунтах при движении воды снизу вверх (при $J_{доп} \leq 1{,}5 \div 2{,}0$; $D_{60}^{I}/D_{10}^{I} \leq 10$).

УI.21. При движении воды сбоку, исходя из недопустимости контактного размыва более мелкозернистого грунта, подбор первого слоя обсыпки для горизонтального дренажа, также заложенного в песчаные грунты (при коэффициенте неоднородности $\eta_г \leq 10$ и среднем диаметре частиц $d_{50} = 0{,}15 \div 0{,}7$ мм), может быть выполнен по графику изображенному на рис.УI.8. Коэффициент неоднородности фильтрующих обсыпок, защищающих несвязные грунты, рекомендуется принимать не больше 10, т.е. $\eta \leq 10$.

УI.22. При дренировании гравийно-галечниковых отложений, имеющих песчаный заполнитель (в количестве 10-20% по весу с коэффициентом неоднородности $\eta_г > 10$ и с коэффициентом фильтрации $K_г < 40$ м/сут) для подбора первого слоя обсыпки необходимо предварительно выделять "расчетную" часть грунта с $\eta \approx 10$ (считая от мелких частиц). Расчетная часть выделяется отсевом из

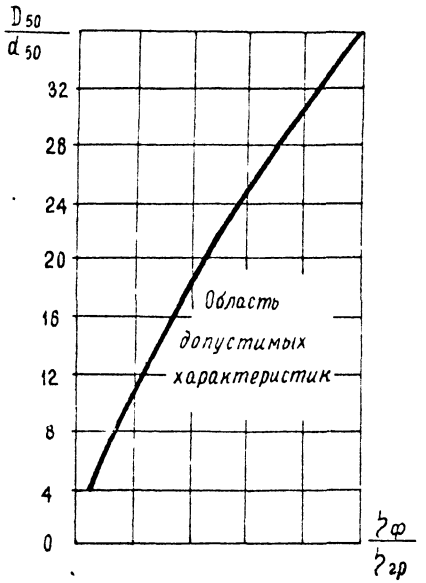


Рис.УI.8. График для подбора первого слоя фильтра в песчаных грунтах, при движении воды сбоку (при $\gamma_{доп} \leq 1{,}3$; $d_{60}/d_{10} \leq 10$; $D^{I}_{60}/D^{I}_{10} \leq 10$).

грунта более крупных частиц до состава, отвечающего данному условию. Для этой расчетной части и производится далее подбор первого слоя обсыпки с использованием графиков, приведенных на рис.УI.5, УI.6 и УI.7.

УI.23. В суглинистых грунтах с числом пластичности $W_п \geq 7$ крупность первого слоя обсыпки (независимо от схемы движения воды) может быть подобрана по графику, изображенному на рис.УI.9, а в супесчаных грунтах с числом пластичности $W_п$ = 3÷6 - по графику, приведенному на рис.УI.10. При этом коэффициент неоднородности фильтра также должен быть не больше 10, т.е. $\rho_ф \leq 10$.

УI.24. Если галечниковый и гравелистый грунт, предназначенный для фильтрующей обсыпки, имеет песчаный заполнитель и коэффициент неоднородности $\rho_ф > 10÷20$, то подбор первого слоя фильтра в суглинках и супесях можно выполнять соответственно по графикам на рис.УI.9 и УI.10. Однако при этом характеристика "скелетов" гравелистых и галечниковых грунтов с $\rho_ф > 10÷20$ при-

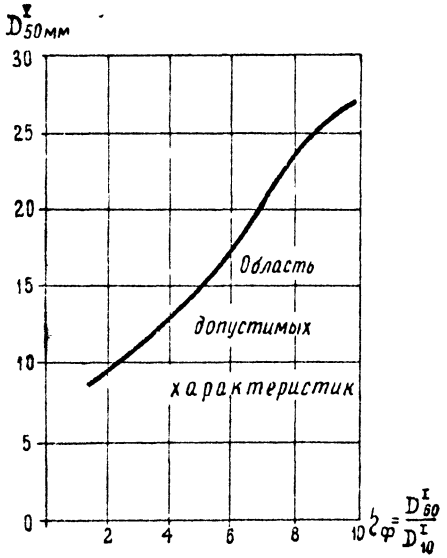


Рис.УI.9. График для подбора первого слоя фильтра в суглинистых грунтах (с числом пластичности $W_п \geq 7$) при любой схеме движения воды

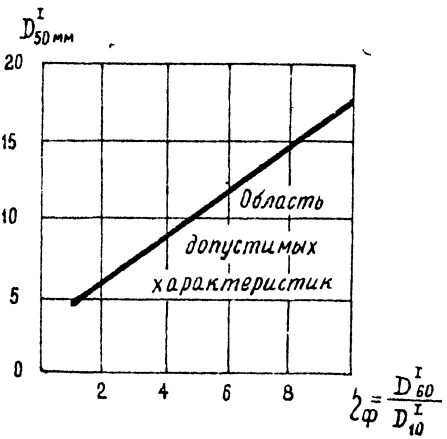


Рис.УI.IO. График для подбора первого слоя фильтра в супесчаных грунтах (с числом пластичности $W_п$ = 3÷6) при любой схеме движения воды.

равниваются к характеристикам гравелистых материалов с $\eta_\varphi \leq 10$, т.е. для этих случаев на графиках (см.рис.УI.9 и УI.10) следует принимать $D^I_{50\,ск} = D^I_{50}$ и $\rho_{\varphi\,ск} = \rho_\varphi$. Деление грунта на "скелет" и "заполнитель" производится по размерам частиц. Частицы размером < I мм относятся к "заполнителю", а частицы > I мм - к скелету.

Подбор второго и третьего слоев фильтра производится по выше приведенным графикам (см.рис.УI.5, УI.6 и УI.7), принимая первый слой обсыпки за дренируемый грунт.

УI.25. Толщина слоев фильтра в горизонтальных дренажах выбирается в пределах $h_\varphi \geq 2D_{50} - 2D_{80}$, но исходя из условий производства работ, она не должна приниматься менее 0,I м, лучше же - 0,I5-0,20 м.

Пример IУ.2. Дренируемый пласт представлен пылеватым песком состава, показанного на рис.УI.II (кривая I). Имеем:
d_{min} = 0,02 мм; d_{10} = 0,05 мм; d_{50} = 0,I7 мм; d_{60} = 0,2 мм;

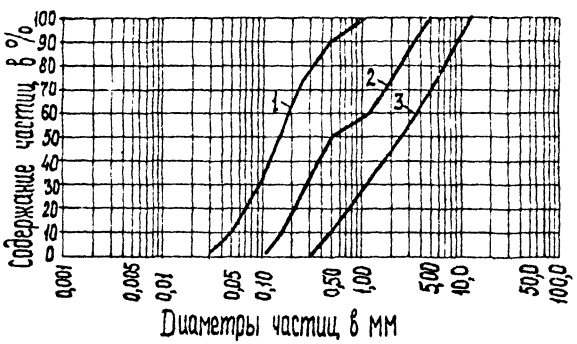


Рис.УI.II. Кривые зернового состава дренируемого песчаного грунта (кривая I) и фильтра (кривые 2 и 3) (к примеру УI.2).

d_{max} = I мм; $\eta_2 = \dfrac{d_{60}}{d_{10}} = 4$. Необходимо подобрать первый слой фильтрующей обсыпки при движении воды сверху вниз. Задаемся коэффициентом неоднородности обсыпки $\rho_\varphi = D^I_{60}/D^I_{10} = 8$; при этом отношение D^I_{50}/d_{50} может быть принято в пределах 3-I5 (см. рис.УI.5).

Вначале рассчитаем кривую зернового состава обсыпки при

$D^I_{50} / d_{50} = 3$, имея ввиду, что дренируемый грунт имеет d_{50}=0,17мм (см.рис.УI.II, кривая I).

Тогда $D^I_{50} = 0,17 \times 3 = 0,5I$ мм.

Учитывая, что частиц $d < 0,I$ мм в обсыпке не должно быть больше 3%, принимаем $D^I_{10} = 0,I5$ мм, а D^I_{60} получим - -0,15·8 = I,2 мм. D^I_{max} принимаем равным ≈ 5 мм. Зная D^I_{10}, D^I_{50}, D^I_{60} и D^I_{max} строим первую граничную кривую зернового состава обсыпки (см.рис.УI.II, кривая 2).

Подобным же образом строим и вторую граничную кривую при $D^I_{50}/d_{50} = I5$.

Определяем $D^I_{50} = 0,17 \cdot I5 = 2,55$ мм. Тогда D^I_{60} может быть принято 3,5÷4 мм, а $D^I_{10} = 4:8 = 0,5$ мм. D^I_{max} принимаем равным I0-I5 мм. По полученным значениям D^I_{10}, D^I_{50}, D^I_{60} и D^I_{max} строим вторую граничную кривую зернового состава обсыпки (см. рис.УI.II, кривая 3).

Фильтрующие материалы, заключенные между кривыми 2 и 3 могут быть использованы для первого слоя обсыпки при заданном коэффициенте неоднородности, равном 8. Проверяем пригодность фактически имеющегося карьерного материала для обсыпки следующим образом.

Зная зерновой состав дренируемого грунта и карьерного, предназначенного для фильтра, определяем отношение D^I_{50}/d_{50} и коэффициент неоднородности карьерного грунта D^I_{60}/D^I_{10} и на графике (см.рис.УI.5) находим точку пересечения этих значений. Если эта точка лежит в области допустимых значений, то такой материал может быть использован для обсыпки. В противном же случае он нуждается в соответствующей обработке (путем отсева либо крупных, либо мелких частиц, или же, наоборот, их добавки).

Пример УI.3. Дренируемый грунт представлен суглинком с числом пластичности W_n = 0,3; его зерновой состав показан на рис. УI.I2.

Необходимо подобрать первый слой обсыпки.

Задаемся коэффициентом неоднородности обсыпки $D^I_{60}/D^I_{10} = 8$. При этом коэффициенте неоднородности (см.графич. рис.УI.9) может быть равным I-23 мм. При значении $D^I_{50} = I$, D^I_{60} может быть равным примерно I,5 мм, а $D^I_{10} = \frac{I5}{8} = 0,I9$ мм, D^I_{max} примем равным 5 мм.

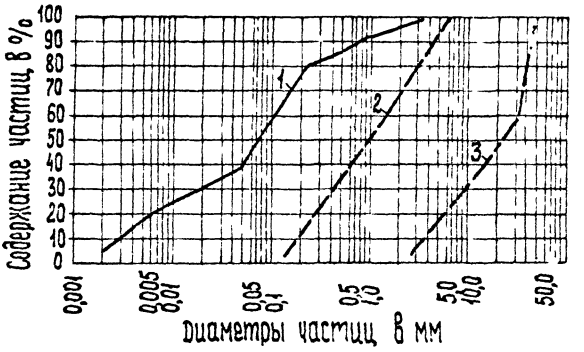


Рис.УI.I2. Кривые зернового состава дренируемого суглинистого грунта (кривая I) и фильтра (кривые 2 и 3) (к примеру УI.3).

По принятым значениям D_{10}^{I}, D_{50}^{I}, D_{60}^{I} и D_{max}^{I} строим первую граничную кривую зернового состава обсыпки (см.рис.УI.I2, кривая 2).

Вторую граничную кривую получим при значении D_{50}^{I} = 23 мм. В этом случае D_{60}^{I} может быть равным примерно 30 мм, а $D_{10}^{I} = \frac{30}{8} = 3{,}75 \approx 4$ мм. D_{max}^{I} примем равным 50-60 мм.

По принятым значениям строим вторую граничную кривую обсыпки (см.рис.УI.I2, кривая 3).

Материалы заключенные между кривыми 2 и 3 могут быть применены для первого слоя обсыпки при условии, что $\eta_{ф} = D_{60}^{I}/D_{10}^{I} = 8$.

Проверка пригодности фактически имеющегося карьерного материала. предназначенного для обсыпки, производится по графикам (см.рис.УI.9 и УI.I0).

Если точка пересечения коэффициента неоднородности материала и его среднего диаметра D_{50}^{I} лежит в области допустимых значений, то он пригоден для обсыпки. В противном же случае материал должен быть подвергнут соответствующей обработке или должен быть подобран другой более подходящий карьер.

б) Подбор обсыпок в вертикальных дренажах[x)]

УI.26. Вертикальные дренажи оборудуются фильтрами с гра-

x) Раздел б) данного параграфа написан В.И.Фоменко.

вийной обсыпкой при их заложении в водоносных горизонтах, представленных тонкозернистыми и мелкозернистыми песками, а при неустойчивом химическом составе подземных вод - и более крупными разностями песков. В случае слоистого строения водоносного горизонта и наличии в разрезе прослоев тонкозернистых или мелкозернистых песков, а также при дренировании гравийно-галечниковых пород с большим количеством мелкозернистого заполнителя также следует применять гравийные фильтры.

УI.27. Основной задачей расчета гравийных фильтров является выбор оптимального состава и толщины обсыпок, обеспечивающих в различных гидрогеологических условиях получение максимальных дебитов дрен и нормальные условия работы насосного оборудования.

УI.28. Определяющим фактором при выборе параметров обсыпок в вертикальных дренах является зерновой состав дренируемых грунтов; при этом по характеру распределения фракций грунты разделяют на суффозионные и несуффозионные.

Несуффозионные грунты характеризуются нормальным законом распределения фракций и имеют выпуклые дифференциальные кривые.

Суффозионные грунты характеризуются более сложным законом распределения частиц, имеют дифференциальные кривые с резкими прогибами и даже разрывами в содержании отдельных фракций.

УI.29. Для оценки суффозионной устойчивости грунта вначале строится дифференциальная кривая зернового состава. Если кривая одновершинная, т.е. не имеет резких прогибов и разрывов, то грунт является несуффозионным, в противном же случае он может быть суффозионным. Далее необходимо разделить фракционный состав грунта по месту разрыва или прогиба дифференциальной кривой на скелет и заполнитель, подсчитать процентное содержание отдельных фракций в заполнителе и скелете грунта по зависимости

$$p_i = \frac{p}{n_i} \cdot 100\%, \qquad (\text{УI.9})$$

где p_i - содержание отдельных фракций в заполнителе или скелете грунта; p - содержание отдельных фракций в исходном грунте; n_i - процентное содержание заполнителя или скелета в грунте; i - индекс, обозначаемый "з" при расчете состава заполнителя и "ск" - скелета. Затем следует построить интегральные кривые гранулометрического состава скелета и заполнителя, определить средний диаметр частиц заполнителя по интегральной кривой и расчетную пористость скелета согласно формуле

$$m_{ск} = \left(1 - \frac{\delta n_{ск}}{\gamma}\right) 100\% \quad , \qquad (\text{VI.10})$$

где δ, γ - соответственно объемная масса и плотность грунта;
$n_{ск}$ - процентное содержание скелета в грунте. После этого необходимо определить геометрический критерий суффозионной устойчивости:

$$\xi^* = 0{,}4 \frac{m_{ск}}{1 - m_{ск}} \cdot \sqrt{\eta_{ск}} \frac{D_{17}^{ск}}{d_{50}^{зап}} \quad , \qquad (\text{VI.11})$$

где $D_{17}^{ск}$ - расчетный диаметр частиц скелета; $d_{50}^{зап}$ средний диаметр частиц заполнителя; $\eta_{ск}$ - коэффициент неоднородности зернового состава скелета.

Если ξ^* больше допустимого структурного коэффициента ξ (рис.VI.13), то грунт является суффозионным.

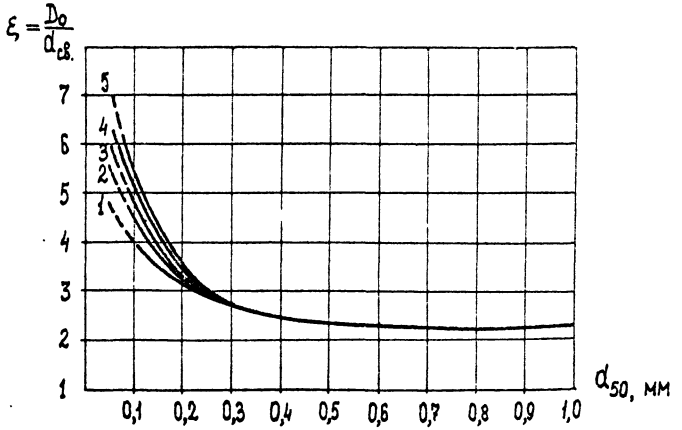


Рис.VI.13. График зависимости допустимого структурного коэффициента ξ от коэффициента неоднородности η и среднего размера частиц грунта d_{50}: I- η =I; 2- η =2; 3- η =3; 4- η =5; 5- η = I0.

УI.30. Суффозионные грунты в свою очередь делятся на два типа. Для грунтов первого типа характерно небольшое содержание заполнителя (менее 20-30%) и, кроме того, расчетная пористость скелета меньше максимально возможной пористости , соответствующей на графике (рис.УI.I4) верхней огибающей кривой. Поэтому

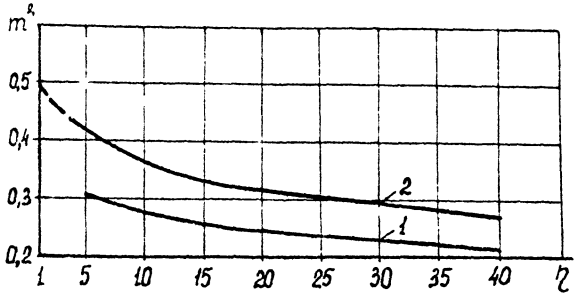


Рис.УI.I4. График зависимости пористости грунта m^{ϵ} от коэффициента неоднородности η : I и 2 - ограничивающие кривые, соответствующие минимально и максимально возможным значениям пористости.

вынос заполнителя не опасен для устойчивости прифильтровой зоны дренажа. В грунтах второго типа уже содержится до 40-50% заполнителя и $m_{ск} > m^{\epsilon}$, что создает опасность разрушения прифильтровой зоны при развитии суффозии. Приводимый ниже способ оценки суффозионной устойчивости грунта основан на учете эффекта сводообразования частиц заполнителя в порах скелета. В случае уменьшения содержания заполнителя до I0-20% и рыхлого сложения скелета эффект сводообразования проявляется в ослабленном виде, поэтому для оценки суффозионной устойчивости грунта следует использовать условие В.Н.Кондратьева

$$0{,}4\,\frac{m_{ск}}{1-m_{ск}}\sqrt{\eta_{ск}}\,\frac{D_{17}^{ск}}{d_{50}^{зап}} < 1, \qquad (УI.I2)$$

где $d_{50}^{зап}$ - диаметр частиц заполнителя, меньше которых в его составе содержится 50% по весу.

Если неравенство (УI.I2) выполняется, то грунт является несуффозионным.

Подбор обсыпок производится раздельно для несуффозионных и суффозионных грунтов.

УI.3I. При подборе параметров обсыпок для несуффозионных грунтов вначале следует с помощью графика (рис.УI.I5) и интегральной кривой фракционного состава грунта определить размер сводообразующих частиц $d_{св}$, а

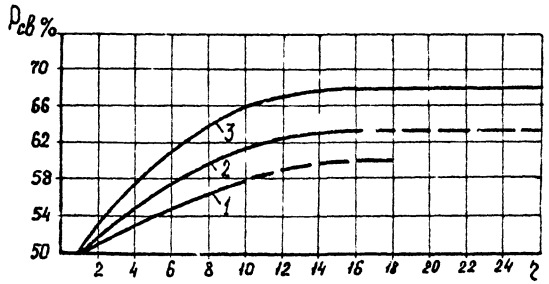


Рис.УI.I5. График зависимости процентного содержания сводообразующих частиц $P_{св}$ от коэффициента неоднородности грунта η :
I - тонкозернистый песок; 2 - мелкозернистый песок;
3 - среднезернистый и крупнозернистый песок.

затем по графику на рис.УI.I3 рассчитать допустимый структурный коэффициент ξ. Далее следует найти расчетный диаметр частиц максимально допустимой по крупности обсыпки

$$D_{17}^{max} = \frac{2{,}4 \cdot \xi \cdot d_{св}}{a^* \frac{m}{1-m} \sqrt[3]{\eta}} , \qquad (УI.I3)$$

где a^* - параметр, учитывающий разнозернистость и расслоение обсыпок; m - пористость обсыпки.

Для расчета параметра a^* используется зависимость

$$a^* = c\left[1 + b(\eta - 1)\right] , \qquad (УI.I4)$$

где b - величина, зависящая от толщины обсыпки ℓ (при $\ell >$ 10÷20 см b = 0,02, при $\ell \leq$ 5÷I0 см b = 0,046); c - коэффициент расслоения обсыпки, зависящий от способа ее загрузки в

скважину; η - коэффициент неоднородности обсыпки.

Значения коэффициента С принимаются в соответствии с табл.УI.2.

Таблица УI.2

Способ загрузки гравия	Коэффициент неоднородности обсыпки, η	Коэффициент расслоения обсыпки, С
Гидравлический способ загрузки гравия или гравитационный с большой интенсивностью	I÷5	I÷I,I
	5÷I0	I,I÷I,2
Гравитационный способ загрузки гравия малыми порциями	I÷3	I÷I,2
	3÷5	I,2÷I,3

Пористость обсыпки рекомендуется определять в зависимости от ее коэффициента неоднородности с помощью графика, рис.УI.I6.

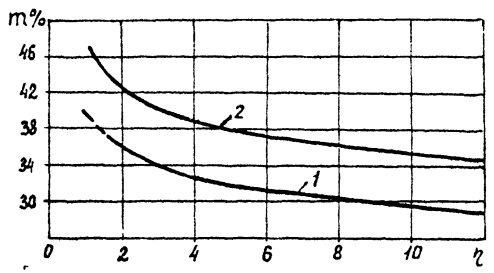


Рис.УI.I6. График зависимости пористости обсыпки m от ее коэффициента неоднородности η: I,2 - ограничивающие кривые, соответствующие минимальным и максимальным значениям пористости.

На этом графике максимальные значения пористости соответствуют обсыпкам, загружаемым в скважину с высокой интенсивностью, а минимальные - обсыпкам, загружаемым гидравлическим способом. При загрузке обсыпок отдельными порциями с малой интенсивностью пористость обсыпки принимается средней из указанных предельных значений.

Далее определяется расчетный диаметр частиц минимально допустимой по крупности обсыпки

$$D_{17}^{min} = \sqrt{\frac{0{,}3\alpha\alpha^{o}\nu K_{2}(1-m)^{2}}{m^{3}\rho^{0{,}5}}}, \qquad (\text{УI.I5})$$

где K_2 - коэффициент фильтрации грунта; ρ - коэффициент неоднородности обсыпки; α, α^{o} - безразмерные параметры, зависящие соответственно от коэффициента фильтрации грунта и толщины обсыпки; ν - коэффициент кинематической вязкости воды. Значения α и α^{o} принимаются равными:

α = 20 - при $K_2 < 5$ м/сут ; α^{o} = 2-3 - при $\ell > 20$ см;
α = 30 - при K_2 = 5÷20 м/сут ; α^{o} = 3-5 - при $\ell \leqslant$ I0-20 см;
α = 40 - при $K_2 > 20$ м/сут ;

С целью ускорения расчетов вместо формул (УI.I3 и УI.I5) можно использовать номограммы (рис.УI.I7 и УI.I8).

Для расчета состава обсыпки предварительно следует задаться ее коэффициентом неоднородности, который принимается в зависимости от способа загрузки гравия в скважину. При гравитационном способе загрузки гравия малыми порциями коэффициент неоднородности обсыпки следует принимать равным I-5, а при гидравлическом способе и гравитационном с большой интенсивностью - допустимо его увеличение до 5-I0. При известных значениях расчетных диаметров частиц обсыпки и коэффициенте неоднородности можно рассчитать ее состав с использованием эталонных кривых несуффозионных обсыпок, представленных на рис.УI.I9. Результатом расчета является определение расчетной области возможных составов обсыпок с предварительно заданным коэффициентом неоднородности. Если кривые естественного или искусственного гранулированного материала располагаются в пределах расчетной области, или пересекают ограничивающие кривые в точках, отвечающих процентным содержаниям фракций менее 3-5% или более 90-95%, то этот материал можно использовать в качестве обсыпки. Если же последнее условие не соблюдается, то нужно проверить его выполнение при изменении коэффициента неоднородности обсыпки. В противном случае возникает необходимость в переработке исходного материала.

УI.32. Подбор параметров обсыпок для суффозионных грунтов необходимо производить с учетом их типа.

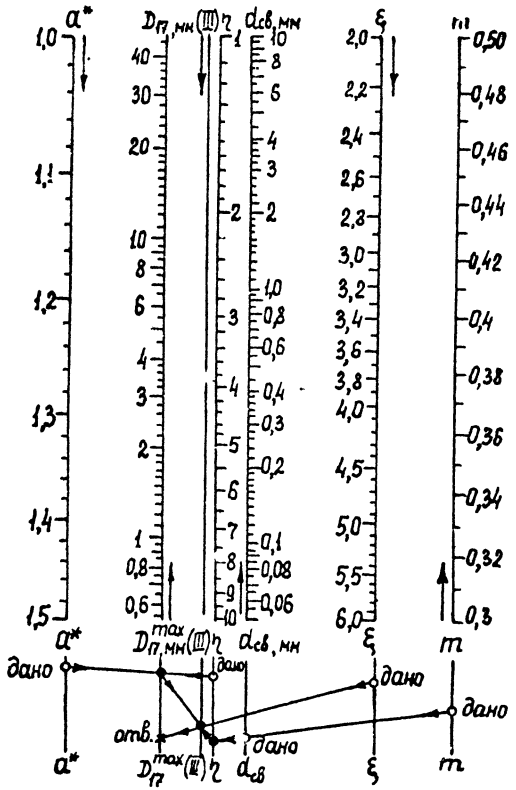


Рис.VI.I7 Номограмма для определения D_{17}^{max} по формуле (VI.I3)

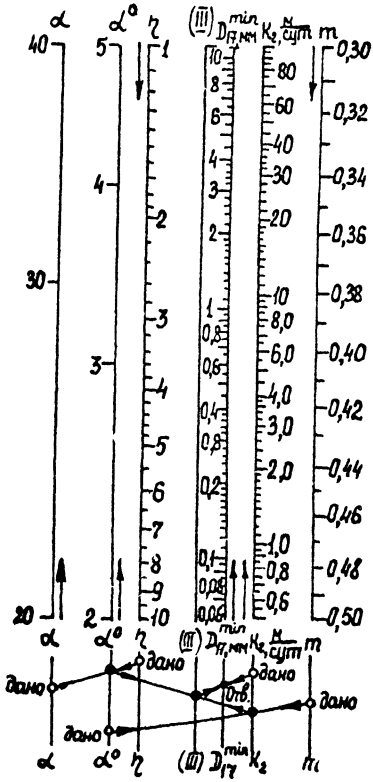


Рис.УI.I8. Номограмма для определения D_{π}^{min} по формуле (УI.I5).

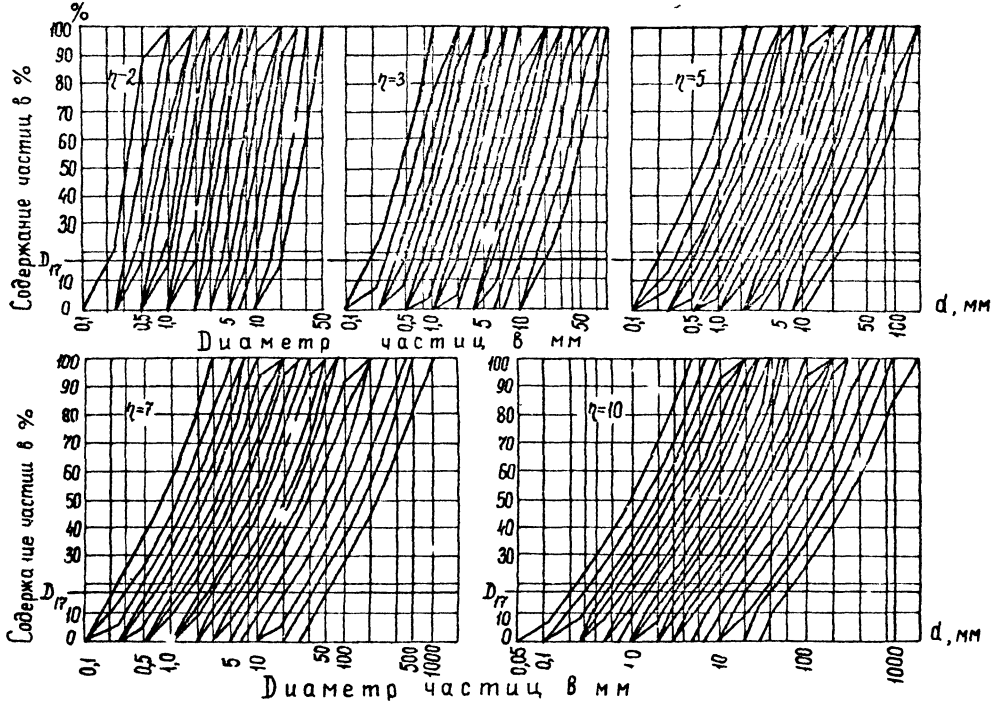


Рис.УI.I9. Эталонные кривые оптимальных по составу обсыпок при заданном их коэффициенте неоднородности.

а) Подбор обсыпок для суффозионных грунтов I типа. Суффозионные грунты I типа характеризуются особенностью, заключающейся в том, что с помощью обсыпки в них нельзя предотвратить развитие суффозии. Если же обсыпка будет препятствовать выносу суффозионных частиц, то возможно уплотнение грунта в зоне контакта и резкое уменьшение ее первоначальной водопроницаемости, что при дренировании грунтовых вод с помощью вертикальных дрен совершенно недопустимо. Обсыпки используются в суффозионных грунтах I типа для:

увеличения размеров проходных отверстий фильтрового каркаса при дренировании грунтовых вод с неустойчивым химическим составом;

уменьшения входных скоростей в зоне контакта грунта с фильтром с целью сокращения времени прокачки скважин;

компенсации возможной просадки грунта в прифильтровой зоне

Состав обсыпок для суффозионных грунтов I типа следует подбирать из условия устойчивости скелета, достаточной водопроницаемости и свободного выноса суффозионных частиц. Расчетный диаметр частиц максимально допустимой по крупности обсыпки рассчитывается таким же образом, как для несуффозионных грунтов, по зависимости (УI.I3). В этом случае исходные параметры для расчетов следует определять по составу скелета. Состав минимально допустимой по крупности обсыпки рассчитывается по наибольшему из диаметров частиц D_{17}^{min}, определенных из условий достаточной водопроницаемости (УI.I5) и свободного выноса суффозионных частиц, отвечающего зависимости

$$D_{17} = \frac{m_{ск}(1-m)}{m(1-m_{ск})} \sqrt[3]{\frac{\eta_{ск}}{\eta}} \cdot D_{17}^{ск}, \qquad (УI.I6)$$

где m - пористость обсыпки; η - коэффициент неоднородности обсыпки.

Вместо зависимости (УI.I6) можно использовать номограмму (рис.УI.20).

УI.33. б) Подбор обсыпок для суффозионных грунтов II типа. В суффозионных грунтах II типа скелет взвешен в заполнителе и совместно с ним образует несущую структуру грунта, воспринимающую внешнее давление. Одновременно поровая структура скелета допускает свободный вынос частиц заполнителя, что может привести к просадке грунта. Поэтому для суффо-

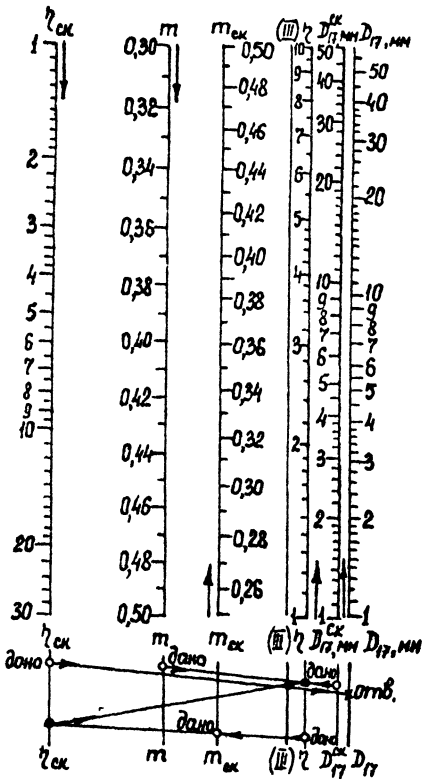


Рис.УI.20. Номограмма для определения $D_п$ по формуле (УI.I6)

зионных грунтов П типа состав обсыпки следует подбирать из условия фильтрационной устойчивости заполнителя в зоне контакта, при этом должно выполняться также и условие достаточной водопроницаемости прифильтровой зоны. Расчетный диаметр частиц максимально допустимой по крупности обсыпки рассчитывается в соответствии с составом заполнителя таким же образом, как для несуффозионных грунтов, по зависимости (УI.I3). При содержании в грунте менее 40-50% заполнителя для предотвращения изменения структуры прифильтровой зоны и возможной просадки поверхности эффект образования естественного фильтра не учитывается и принимается $d_{эф}$ =

$= d_{50}^{зап}$. Расчетный диаметр частиц минимально допустимой по крупности обсыпки определяется согласно зависимости (УI.I5). При известных расчетных диаметрах частиц и заданном значении коэффициента неоднородности обсыпки состав ее рассчитывается согласно ранее приведенным рекомендациям.

УI.34. При выборе оптимального состава обсыпки следует также учитывать условия продвижения гравия в зафильтровом пространстве при загрузке. Практикой установлено, что для предотвращения зависания гравия в зафильтровом пространстве зазор между стенкой скважины и фильтровой трубой следует принимать в 3-4 раза больше максимального диаметра частиц обсыпки. Для неоднородных грунтов обсыпку рекомендуется подбирать из условия фильтрационной устойчивости наименее мелкозернистого прослоя, при достаточной водопроницаемости по отношению к усредненному коэффициенту фильтрации водоносного горизонта. Маломощные прослои, составляющие не более 3-5% от мощности пласта, рекомендуется при расчете фильтров не учитывать.

УI.35. Если по условиям производства работ (отсутствие материала требуемой крупности и невозможности его обогащения до нужных фракций) в качестве обсыпки приходится использовать материал с крупностью, больше предельно допустимой, отвечающей зависимости (УI.I3), то проектирование гравийно-обсыпных фильтров производится из условия гидромеханической устойчивости грунта на контакте с фактически используемой обсыпкой. Для этого вначале рассчитывается начальный структурный коэффициент по зависимости

$$\xi_0 = \frac{D_0}{d_{50}} = 0{,}4\,\frac{m}{1-m}\sqrt[3]{\eta}\,\frac{D_{17}}{d_{50}}\,, \qquad (УI.I7)$$

где D_0 - гидравлический эквивалент пор обсыпки; d_{50} - средний диаметр частиц грунта; η - коэффициент неоднородности обсыпки; D_{17} - расчетный диаметр частиц обсыпки, меньше которых в ее составе содержится I7% по весу.

Затем по табл.УI.3 в зависимости от зернового состава определяется допустимый градиент J_0 в грунте на контакте с обсыпкой и рассчитывается минимально возможный радиус контура обсыпки по формуле

$$r_0 = \frac{Q}{2\pi k_2 M J_0}\,, \qquad (УI.I8)$$

где Q - дебит скважины, $м^3$/сут., $K_ф$ - коэффициент фильтрации грунта, м/сут ; M - мощность водоносного горизонта, м

Таблица УI.3

Значения допустимого градиента J_0

Наименование грунта	Коэффициент неоднородности грунта, η	ξ_0										
		2,5	3	4	5	6	7	8	9	I0	I2	I4
Тонкозернистые пески	I	-	-	-	24	I2,5	8	4	2	0,7	0	-
	2-3	-	-	-	-	24	I4	I0	7	5	2	0
	5	-	-	-	-	-	27	I7,5	I3	9,5	5	I
Мелкозернистые пески	I	-	28	9	5	2	0	-	-	-	-	-
	2-3	-	-	28	I4	8	4	I,5	0			
	5	-	-	-	20	I2	8	4	I,5	0	-	-
Среднезернистые пески	I	28	9	4	I	0	-	-	-	-	-	-
	2-3	-	I7	6	3	0	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	28	8	4	I	0	-	-	-	-
Крупнозернистые пески	I-3	6	3	0	-	-	-	-	-	-	-	-

УI.36. Толщину гравийных обсыпок, основываясь на данных теоретических, лабораторных и полевых исследований, рекомендуется принимать равной: при бурении скважин ударным способом - 5-I0 см, при роторном бурении - I0-20 см. В неблагоприятных гидрохимических условиях, а также при невыдержанном в разрезе составе водоносных грунтов толщину обсыпок следует принимать и более I5-20 см.

УI.37. Важным конструктивным элементом гравийного фильтра является фильтровой каркас, который должен обеспечивать устойчивость обсыпки и создавать оптимальные условия поступления воды в дрену. Длину фильтрового каркаса следует принимать согласно зависимости

$$L = \alpha M , \qquad (УI.I9)$$

где α - коэффициент, зависящий от толщины обсыпки, равный: при толщине обсыпки ℓ менее I0 см - α = 0,8-0,9; при

$\ell >$ 10-20 см $-\alpha$ = 0,6-0,8. Увеличение длины фильтра более 25-30 м нерационально вследствие возрастания неравномерности его загрузки по длине.

Диаметр фильтрового каркаса принимается в соответствии с габаритами насосного оборудования и условиями эксплуатации дренажных сооружений, при этом минимальный диаметр для удобства ремонта не может быть менее 100 мм.

Размер проходных отверстий фильтрового каркаса назначается с учетом особенностей его конструкции, зернового состава обсыпки и химизма грунтовых вод. Для определения размера проходных отверстий используется зависимость

$$D_{\phi} = \frac{\xi \cdot D_{50}}{\lambda} \quad , \qquad (\text{УI.20})$$

где D_{ϕ} - размер проходных отверстий фильтра; D_{50} - средний диаметр частиц обсыпки; λ - коэффициент формы отверстий, характеризующий условия сводообразования для различных типов фильтров.

Для определения коэффициента формы отверстий используется табл.УI.4.

Таблица УI.4.

Тип фильтра	Коэффициент формы отверстий λ
Фильтр с круглыми отверстиями	I÷I,2
Фильтры из штампованного листа и сетчатые	I,2÷I,5
Щелевые фильтры	I,5÷2,0
Проволочные фильтры	2÷2,5

Пример УI.4. Дренируемый пласт на участке заложения дренажа представлен мелкозернистым песком с коэффициентом неоднородности ρ = 3 и средним диаметром частиц d_{50} = 0,2 мм. Зерновой состав песка приведен в табл.УI.5.и отображен графически на рис. УI.2I.

Таблица УI.5

Средний диаметр частиц грунта d_{50}, мм	Коэффициент неоднородности грунта, ρ	Содержание фракций в %			
		0,5-I мм	0,25-0,5 мм	0,I-0,25 мм	0,05-0,I мм
0,2	3	I0	28	47	I5

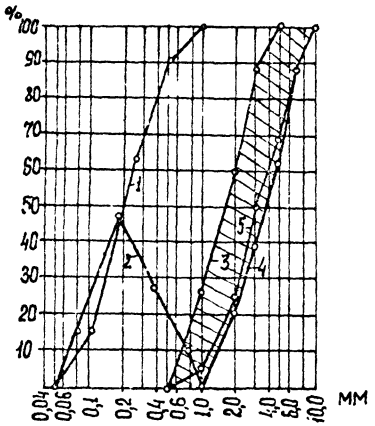


Рис.VI.21. График кривых зернового состава (к примеру (VI.4):
I - интегральная кривая; 2 - дифференциальная кривая; 3 - интегральная кривая минимально допустимой по крупности обсыпки; 4 - то же максимально допустимой по крупности обсыпки; 5 - то же принятой к использованию обсыпки.

Коэффициент фильтрации водоносного горизонта $k_ф$ =I4 м/сут , (0,0I62 см/с), его мощность h = I7 м, дебит дрены I00 м^3/ч при динамическом уровне воды на глубине 60 м.

Требуется подобрать зерновой состав обсыпки. Для этого по данным табл.VI.5 построим дифференциальную кривую зернового состава грунта, нанося на график (рис.VI.2I) точки, соответствующие средним диаметрам отдельных фракций и их процентным содержаниям, и соединяя их прямолинейными отрезками. Как видно из рис.VI.2I дифференциальная кривая характеризуется относительно равномерным содержанием отдельных фракций, выпуклой формой, что является признаком несуффозионного грунта. Вначале определим расчетный диаметр частиц максимально допустимой по крупности обсыпки. С этой целью по графику (рис.VI.I5) для мелкозернистого песка с коэффициентом неоднородности равным 3, находим процентное содержание сводообразующих частиц ($P_{св}$= 53%),на ось ординат графика (рис.VI.2I) наносим точку, соответствующую процентному содержанию $P_{св}$=53% и из нее проводим горизонтальную прямую, отмечая точку пересечения с интегральной кривой грунта; из этой точки опускаем перпендикуляр на ось абсцисс и находим диаметр сводообразующих частиц грунта, $d_{гв}$ = 0,2I мм = 0,02I см. Затем по графику (рис.VI.I3) определяем допустимый структурный коэффициент

(ξ = 3,4). Для дальнейших расчетов принимаем, что загрузка обсыпки в зафильтровую зону дрены будет производиться гравитационным способом с большой интенсивностью, а ее толщина равна 10 см. С учетом этого определим пористость обсыпки по верхней огибающей кривой на рис.УI.16 (m = 40% = 0,4), а из табл.УI.2 найдем коэффициент расслоения обсыпки (c=I,0). Параметр δ , зависящий от толщины обсыпки, в соответствии с приведенными ранее рекомендациями, принимаем равным 0,02. При известных значениях коэффициента c и величины δ рассчитаем по формуле (УI.I4) параметр разнозернистости обсыпки

$$a^* = I\left[I + 0,02\ (3-I)\right] = I,04.$$

После этого по зависимости (УI.I3) вычисляем расчетный диаметр частиц максимально допустимой по крупности обсыпки при ξ = 3,4; $d_{сб}$ = 0,02I см; a^* = I,04; m = 0,4; ρ = 3:

$$D_{17}^{max} = \frac{2,4 \cdot 3,4 \cdot 0,02I}{I,04\ \frac{0,4}{I-0,4}\sqrt{3}} = 0,I8 \text{ см} = I,8 \text{ мм}.$$

При использовании номограммы (рис.УI.I7) для расчета D_{17}^{max} сначала на ее оси a^* находим точку a^* = I,04, а на оси ρ точку, соответствующую коэффициенту неоднородности обсыпки ρ = 3, и соединяем их прямой, фиксируя точку пересечения с осью D_{17}^{max}. Затем на ось $d_{сб}$ наносим точку $d_{сб}$ = 0,2I мм, а на ось m – точку, соответствующую пористости обсыпки m = 0,4, соединяем их прямой и находим точку пересечения с осью ρ , полученную точку соединяем прямой с ранее найденной точкой на оси D_{17}^{max} и определяем ее пересечение с осью (Ш). Найденную на оси (Ш) точку соединяем прямой с точкой оси ξ , соответствующей ξ = 3,4, и продолжаем ее до перечения с осью D_{17}^{max} , получаем ответ D_{17}^{max} = I,8 мм.

Расчетный диаметр частиц минимально допустимой по крупности обсыпки вычисляем по формуле (УI.I5), предварительно приняв α = 30; α° = 2, кинематическую вязкость воды ν = 0,0I см^2/с, коэффициент фильтрации грунта $K_ф$ = 0,0I62 см/с, пористость и коэффициент неоднородности обсыпки соответственно m = 0,4 и ρ = 3:

$$D_{17}^{min} = \sqrt{\frac{0,3 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 0,0I \cdot 0,0I62\ (I-0,4)^2}{0,4^3 \cdot 3^{0,5}}} = 0,076 \text{ см} = 0,76 \text{ мм}$$

При использовании номограммы (рис.УI.I8) для расчета D_{17}^{min} вначале на оси α находим точку $\alpha = 30$, а на оси ρ точку, соответствующую заданному коэффициенту неоднородности обсыпки $\rho = 3$, и соединяем их прямой, фиксируя точку пересечения с осью α^o. Затем на оси α^o находим точку $\alpha^o = 2$, а на оси m - точку, соответствующую пористости обсыпки $m = 0,4$ и также соединяем их прямой, фиксируя ее пересечение с осью κ_2. Найденную точку соединяем прямой с ранее зафиксированной точкой на оси α^o и находим ее пересечение с осью (Ш). Полученную точку соединяем прямой с точкой, соответствующей $\kappa_2 = I4$ м/сут на оси κ_2, и на пересечении этой прямой с осью D_{17}^{min} получаем ответ $D_{17}^{min} = 0,76$ мм.

При известных значениях D_{17}^{min} и D_{17}^{max} составы обсыпок рассчитываются с помощью графика, представленного на рис.УI.I9. Результаты расчетов приведены в табл.УI.6 и на рис.УI.2I.

Таблица УI.6

Расчетный диаметр, мм	Средний диаметр частиц, мм	Содержание фракций в %					
		0,5-I	I-2	2-3	3-5	5-7	7-I0
$D_{17}^{max} = I,8$	3,9	-	2I	I7	24	26	I2
$D_{17}^{min} = 0,76$	I,6	27	32	29	I2	-	-
$D_{17} = I,6$	3,0	5	20	25	20	I8	I2

В табл.УI.6 D_{17} соответствует принятой к использованию обсыпки. Толщину обсыпки, исходя из опыта сооружения скважин в районе работы, принимаем равной I0 см.

Далее остановимся на выборе типа и параметров фильтрового каркаса. Если предположить, что грунтовые воды не агрессивны по отношению к железу и характеризуются устойчивым химическим составом, то в качестве фильтрового каркаса можно использовать обсадные трубы с щелевой перфорацией, нарезанной автогеном, со скважностью 20%. Для обеспечения устойчивости гравия на контакте с каркасом использовано фильтрующее покрытие из просечного листа.

Для расчета ширины щелей просечного листа вначале определим по графику (рис.УI.I3) допустимый структурный коэффициент при средней крупности частиц обсыпки $D_{50} = 3$ мм ($\xi = 2,2$), а по

табл.УI.4 - коэффициент формы отверстий λ = I,5. С учетом полученных данных ширину щелей просечного листа вычисляем по зависимости (УI.20)

$$D_ф = \frac{2,2 \cdot 3}{I,5} = 4,4 \text{ мм} .$$

Диаметр фильтрового каркаса определим с учетом габаритов насосного оборудования. Для откачки I00 м^3/ч воды с глубины 60 м можно использовать насос ЭЦВI0-I20-60, следовательно, диаметр фильтрового каркаса следует принять равным I0" = 273 мм.

Длину фильтрового каркаса рассчитаем по зависимости (УI.I9) приняв значение коэффициента α равным 0,8

$$l = 0,8 \cdot I7 = I4 \text{ м} .$$

Пример УI.5. Дренируемый водоносный пласт представлен гравийно-галечными породами с большим содержанием песчаного заполнителя; характеризуется следующими параметрами: средний диаметр частиц d_{50} = 2 мм; коэффициент неоднородности η = 220; плотность γ = 2,70 г/см^3; объемная масса δ = 2,II г/см^3; коэффициент фильтрации $K_ф$ = I2 м/сут = 0,0I4 см/с. Зерновой состав грунта приводится в табл.УI.7 и на рис.УI.22.

Таблица УI.7

Средний диаметр частиц грунта d_{50}, мм	Коэффициент неоднородности грунта, η	Содержание фракции в %										
		20-40 мм	I0-20 мм	5-I0 мм	2-5 мм	I-2 мм	0,5-I мм	0,25-0,5 мм	0,I-0,25 мм	0,05-0,I мм	0,0I-0,05 мм	0,005-0,0I мм
2,0	220	26	I9	4	I	0	I	9	I9	I4	3	4

Мощность водоносного горизонта М = 56 м, напор 30 м, глубина залегания кровли пласта 88 м. Проектный дебит дрены 250 м^3/ч при глубине динамического уровня воды, равной 86 м.

Подберем состав обсыпки. Для этого по данным табл.УI.7 строим дифференциальную кривую грунта (рис.УI.22). Как видно из рис.УI.22, дифференциальная кривая породы характеризуется прогибом в содержании фракции I-3 мм. Следовательно, в грунте возможна суффозия. Для выяснения характера суффозии грунт по месту прогиба дифференциальной кривой разделим на скелет и за-

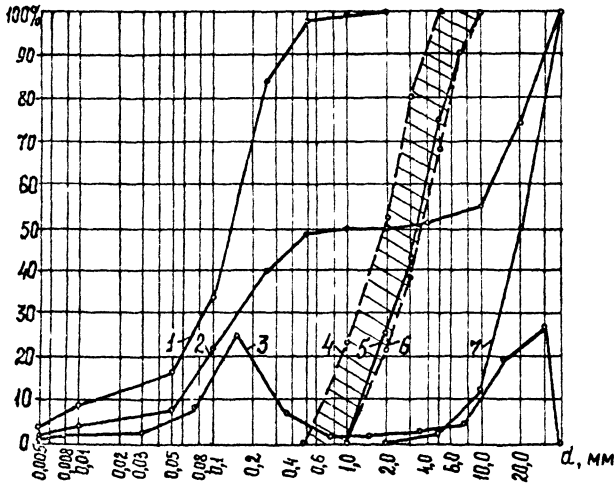


Рис.УI.22. График кривых зернового состава (к примеру УI.5): I - интегральная кривая заполнителя грунта; 2 - то же грунта; 3 - дифференциальная кривая грунта; 4 - интегральная кривая минимально допустимой по крупности обсыпки; 5 - то же принятой к использованию обсыпки; 6 - то же максимально допустимой по крупности обсыпки; 7 - то же скелета грунта.

полнитель и рассчитаем их фракционный состав по зависимости (УI.9), приняв n_i = 50%. Результаты расчетов представлены графически на рис.УI.22, откуда находим, что средний диаметр частиц заполнителя $d_{зап}$ = 0,13 мм, а скелета $d^{ск}_{50}$ =20 мм.

При γ = 2,7 г/см^3; δ = 2,II г/см^3; $n_{ск}$ = 0,5 определим пористость скелета по формуле (УI.I0)

$$m_{ск} = \left(1 - \frac{2{,}11 \cdot 0{,}5}{2{,}70}\right) \cdot 100 = 61\%.$$

Максимально возможная пористость согласно рис.УI.I4 равна 44%, следовательно, $m_{ск} > m^{\delta}$ и поэтому скелет взвешен в заполнителе.

По зависимости (УI.II) определим ξ^* :

$$\xi^* = 0,4\,\frac{0,44}{1-0,44}\,\sqrt{3}\,\frac{I,I}{0,0I3} = 40.$$

Для соответствующей составу заполнителя несуффозионной породы по графику (рис.УI.I3) при среднем диаметре частиц $d_{50} = 0,I3$ мм и $\eta = I3$, находим $\xi = 4,6$. Таким образом, $\xi^* = 40 > 4,6$, что при $m_к > m'$ позволяет отнести данный грунт к суффозионному П типа.

С целью предотвращения опасной для устойчивости грунта суффозии состав обсыпки следует подбирать по составу заполнителя. Для этого определим по графику на рис.УI.I5, при $d_{50} = 0,I3$ мм и $\eta = I3$, процентное содержание сводообразующих частиц ($P_{св} = 60\%$) и на интегральной кривой грунта (рис.УI.22) найдем диаметр сводообразующих частиц $d_{св} = 0,I6$ мм $= 0,0I6$ см. Затем по графику на рис.УI.I3 определим допустимый структурный коэффициент, $\xi = 4,6$. Для дальнейших расчетов принимаем коэффициент неоднородности обсыпки $\eta = 3$, а ее толщину $\ell = 25$ см; в этом случае величина $\beta = 0,02$. Определим по табл. УI.4 коэффициент расслоения обсыпки при ее загрузке в скважину гравитационным способом с большой интенсивностью, $c=I,0$. При известных значениях η и β рассчитаем по зависимости (УI.I4) параметр разнозернистости обсыпки

$$\alpha^* = I / I+0,02(3-1) / = I,04.$$

Далее по зависимости (УI.I3), при известных значениях $\xi = 4,6$; $d_{св} = 0,0I6$ см; $m = 0,4$; $\alpha^* = I,04$; $\eta = 3$ вычисляем диаметр частиц максимально допустимой по крупности обсыпки

$$D_{I7}^{max} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 4,6 \cdot 0,0I6}{I,04\,\frac{0,4}{I-0,4}\,\sqrt[3]{3}} = 0,I7 \text{ см} = I,7 \text{ мм}.$$

Расчетный диаметр частиц минимально допустимой по крупности обсыпки находим по формуле (УI.I5) при $\alpha = 30$; $\alpha^\circ = 2$; $\nu = 0,0I$ см^2/с, $\kappa_г = 0,0I4$ см/с

$$D_{I7}^{min} = \sqrt{\frac{0,3 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 0,0I \cdot 0,0I4\,(I-0,4)^2}{0,4^3 \cdot 3^{0,5}}} = 0,08 \text{ см} = 0,8 \text{ мм}.$$

При известных значениях D_{I7} минимально и максимально допустимые по крупности составы обсыпки рассчитываются с помощью

графика на рис.УI.I9. Результаты расчетов приведены в табл.УI.7.

Исходя из конкретных производственных условий в качестве водоприемной части скважин принят щелевой каркас диаметром I6"-427 мм, что позволяет разместить в нем выбранный эксплуатационный насос ЭЦВI4-280-90.

Таблица УI.7.

Расчетный диаметр частиц D_{17}, мм	Средний диаметр частиц D_{50}, мм	Зерновой состав обсыпки, %					
		0,5-I мм	I-2 мм	2-3 мм	3-5 мм	5-7 мм	7-I0 мм
D_{17}^{max} =I,7	3,6	-	22	I7	29	2I	II
$D_{17}^{сил}$ =0,8	I,9	23	29	28	20	-	-
D_{17} =I,7	3,5	-	23	I8	28	20	II

Длину фильтрового каркаса рассчитаем по зависимости (УI.I9), приняв коэффициент α равным 0,6

$$L = 0,6.56 = 34 \text{ м}.$$

Ширина щелей каркаса согласно зависимости (УI.20) при $\xi = 2,2$; $D_{50} = 3,5$ мм; $\lambda = I,5$ равна:

$$D_{щ} = \frac{2,2.3,5}{I,5} = 5 \text{ мм}.$$

§ 3. Расчеты водопропускной способности дренажных труб.

УI.38. Гидравлические расчеты проводятся с целью определения диаметров дренажных труб, при известных же диаметрах труб - уклона дренажа, обеспечивающего пропуск поступающего расхода. Величина отводимого расхода Q определяется путем выполнения гидрогеологических расчетов. Допустимая средняя скорость движения воды в трубах назначается из условия недопустимости заиления труб и размыва окружающего грунта (на участках перфорированных труб).

Скорость движения воды в трубах принимается в пределах от 0,I5 до I м/с. Для горизонтальных труб, уложенных в глинистых грунтах, наименьшая скорость движения принимается в пределах 0,I5-0,2 м/с, и в песчаных грунтах - 0,3-0,35 м/с. Оптимальная скорость лежит в пределах 0,5-0,7 м/с. Наибольшая скорость принимается не более I м/с. На неперфорированных участках труб ско-

рость течения может быть доведена до I,5 м/с. Для вертикальных труб обычно скорость движения принимается в пределах 0,8-I,0 м/с.

УI.39. Пропускная способность дренажных труб должна соответствовать максимальному ожидаемому дебиту. При этом не следует добиваться полного заполнения водой дренажных труб. Максимальная пропускная способность соответствует глубине заполнения дренажных труб $h = 0{,}9 \div 0{,}93\,d$ (рис.УI.23), а наибольшая скорость-при заполнении на $0{,}8I\,d$. Практически глубина заполнения в дренажосушителях должна быть не менее $0{,}I\,d$; в трубах - собирателях не менее $0{,}3\,d$ и в магистральных коллекторах - не менее $0{,}5\,d$. При расчете вертикальных труб степень наполнения (h/d) принимается равной единице.

УI.40. Зная приток Q, поступающий в дренаж, допустимую скорость движения воды в трубах $v_{доп}$ и, задавшись степенью заполнения труб h/d, вычисляют диаметр труб

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\beta \pi v_{доп}}}, \qquad (УI.2I)$$

где β - коэффициент, зависящий от степени заполнения h/d и определяемый по кривой 2 на рис.УI.23.

Исходя из условий нормальной эксплуатации дренажа, этот диаметр должен быть не менее 200 мм (при очень малых расходах допускается минимальный диаметр I50 мм).

Расчет необходимого уклона дренажных труб ведется по формуле Шези

$$i = \frac{Q^2}{S^2 C^2 R}. \qquad (УI.22)$$

Здесь S - площадь живого сечения потока; R - гидравлический радиус, C - коэффициент сопротивления.

Площадь живого сечения S и гидравлический радиус R являются функциями степени наполнения h/d и вычисляются по формулам

$$S = \beta \frac{\pi d^2}{4}; \qquad (УI.23)$$

$$R = \alpha \frac{d}{4}. \qquad (УI.24)$$

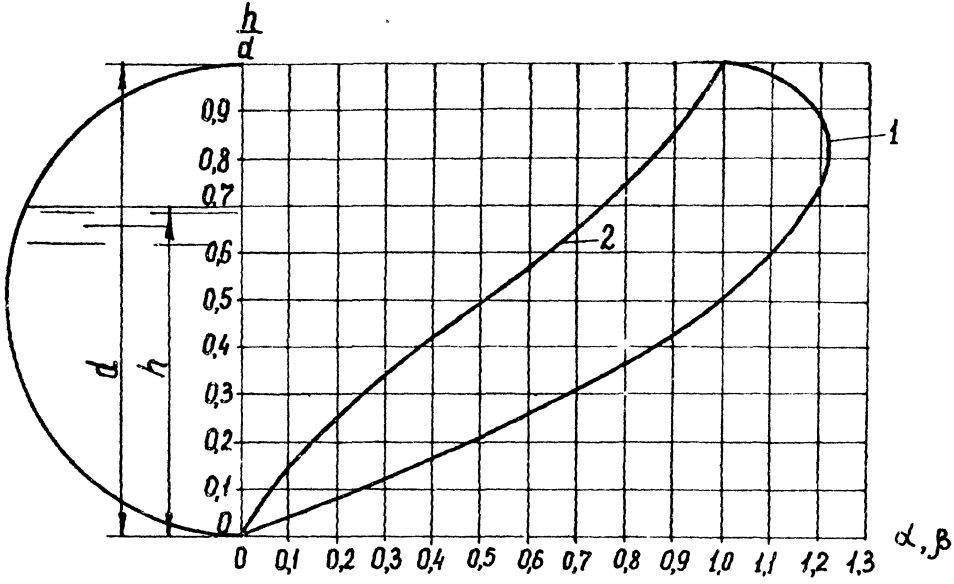


Рис.УI.23. Графики зависимости коэффициентов α и β от степени заполнения труб водои: I - кривая $\alpha = f\left(\frac{h}{d}\right)$ (по скоростному признаку); 2 - кривая $\beta = f\left(\frac{h}{d}\right)$ (по пропускной способности).

Коэффициенты α и β берутся из графика на рис.УI.23.

Коэффициент сопротивления С вычисляется по формуле Н.Н.Павловского:

$$C = \frac{R^{y}}{n}, \qquad y = 2\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}\,(\sqrt{n} - 0{,}1) \qquad (УI.25)$$

n - коэффициент шероховатости, значения которого при расчете дренажных труб принимается равным 0,012-0,015. Значения коэффициента С в зависимости от "n" и гидравлического радиуса R могут быть также вычислены и по формуле Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}. \qquad (УI.26)$$

Следует отметить, что коэффициент сопротивления С - величина размерная, $[C^2] = м/с^2$. Поэтому при определении его по формулам (УI.25) или (УI.26) гидравлический радиус необходимо подставлять в метрах.

УI.41. На перфорированных участках горизонтальных труб, а также в лучевых дренах происходит поступление воды из пласта, поэтому по длине трубы расход будет переменным (увеличивающимся от нуля в начале трубопровода, т.е. в сечении $x = 0$, до Q в конце трубопровода, т.е. в сечении $x = L$). Определение диаметра труб в этом случае также производится по формуле (УI.2I), в которой Q - расход в концевом сечении трубы. Считая, что поступление воды из пласта происходит по длине трубопровода равномерно, уклон в произвольном сечении на расстоянии x от начала трубы можно найти по формуле

$$i = \frac{Q^2 x^2}{L^2 S^2 C^2 R}, \qquad (УI.27)$$

а средний уклон всего трубопровода длиной L - по формуле

$$i_{ср} = \frac{Q^2}{3S^2 C^2 R}. \qquad (УI.28)$$

В этих формулах S, R и C сохраняют свое прежнее значение.

УI.42. Аналогично перфорированным участкам горизонтальных дренажных труб по формулам (УI.27)-(УI.28) выполняется гидравлический расчет трубофильтров, при этом коэффициент шероховатости принимается равным 0,017.

Пример УI.6. Максимальный ожидаемый дебит горизонтального дренажа, уложенного в песчаных грунтах, составляет 5 л/с. Определить необходимый диаметр и уклон водоотводящей трубы считая, что степень ее наполнения равна 0,6.

Решение. Примем оптимальную скорость движения воды в трубе равной $v_{опт}$ = 0,5 м/с. По рис.УI.23 находим, что наполнение h/d = 0,6, соответствует β = 0,64. Тогда в соответствии с формулой (УI.21)

$$d = \sqrt{\frac{4,5.10^{-3}}{0,64.3,14.0,5}} = 13,5.10^{-2} \text{ м} = 135 \text{ мм} .$$

В соответствии с пунктом УI.40 выбираем диаметр водоотводящей трубы равным $d_{рас}$ = 200 мм = 0,2 м.

При h/d = 0,6 по формулам (УI.23) и (УI.24) находим площадь живого сечения S и гидравлический радиус R, а затем по (УI.26) вычисляем коэффициент сопротивления C, считая коэффициент шероховатости n = 0,013:

$$S = 0,64 \frac{3,14.0,04}{4} = 0,02 \text{ м}^2; \qquad \alpha = 1,1;$$

$$R = 1,1 \frac{0,2}{4} = 0,055 \text{ м};$$

$$C = \frac{(0,055)^{1/6}}{0,013} = 47,5 \text{ м/с}^2 .$$

Необходимый уклон водоотводящей трубы находим по (УI.22):

$$i = \frac{0,005^2}{0,02^2.47,5^2.0,055} = 0,006 .$$

§ 4. Расчет водопропускной способности фильтрующих постелей.

УI.43. В пластовых дренажах вода движется внутри фильтрующей постели. Внутренние слои фильтрующих постелей, состоящие из более крупных частиц, предназначены не только для приема воды из дренируемого пласта, но также и для отвода ее в трубчатые дрены. Их водоотводящая способность определяется размерами поперечного сечения этих слоев постели и скоростями фильтрации воды в них.

УI.44. Предварительно при заданном уклоне постели "J" и крупности фильтрующего материала (когда его частицы имеют размеры

менее I см) определяется режим фильтрации.

а) в однородном материале - по формуле Г.М.Ломизе

$$Re = \frac{v_\phi d_{cp}}{6\nu(1-m)} , \qquad (УI.29)$$

где: Re - число Рейнольдса; v_ϕ - скорость фильтрации; d_{cp} - средний диаметр частиц; m - пористость; ν - кинематический коэффициент вязкости фильтрующей воды.

б) в неоднородном материале - по формуле В.И.Котяхова

$$Re = \frac{4 v_\phi \sqrt{2 k_{пр}}}{\nu m^{1,5}} , \qquad (УI.30)$$

где: $k_{пр}$ - проницаемость пористой среды, равная $\frac{k_\phi \nu}{g}$, k_ϕ - ее коэффициент фильтрации.

При этом следует иметь ввиду, что нарушение линейного закона наступает: в однородном материале - при $Re > I,7$, в неоднородном материале - при $Re > 0,3$.

УI.45 Скорость фильтрации при ламинарном режиме определяется по формуле:

$$v_\phi = k_\phi J . \qquad (УI.3I)$$

В этом случае расход, пропускаемый фильтрующим слоем, будет равен:

$$Q = v_\phi F = k_\phi J F , \qquad (УI.32)$$

где F - площадь поперечного сечения фильтрующего слоя.

Скорость фильтрации при турбулентном режиме, при размере частиц фильтрующегося слоя от I до 6 см, определяется по формуле С.В.Избаша

$$v_\phi = \left(20 - \frac{14}{d_{50}}\right) m \sqrt{J d_{50}} , \qquad (УI.33)$$

где d_{50} - средний диаметр частиц в см.

В этом случае пропускаемый фильтрующим слоем расход равен:

$$Q = v_\phi F = \left(20 - \frac{14}{d_{50}}\right) m \sqrt{d_{50} J} F . \qquad (УI.34)$$

Если фильтрующий материал представлен щебнем угловатой формы с размером частиц I-5 см, то скорость фильтрации определя-

ется по формуле М.Ф.Срибного

$$v_{ф} = \left(20 - \frac{5}{d_{50}}\right) m \sqrt{d_{50} J} \,. \qquad (\text{УI.35})$$

В этом случае расход, пропускаемый фильтрующим слоем, равен:

$$Q = v_{ф} F = \left(20 - \frac{5}{d_{50}}\right) m \sqrt{d_{50} J F} \,. \qquad (\text{УI.36})$$

УI.46. При расчетах следует исходить из условия, что мощность фильтрационного потока во внутреннем слое постели должна быть несколько меньше толщины этого слоя.

§ 5. Расчет сифонных систем.

УI.47. Сифонным называется самотечный трубопровод, часть которого располагается выше уровня воды в питающем резервуаре (рис.УI.24). Роль питающего резервуара в сифонной системе могут играть вертикальные дрены, а приемный резервуар может быть пред-

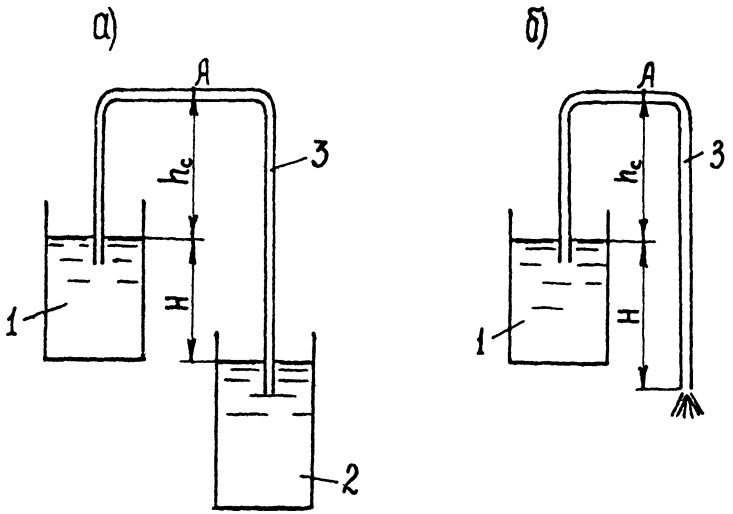


Рис.УI.24. Схема сифонного трубопровода: а - при истечении воды под уровень; б - при истечении воды в атмосферу; I - питающий резервуар; 2 - приемный резервуар, 3 - сифонный трубопровод.

ставлен магистральным каналом, горизонтальной дреной трубчатого или галерейного типов, нижележащим водоносным горизонтом (при сбросе воды в нижние поглощающие пласты) и т.д. Необходимым условием работы сифона является то, что уровень воды в приемном резервуаре или отметка конца сифонного трубопровода (рис.VI.24) находятся ниже уровня воды в питающем резервуаре. Разность этих уровней называется действующим напором. Сифон будет работать только в том случае, если первоначально он заполнен водой или в нем тем или иным способом создан вакуум. Расчет сифона заключается в определении его пропускной способности (при известном диаметре труб) и предельной высоты h_c, на которую вода может быть поднята.

VI.48. Расход воды Q, пропускаемый сифоном, определяется из условия, что полные потери напора в сифонном трубопроводе диаметром d (сумма линейных и местных потерь напора) равна действующему напору, т.е.

$$h_{пол} = h_л + h_м = H .$$

Линейные потери напора вычисляются по формуле

$$h_л = 0{,}81 \frac{\lambda L Q^2}{g d^5} , \qquad (VI.37)$$

где: L - полная длина сифонного трубопровода;

λ - коэффициент гидравлического трения;

g - ускорение силы тяжести.

Коэффициент трения λ зависит от числа Рейнольдса и шероховатости стенок труб.

VI.49. Для определения λ можно использовать эмпирическую формулу А.Д.Альтшуля, которая сравнительно проста и в общем-то согласуется с опытными данными других исследователей

$$\lambda = 0{,}11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0{,}25} . \qquad (VI.28)$$

Здесь Re - число Рейнольдса, $Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d \nu}$, ν - кинематический коэффициент вязкости воды, d - диаметр трубы, Δ - эквивалентная шероховатость материалы труб, значения которой приведены в табл.VI.8.

Таблица УI.8.

№№ пп	Характер поверхности трубы	Δ (мм)
I.	Стальные трубы	
	а) новые бесшовные	0,02-0,I0
	б) в средних условиях эксплуатации	0,I9-0,20
	в) асфальтированные	0,I2-0,2I
2.	Чугунные трубы	
	а) новые	0,25-I,0
	б) асфальтированные	0,I2-0,30
	в) бывшие в эксплуатации	I,0-I,5
3.	Асбестоцементные трубы	
	а) новые	0,05-0,I
	б) средние	0,6
4.	Керамические дренажные трубы	0,45-6,0

УI.50. Местные потери напора вычисляются отдельно для каждого сопротивления по формуле

$$h_м = 0,81\zeta\frac{Q^2}{gd^4} \quad . \qquad (УI.39)$$

Здесь ζ - коэффициент местного сопротивления, значения которого зависят от вида сопротивления и условий протекания воды.

Приведем некоторые значения ζ : при входе воды в трубопровод ζ = 0,5;при выходе из него ζ = I,0; при резком повороте трубы на угол θ (рис.УI.25) значения ζ приведены в табл.УI.9

Таблица УI.9

θ°	30	40	50	60	70	80	90
ζ	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	I,I0

При плавном повороте трубы на угол Q (рис.УI.26) зависимость коэффициента сопротивления ζ от угла θ определяется по формуле

$$\zeta = \zeta'\frac{\theta^\circ}{90^\circ} \quad , \qquad (УI.40)$$

причем ζ' берется из таблицы УI.I0 (где: R_o - радиус поворота).

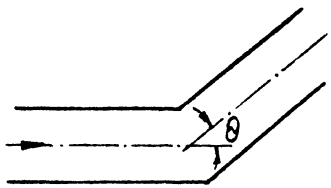


Рис.УI.25. Схема резкого поворота сифонного трубопровода.

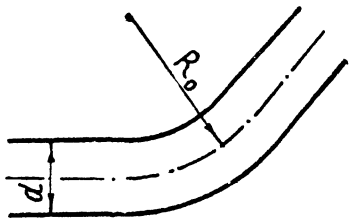


Рис.УI.26. Схема плавного поворота сифонного трубопровода.

Таблица УI.I0

$\frac{d}{2R_o}$	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	I,0
ζ	0,I3	0,I4	0,I6	0,2I	0,29	0,44	0,66	0,98	I,4I	I,98

УI.5I. З а д в и ж к и, в е н т и л и . С гидравлической точки зрения подобные устройства действуют аналогично диафрагме, т.е. искусственно сужают поток ., поэтому в первом приближении коэффициент местного сопротивления может быть вычислен по формуле

$$\zeta = \left(\frac{1}{n\varepsilon} - 1\right)^2, \qquad (УI.4I)$$

где: n - степень сужения потока ($S_{сж}/S_o$);
ε - коэффициент сжатия струи, который может вычисляться по зависимости А.Д.Альтшуля;
$S_{сж}$ - площадь узкого сечения трубопровода;
S_o - площадь трубопровода;

$$\varepsilon = 0{,}57 + \frac{0{,}043}{I{,}I - n} . \qquad (УI.42)$$

УI.52. Таким образом, основная зависимость для расчета

сифона принимает вид:

$$H = 0{,}81\left(\frac{\lambda L}{d} + \sum_{i=1}^{N} \zeta_i\right)\frac{Q^2}{gd^4} \cdot \qquad (\text{УI.43})$$

Из этой формулы определяется пропускная способность сифона. При расчетах следует иметь в виду, что скорость движения воды в сифоне не рекомендуется принимать более 0,6-0,8 м/с.

УI.53. Предельная высота h_c, на которую вода может быть поднята, определяется следующим образом. Наибольший вакуум, который должен поддерживаться в наивысшей точке сифона (точка А, рис.УI.24), рекомендуется принимать равным не более 7 метров водяного столба (во избежание кавитации, скопления воздуха и т.д.).

Тогда

$$h_c = 7м - 0{,}81\left(\frac{\lambda L_1}{d} + \sum_{i=1}^{n} \zeta_i\right)\frac{Q^2}{gd^4}\ , \qquad (\text{УI.44})$$

где: L_1 - длина сифонного трубопровода от его начала до точки А;

n - число местных сопротивлений на этом участке.

Пример УI.7. Сброс воды из сборного колодца дренажа (рис. УI.24б) в ливневую канализацию предусматривается осуществлять при помощи стального сифонного трубопровода длиной L = 20 м, работающего при действующем напоре Н = 5 м. Каков должен быть диаметр этого трубопровода, чтобы обеспечить отвод максимального расхода Q_{max} = I0 л/с = 0,0I м^3/с? На какую высоту h_c можно поднять воду при помощи сифона? При расчете принять температуру воды, равной I0^{0}С, а шероховатость внутренней поверхности труб Δ = 0,2 мм.

Решение. Учитывая, что действующий напор Н в сифонном трубопроводе равен полным потерям напора, с учетом формул (УI.37) и (УI.39) можно написать:

$$H = 0{,}81\left[\frac{\lambda L}{d} + \sum_{i=1}^{n} \zeta_i\right]\frac{Q_{max}^2}{gd^4} \cdot \qquad (\text{УI.44а})$$

Местные потери напора складываются из потерь напора на входе ($\zeta_{вх}$ = 0,5), выходе ($\zeta_{вых}$ = I) и двух резких поворотов на 90^0 ($\zeta_{пов}$ = I,I - см. табл.УI.9). Тогда

$$\sum_{i=1}^{n} \zeta_i = 0{,}5 + I + 2 \cdot I{,}I = 3{,}7.$$

Коэффициент трения λ заранее неизвестен, так как неизвестен диаметр трубопровода, в то время как режим движения воды в трубе турбулентный. Поэтому задачу приходится решать методом последовательных приближений. В первом приближении зададимся диаметром сифонного трубопровода $d' = 100$ мм $= 0{,}1$ м. По этому диаметру в первом приближении находим число Re' и по формуле (УI.38) - коэффициент λ' (при $t^o = 10^o$ коэффициент кинематической вязкости) $\nu = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ м^2/с)

$$Re' = \frac{4Q_{max}}{\pi d' \nu} = \frac{4 \cdot 0{,}01}{3{,}14 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-6}} = 9{,}8 \cdot 10^4;$$

$$\lambda' = 0{,}11 \left(\frac{0{,}2}{100} + \frac{68}{9{,}8 \cdot 10^4}\right)^{0{,}25} = 0{,}11 \sqrt[4]{2 \cdot 10^{-3} + 0{,}69 \cdot 10^{-3}} =$$

$= 0{,}025.$

При известном значении λ' в первом приближении по (УI.44а) вычисляем H^I в первом приближении

$$H^I = 0{,}81 \left[\frac{0{,}025 \cdot 20}{0{,}1} + 3{,}7\right] \frac{0{,}01^2}{9{,}8 \cdot 0{,}1^4} = 0{,}72 \text{ м}$$

Полученные потери напора или действующий напор H^I не равен заданным, следовательно, диаметр трубопровода в первом приближении задан неправильно. Так как $H' < H$, то диаметр необходимо уменьшить.

Во втором приближении примем $d'' = 80$ мм $= 0{,}08$ м. Проводим аналогичные расчеты:

$$R'' = \frac{4 \cdot 0{,}01}{3{,}14 \cdot 0{,}08 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-6}} = 1{,}225 \cdot 10^5; \quad \lambda'' = 0{,}11\left(\frac{0{,}2}{80} + \frac{68}{1{,}225 \cdot 10^5}\right)^{0{,}25} =$$

$= 0{,}026;$

$$H'' = 0{,}81 \left[\frac{0{,}026 \cdot 20}{0{,}08} + 3{,}7\right] \frac{0{,}01^2}{9{,}8 \cdot 0{,}08^4} = 2{,}05 \text{ м}.$$

Второе приближение также не приводит к заданному Н. В третьем приближении примем $d''' = 70$ мм $= 0{,}07$ м. Проводя расчеты, имеем:

$$Re''' = \frac{4 \cdot 0{,}01}{3{,}14 \cdot 0{,}07 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-6}} = 1{,}4 \cdot 10^5; \quad \lambda''' = 0{,}11 \left(\frac{0{,}2}{70} + \frac{68}{1{,}3 \cdot 10^5}\right)^{0{,}25} =$$

$= 0{,}027;$

$$H''' = 0{,}81\left[\frac{0{,}027\cdot 20}{0{,}07} + 3{,}7\right]\frac{0{,}01^2}{9{,}8\cdot 0{,}07^2} = 4 \text{ м}$$

Последняя величина несколько меньше заданной H = 5 м, однако, в расчетах необходимо иметь некоторый запас. В результате, диаметр сифонного трубопровода принимаем равным 70 мм.

Находим величину h_c, для чего воспользуемся формулой (VI.44), причем длину трубопровода до точки А (рис.VI.24б) примем равной 15 м. На рассматриваемом участке (от начала до точки А) имеются только два местных сопротивления - вход в трубу и один резкий поворот, поэтому

$$h_c = 7 - 0{,}81\left(\frac{0{,}027\cdot 15}{0{,}07} + 1{,}6\right)\frac{0{,}01^2}{9{,}8\cdot 0{,}07^4} = 4{,}4 \text{ м},$$

т.е. жидкость может быть поднята на высоту до 4,4 м.

§ 6. Расчет эрлифтных систем

VI.54. Гидравлический расчет эрлифтных систем отвода дренажных вод заключается в определении глубины погружения водоподъемных труб и форсунки для распыления сжатого воздуха, подсчете необходимого количества воздуха и его давления, подборе диаметра водоподъемных и воздушных труб

VI.55. Глубина погружения форсунки (т.е. воздушных труб) находится по формуле

$$\ell = \varkappa h, \qquad \text{(VI.45)}$$

где ℓ - глубина погружения форсунки;

h - расстояние от динамического уровня до точки излива эмульсии на поверхности;

$\varkappa$ - коэффициент, принимаемый в пределах от 1,9 до 3 (тем меньше, чем больше h).

Нижний конец водоподъемных труб опускается на 3-5 м ниже форсунки.

VI.56. Давление, под которым подается воздух в смеситель из компрессора, вычисляется по формуле

$$P = p_{am} + \Delta p + \gamma g(\ell - h) = p_1 + \Delta p, \qquad \text{(VI.46)}$$

где p_{am} - атмосферное давление, н/м^2;

γ - плотность жидкости, кг/м^3;

Δp - потери давления в воздухопроводе и смесителе, н/м^2.

При снижении давления воздуха с величины P_1 до P_{am} будет произведена некоторая работа, которая затрачивается на подъем воды. Принимается, что расширение воздуха происходит в изотермических условиях. Тогда расход воздуха $Q_{воз.}$, необходимый для подъема расхода воды Q, можно определить по формуле

$$Q_{воз.} = K_0 \frac{Qh\gamma g}{P_{am} \ln \frac{P_1}{P_{am}}} \quad . \qquad (VI.47)$$

Учитывая, что $\frac{P_{am}}{\gamma g}$ = 10 м вод.ст., эту формулу можно переписать в виде

$$Q_{воз} = K_0 \frac{Qh}{2{,}3 \lg \frac{\ell - h + 10}{10}} \quad . \qquad (VI.48)$$

При использовании формулы (VI.48) значения ℓ и h необходимо подставлять в метрах. Коэффициент K_0 учитывает потери напора при движении водовоздушной смеси в водоподъемных трубах и при расчетах принимается равным 1,2. Диаметр водоподъемных труб определяется из условия, что скорость подъема водовоздушной эмульсии V не должна превышать 6-8 м/с, для расчета его используется формула (при параллельном расположении воздушных и водоподъемных труб)

$$d = \sqrt{\frac{Q + Q_{воз}}{0{,}785\,V}} \quad . \qquad (VI.49)$$

Пример VI.8. Откачку воды из скважины предусматривается проводить эрлифтом. Проектируемый дебит скважины Q = 15 л/с, глубина от точки излива до динамического уровня h = 10 м. Определить расход воздуха и давление, под которым он должен подаваться.

Решение. Вначале по формуле (VI.45) определяем глубину погружения форсунки ℓ, принимая коэффициент α равным 2,5:

$$\ell = 2{,}5 \cdot 10 = 25 \text{ м}.$$

Давление, под которым подается воздух, вычисляем по (VI.46) считая, что при малой величине ℓ потери давления незначительны, а атмосферное давление равно 1,03 кгс/см^2:

P = 1,03 кгс/см^2 + 0,001 кгс/см^3 (2500-1000)см=2,53 кгс/см^2

или воздух должен подаваться под избыточным давлением 1,5 ати.

Расход воздуха находим по формуле (УI.47)

$$Q = 1{,}2\,\frac{10 \cdot 0{,}015\ \text{м}^3/\text{с}}{23\ lg\ \frac{25-10+10}{10}} = 0{,}0195\ \text{м}^3/\text{с} \approx 0{,}02\ \text{м}^3/\text{с}\ .$$

Принимая скорость подъема смеси равной 0,8 м/с (по УI.49), вычисляем диаметр водоподъемных труб

$$d = \sqrt{\frac{0{,}015 + 0{,}02}{0{,}785 \cdot 6}} = 0{,}086\ \text{м} = 86\ \text{мм}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Абрамов С.К. Борьба с подтоплением промышленных площадок. М., Госстройиздат, 1948.

2. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М., Стройиздат, 1973.

3. Абрамов С.К., Недрига В.П., Романов А.В. и др. Защита территорий от затопления и подтопления. М., Госстройиздат, 1961.

4. Абрамов С.К., Кузнецова Н.А., Муфтахов А.Ж. Пластовые дренажи в промышленном и городском строительстве. М., Стройиздат, 1964.

5. Абрамов С.К., Дегтярев Б.М. Локальные дренажи жилых зданий. Материалы семинара (Моск.Дом научно-технической пропаганды им.Ф.Э.Дзержинского) "Ограждающие конструкции жилых зданий". М., 1969.

6. Абрамов С.К., Дегтярев Б.М., Дзекцер Е.С. Влияние гидрогеологических условий на градостроительство и борьба с их вредным воздействием. Сб.Влияние инженерно-геологических и гидрологических условий на градостроительство (конференция Климат.Город. Человек). Гидрометеоиздат, 1973.

7. Абрамов С.К., Дегтярев Б.М., Коринченко И.В. Горизонтальные дренажи с трубофильтрами из пористого бетона. М., Стройиздат, 1976.

8. Абрамов С.К., Дзекцер Е.С., Гавшина З.П. Причины подтопления промышленных территорий и инженерная защита. "Пром.стр-во", 1971, № 11.

9. Абрамов С.К., Дзекцер Е.С., Гавшина З.П. О классификации территории промышленных предприятий с мокрым технологическим процессом по их потенциальной обводняемости. "Пром.стр-во", 1972, № 9.

10. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. Стройиздат, 1975.

11. Анатольевский П.А., Разумов Г.А. Горизонтальные водозаборные скважины. М., "Недра", 1970.

12. Анпилов В.Е., Малацковский Ф.С., Пономаренко Ю.В. Защита действующих сооружений от подтопления способом лучевого дренажа. "Пром.стр-во", 1975, № 10.

13. Анпилов В.Е. Формирование и прогноз режима грунтовых

вод на застраиваемых территориях. М., "Недра", 1976.

14. Аравин В.И., Нумеров С.Н. Теория движения жидкости и газов в недеформируемой пористой среде. Гостехтеориздат, 1953.

15. Бабушкин В.Д. Методы расчета шахтных колодцев. М., Изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1952.

16. Борисов Г.В. Производство гидроизоляционных работ. Стройиздат, Ленинградское отд., 1978 г.

17. Борисов Ю.П. Определение дебита скважин при совместной работе нескольких рядов скважин. Тр.Мос.нефт.ин-та им.Губкина, вып.II, 1951.

18. Борисов Ю.П., Пилатовский В.П., Табаков В.П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами. М., "Недра", 1964.

19. Бочевер Ф.М. Приближенные гидрогеологические расчеты крупных водозаборов и водопонизительных установок. Информационные материалы ВНИИ ВОДГЕО, 1961, вып.17.

20. Бочевер Ф.М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М., "Недра", 1968.

21. Бочевер Ф.М., Веригин Н.Н. Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. М., Госстройиздат, 1961.

22. Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. "Недра", М., 1965.

23. Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. К прогнозам неустановившейся фильтрации из несовершенных бассейнов и хранилищ промстоков в связи с защитой подземных вод от загрязнения. "Труды ВНИИ ВОДГЕО", 1969, вып.22.

24. Бочевер Ф.М., Орадовская А.Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. М., "Недра", 1972.

25. Веригин Н.Н. Метод расчета осушения строительных котлованов с помощью несовершенных скважин. "Труды совещания по вопросам водопонижения в гидротехническом строительстве", 1959.

26. Веригин Н.Н. Движение грунтовых вод в районах плотин, шлюзов и каналов. Изв. АН СССР, ОТН, 1955, № 6.

27. Веригин Н.Н. О гравитационно-упругом режиме фильтрации. "Труды ВНИИ ВОДГЕО", 1969, вып.22.

28. Веригин Н.Н., Шестаков В.М. Методы расчета движения грунтовых вод в двухслойной среде. Инф.матер. ВОДГЕО, вып.6, 1954.

29. Вопросы подтопления застроенных территорий и борьба с ним. Отв.ред. д.т.н. С.К.Абрамов, к.т.н. Е.С.Дзекцер, М., 1973. ЦИНИС Госстроя СССР, Реферативный сборник. Сер.П. Инж.изыскания в стр-ве. Вып.I (19).

30. Временные указания по проектированию фильтров из искусственных минеральных волокнистых материалов в дренажах мелиоративных систем и гидротехнических сооружений. Ин-т гидромеханики АН УССР, Минводхоз УССР, Киев, 1968.

31. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. Изд. "Недра", М., 1976.

32. Галин Л.А. Неустановившаяся фильтрация со свободной поверхностью. ДАН СССР, т.47, вып.4, 1945.

33. Гидроизоляция подземных частей зданий и сооружений. Опыт зарубежного строительства (обзор). Стройиздат, М., 1972.

34. Гиринский Н.К. Некоторые вопросы динамики подземных вод. Гидрогеология и инженерная геология. № 9, 1947.

35. Гиринский Н.К. Расчет притока воды в подземные выработки в условиях взаимодействия трех водоносных пластов. Сб. "Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии", вып.13, 1950.

36. Гиринский Н.К. Определение коэффициента фильтрации. Госгеолиздат, 1950.

37. Глоговский М.М. Дебит скважин, несовершенных по степени вскрытия. "Труды Московского нефтяного института", 1951, вып.II.

38. Гусейн-Заде М.А. Особенности движения жидкости в неоднородной среде."Недра", 1965.

39. Дегтярев Б.М. Вакуумирование горизонтальных дрен. "Гидротехника и мелиорация", 1968, № I.

40. Дегтярев Б.М. Основные задачи научных исследований новых видов дренажа в связи с проблемой защиты от подтопления территорий промплощадок. В сб. "Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьба с их подтоплением". Белгород, 1972.

41. Дегтярев Б.М. Сортамент дренажных трубофильтров для промышленного строительства. "Промышленное строительство", 1972, № II.

42. Дегтярев Б.М., Калантаев В.А. Вакуумный дренаж на орошаемых землях. М., "Колос", 1976.

43. Дегтярев Б.М., Кузьмина А.С., Шмурнов А.Е. Исследование деформаций и прочности трубофильтров из пористого бетона. "Труды ВНИИ ВОДГЕО", гидрогеология, 1972, вып.35.

44. Джафаров Г.М. Исследование напряженного состояния дренажных труб. "Труды АзНИИГиМ", т.УП, 1968.

45. Дзекцер Е.С. Геогидромеханические аспекты проблемы подтопления застроенных территорий подземными водами. В кн.: Климат.Город.Человек. Сб. I. Инженерная деятельность человека и геологическая среда. М., Моск.ун-т, 1976.

46. Дзекцер Е.С., Гавшина З.П. Схематизация изменений водного режима на территориях промышленных предприятий. "Промышленное строительство", 1973, № II.

47. Евдокимова Н.В. Динамика притока грунтовых вод к осушительным дренам в многослойной среде. "Тр.координационного совещания по гидротехнике", вып.ХХУ, 1966.

48. Жернов И.Е., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод. "Недра", М., 1971.

49. Журавский А.М. Справочник по эллиптическим функциям. М., Изд-во АН СССР, 1941.

50. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Изд. "Машиностроение", 1975.

51. Инструкция по устройству асфальтовой штукатурной гидроизоляции горячим способом. ВСН 023-69 Минэнерго СССР "Энергия", М., 1973.

52. Инструкция по проектированию оросительных систем. Часть УП. Дренаж на орошаемых землях (ВСН-П-8-74). Изд. ВНИИГиМ, 1975.

53. Камбефор А. Инъекция грунтов. Изд-во "Энергия", М., 1971.

54. Карагодин В.Л., Молоков М.В. Отвод поверхностных вод с городской территории. М., Стройиздат, 1974.

55. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М., "Наука", 1964.

56. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Изд."Энергия", 1972.

57. Кольцевые дренажи в промышленном и городском строи-

тельстве. Под ред. С.К.Абрамова, М., Стройиздат, 1971.

58.Кондратьев В.Н. Фильтрация и механическая суффозия в несвязных грунтах. Крымиздат, 1958.

59. Котлов Ф.В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. М.,"Наука", 1977.

60. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Основные дифференциальные уравнения математической физики. Физматгиз, 1962.

61. Кристеа Н. Подземная гидравлика. т.I, М., Гостоптехиздат, 1961.

62. Круглицкий Н.Н., Мильковицкий С.И., Скворцов В.Ф., Шейнблюм В.М. Траншейные стенки в грунтах. Изд-во "Наукова думка", Киев, 1973.

63. Карплюс У. Моделирующие устройства для решения задач теории поля. Изд. иностр. литер., 1962г.

64. Ломизе Г.М., Нетушил А.В. Электроосмотическое водопонижение. Госэнергоиздат, М.-Л., 1958.

65. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М., "Высшая школа", 1967.

66. Масловский Е.А., Абрамов С.К., Глубокий дренаж. М., Стройиздат, 1964.

67. Методические указания по интенсификации водоотбора путем вакуумирования дренажных устройств и нагнетания воздуха в пласт. ЦНИИГоросушение. Белгород, 1967.

68. Методическое пособие по расчету параметров гравийных фильтров дренажных и водозаборных скважин. Изд. ВИОГЕМ, г.Белгород, 1971.

69. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. Под ред. Н.Н.Веригина, М., "Колос", 1970.

70. Мироненко В.А., Норватов Ю.А., Бокий Л.Л. Фильтрационные расчеты осушения карьерных полей. Изд. ВНИМИ, 1965.

71. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики М., "Недра", 1974.

72. Муфтахов А.Ж. Приток подземных вод к кольцевому несовершенному горизонтальному дренажу. "Известия АН СССР", МЖГ, 1969, № 1.

73. Муфтахов А.Ж. О притоке подземных вод к дренажам, оконтуривающим шламовые поля. -"Материалы II конференции ин-та

ВИОГЕМ", Белгород, 1969.

74. Мятиев А.Н. Напорный комплекс и колодцы. Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 1947.

75. Недрига В.П. Инженерная защита подземных вод от загрязнения промышленными стоками. М., Стройиздат, 1976.

76. Недрига В.П., Павилонский В.М., Цейтлин А.С. Противофильтрационные глинистые экраны шламохранилищ и их фильтрационный расчет. В сб."Труды ВНИИ ВОДГЕО", вып.35, М., 1972.

77. Недрига В.П., Покровский Г.И. Фильтрационный расчет комбинированного дренажа в однородной среде. "Труды ВНИИ ВОДГЕО", 1973, № 5.

78. Олейник А.Я. Расчет дополнительных фильтрационных сопротивлений горизонтальных дрен и несовершенных скважин в двухслойном пласте. "Труды координационных совещаний по гидротехнике", 1967, вып.35.

79. Олейник А.Я. Неустановившийся приток грунтовых вод к систематическому горизонтальному дренажу в двухслойном грунте. Сб."Динамика сплошной среды", вып.2, 1969.

80. Осипов А.Д., Ронжин И.С., Панфилов В.С. Дренажи и фильтры из пористого бетона. М., "Энергия", 1972.

81. Пивовар Н.Г., Бугай Н.Г. Фильтры из минеральных волокнистых материалов для трубчатого дренажа. "Гидротехника и мелиорация", № 2, 1967.

82. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М., Гостехтеориздат, 1952.

83. Полубаринова-Кочина П.Я., Пряжинская В.С., Эмих В.Н. Математические методы в вопросах орошения. М., "Наука", 1969.

84. Полченко С.Н. Справочник по гидроизоляции сооружений. Стройиздат, Л., 1975.

85. Потлов Г.Г., Самойлова Н.Н. Причины и факторы подтопления грунтовыми водами элеваторов Западной Сибири. Реф.сб. "Инженерные изыскания в строительстве . Подтопление застроенных территорий и борьба с ним". М., ЦИНИС, 1975, вып.6(40).

86. Прогноз и предотвращение подтопления грунтовыми водами территорий при строительстве. Под ред.С.К.Абрамова. Стройиздат, 1978.

87. Проектирование и создание противофильтрационных устройств в основании высоких плотин. Сб.тезисов докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию. Кн. I,2, М., 1972.

88. Проектирование водозаборов подземных вод. Под ред. Ф.М.Бочевера. М., Стройиздат, 1976.

89. Разумов Г.А. Глубокий дренаж орошаемых земель с помощью лучевых водозаборов (методическое пособие). Гипроводхоз, 1967.

90. Разумов Г.А. Комбинированный дренаж слабопроницаемых грунтов. IX Межд.конгресс по ирригации и дренажу (вопрос 31). Сборник статей советских специалистов, ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

91. Разумов Г.А. Расчеты лучевых дренажей. Сборник "Инженерные изыскания в строительстве", серия ХУ, рефер.информ., выпуск 3/56, Госстрой СССР, ЦИНИС, М., 1977.

92. Рекомендации по проектированию инженерных коммуникаций, прокладываемых в торфах и илистых грунтах (в условиях г.Архангельска и других аналогичных условиях). Стройиздат, М., 1972.

93. Рекомендации по применению активированного торкрета в конструкциях сооружений. "Энергия", 1973.

94. Рекомендации по расчету противофильтрационных стенок и подбору материалов для их заполнения. НИИ оснований и подземных сооружений. М., 1973.

95. Рекомендации по определению параметров гибких витых дренажных труб из жесткого поливинилхлорида. НИИ строительного производства Госстроя УССР. Киев, 1973.

96. Рекомендации по проектированию и расчетам горизонтальных дренажей с применением трубофильтров из пористого бетона. М.,ВНИИ ВОДГЕО, 1973.

97. Рекомендации по изучению режима и баланса грунтовых вод на подтопливаемых промышленных площадках. М.,ВНИИ ВОДГЕО,1973.

98. Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. М., 1976.

99. Романов А.В. Приток воды к водозаборам подземных вод и дренам. "Труды ВНИИ ВОДГЕО", 1952, № 1.

100. Ромм Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород."Недра", 1966.

101. Рудаков В.К. Методы прогнозных расчетов влияния орошения на режим грунтовых вод. Тр. НИИ геологии ДГУ, вып.3, 1970.

102. Рудиков В.С., Заржецкий Е.В. Опыт сооружения малых лучевых водозаборов. Технический прогресс при строительстве скважин на воду, материалы семинара. Моск.Дом научно-технической

пропаганды им. Ф.Э.Дзержинского, 1974.

103. Руководство по применению коллоидного цементного раствора и активированного торкрета для гидроизоляции конструкций энергетических сооружений. ВНИИГ, "Энергия", Л., 1973.

104. Руководство по устройству холодной асфальтовой гидроизоляции и безрулонных кровель. ВНИИГ, "Энергия", Л., 1974.

105. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений, подраздел "Грунтовые воды". М., Стройиздат, 1977.

106. Смирнов Р.А., Богданов В.И., Гриза Д.А., Солдак А.Г. Гидрогеологические изыскания на застроенных территориях (Практ. пособие), Киев, "Будивельник", 1973.

107. СНиП, П-31-74. Водоснабжение, 5.66-5.81. Стройиздат, 1975.

108. СНиП П-15-74. Основания зданий и сооружений. Раздел "Грунтовые воды", М., Стройиздат, 1975.

109. Сооружение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин. Под ред.докт.техн.наук В.М.Гаврилко.

110. Справочное руководство гидрогеолога. Под ред. В.М.Максимова. Изд. "Недра", 1967.

111. Труды совещания по вопросу понижения уровня грунтовых вод. Стройиздат. М., 1966.

112. Угинчус А.А. Расчет фильтрации через земляные плотины. Стройиздат, 1940.

113. Указания по глубинному вакуумированию скважин и грунта при водопонижении. Стройиздат, М., 1961.

114. Указания по проектированию сооружений для забора подземных вод. СН 325-65. Стройиздат, М., 1966.

115. Указания по проектированию и устройству монолитных асфальтобетонных облицовок гидротехнических сооружений. ВСН 17-68 "Энергия", Л., 1968.

116. Указания по проектированию противофильтрационных цементационных завес в скальных основаниях бетонных плотин. "Энергия", Л., 1968.

117. Указания по проектированию оросительных систем. ч.УП. Дренаж на орошаемых землях. М., 1972.

118. Усенко В.С. Вопросы теории фильтрационных расчетов дренажных и водозаборных скважин. М., "Колос", 1968.

119. Фильтры дренажные из искусственных минеральных во-

локнистых материалов. ОСТ 33-10-73, Минводхоз, М., 1973.

120. Фильчаков П.Ф., Панчишин В.И. Интеграторы ЭГДА. АН УССР, 1961.

121. Фоменко В.И. Результаты моделирования методом ЭГДА пространственной фильтрации к несовершенным скважинам при изменении проницаемости пласта по радиусу. "Тр.координационных совещаний по гидротехнике", вып.33. Изд. "Энергия", Л., 1974.

122. Фоменко В.И. Подбор и расчет фильтров дренажных и водозаборных скважин. Сб. "Мелиорация, гидротехника и водоснабжение", вып.3, Изд. БСХА, г.Горки, 1975.

123. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М., Гостоптехиздат, 1963.

124. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. Изд. МГУ, 1956.

125. Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов при фильтрации из хранилищ промстоков. Научное сообщение лаб.водного хозяйства. ВОДГЕО, 1961, № 3.

127. Шестаков В.М. Методические указания по расчетам систематического дренажа в слоистых пластах". Изд. ВСЕГИНГЕО, 1966.

128. Янке Е., Эмде Ф. Таблицы функций с формулами и кривыми. М., Физматгиз.

129. *Electro-osmosis. - Buildings Materials*, 1968, № 10.

130. *De Wiest R.J. „On the coefficient and the equations". J. Geophys*, 1966, № 1.

131. *Matschak H. Überblick über die Vakuumverfahren und ihre Anwendung zur Entwässerung feinsändiger Böden. „Bergakademie"*, 1961, № 3, в. 13.

Рекомендации по проектированию и расчётам защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами.

Научные редакторы: д.т.н., проф. С.К.Абрамов и к.т.н. В.С.Алексеев.

ВНИИ "ВОДГЕО"
Москва, II9826, Комсомольский проспект, 42

Цена I руб.

Д 100651 Подп. к печ. 15.06.78 г. Объём I3,7
Тираж I000 экз. Заказ 364

Тип. ВНИИ "ВОДГЕО", пл. Кучино, Моск. ж.д. (Горьк. напр.)
Гидрогородок, I5