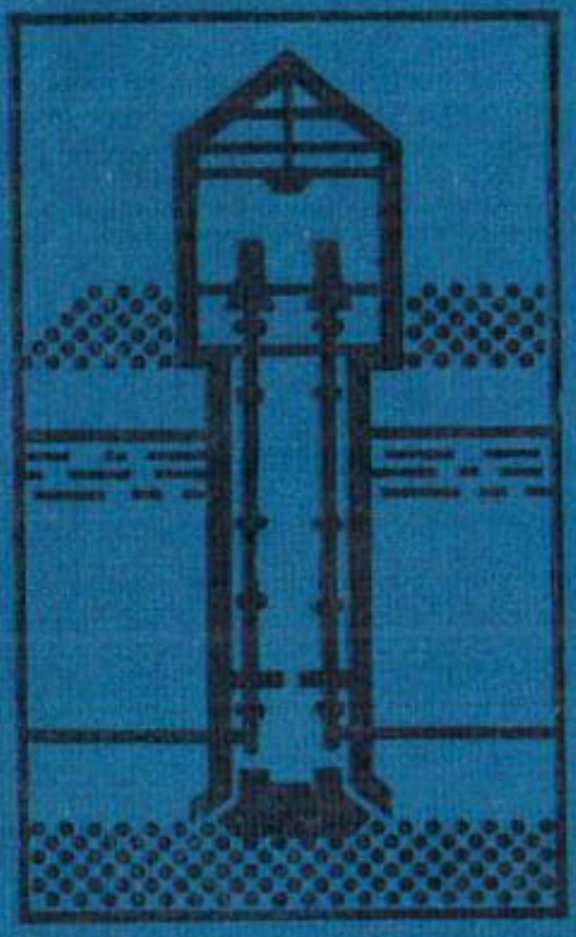
Г.А. Разумов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ДРЕНАЖЕЙ



СТРОЙИЗДАТ

Г. А. РАЗУМОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ДРЕНАЖЕЙ



МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1988

ББК 38.774
Р 17
УДК 628.112+626.862

Печатается по решению секции литературы по инженерному оборудованию редакционного совета Стройиздата

Рецензент — д-р геол.-минерал. наук, проф. Л. С. Язвин

Разумов Г. А.
Р 17 Проектирование и строительство горизонтальных водозаборов и дренажей. — М.: Стройиздат, 1988. — 240 с.: ил. — ISBN 5-274-00105-X

Изложены основные вопросы инженерных изысканий, научных исследований, проектирования и строительства горизонтальных водозаборов. Дана методика расчета и выбора рациональных конструкций, а также их сооружения. Рассмотрены технико-экономические показатели и эффективность применения горизонтальных водозаборов и дренажей по сравнению с другими типами. Описан зарубежный опыт работы таких водозаборов.

Для инженерно-технических и научных работников проектных, изыскательских, строительных и научно-исследовательских организаций, а также служб эксплуатации.

Р $\frac{3302000000-449}{047(01)-88}$ 51—88

ББК 38.774

ISBN 5-274-00105-X

© Стройиздат, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, утвержденными XXVII съездом КПСС, в нашей стране ведется широкое промышленное и жилищно-гражданское строительство. Оно неразрывно связано с развитием водоснабжения, которое в значительной степени основано на использовании подземных вод. В настоящее время эксплуатация водоносных пластов ведется главным образом с применением водозаборов вертикального типа. При этом наиболее распространенным видом водозаборов являются буровые водяные скважины, которые откачивают воду из водообильных песчаных и песчано-галечных грунтов. Однако такие гидрогеологические условия имеются далеко не везде: наиболее распространены слабопроницаемые и маломощные водоносные пласты, отбирать воду из которых с использованием вертикальных скважин зачастую неэкономично или вообще невозможно.

В таких случаях применяют водозаборы подземных вод с горизонтальной водоприемной частью, имеющие более высокую водозахватную способность. Будучи неглубоко заложенными и достаточно протяженными, они позволяют эксплуатировать небольшие водоносные пласты малой водопроницаемости.

Особое место среди горизонтальных водозаборов подземных вод занимают лучевые водозаборы, которые представляют собой радиальную систему горизонтальных скважин, сходящихся в центрально расположенном водосборном колодце. Охватывая значительную по величине зону водоносного пласта, они способны откачивать большие объемы воды, что обусловливает надежность

водоснабжения крупных водопотребителей. В то же время, обладая достаточной компактностью, лучевые водозаборы эффективно работают и в маломощных водоносных пластах, обеспечивая подачу небольших количеств воды (например, для сельскохозяйственных целей и в пастбищном водоснабжении).

Широко применяются горизонтальные и лучевые промышленные и городские дренажи, входящие в систему инженерной защиты территорий от подтопления подземными водами, а также в других областях водопонижения и осушения. В стесненных условиях плотной застройки лучевые дренажи, закладываемые бестраншейным способом, находят все большее распространение. Особенно они эффективны в часто встречающихся слабопроницаемых грунтах.

В предлагаемой читателю книге приведены результаты анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта проектирования (в том числе расчета), строительства и исследований горизонтальных водозаборов и дренажей. В ней подводятся итоги более чем двадцатипятилетней научно-исследовательской, проектной и производственной работы автора в этой области (первая из его книг вышла в свет в 1962 г.)*.

Книга содержит результаты теоретических разработок в области фильтрационного расчета радиальных систем горизонтальных скважин конечной длины, конструирования водоприемной части лучевых водозаборов, лабораторных и производственных экспериментальных работ в грунтовых лотках и на строящихся и действующих водозаборах.

При непосредственном участии автора проектировались и строились лучевые водозаборы в Рустави, Уфе, Пензе и других городах, а также был составлен типовой проект лучевого водозабора, выпущенный институтом Союзгипроводхоз в 1985 г. Эти материалы также нашли отражение в книге.

В связи с актуальностью проблемы в последние годы проведены многочисленные исследования и опубликованы их результаты по вопросам расчета и теоретического обоснования конструкций водозаборов и дренажей. В то же время существует известное отставание в разви-

---

* **Г. А. Разумов.** Лучевые водозаборы для водоснабжения городов и промышленности. — М.: Минкомхоз РСФСР, 1962.

тии методов их строительства, что относится в наибольшей степени к прокладке горизонтальных фильтров лучевых водозаборов. Поэтому автор счел своим долгом уделить этим вопросам особое внимание.

Так как сооружение водозаборов и дренажей — комплексная задача, для ее освещения привлечены разнообразные сведения и из смежных областей инженерного дела: бестраншейной прокладки трубопроводов, устройства опускных колодцев (кессонов), гидромелиоративного дренажа и т. д. Следует отметить, что вопросы проектирования, расчета и строительства горизонтального дренажа на орошаемых и осушаемых землях в данном случае не рассматриваются, поскольку имеют существенные отличия от дренажа застроенных территорий.

Книга написана в форме, удобной для пользования в инженерной практике, в частности, кроме результатов научных исследований она содержит и справочно-информационный материал, который может быть полезен при проектировании и строительстве.

Автор выражает искреннюю благодарность д-ру геол.-минерал. наук, проф. Л. С. Язвину за ценные советы и полезные замечания, сделанные в процессе рецензирования книги.

Глава 1. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ДРЕНАЖЕЙ

1. Развитие строительства, проектирования и исследований в области горизонтальных и лучевых водозаборов и дренажей

В истории русской гидротехники горизонтальные каптажные и дренажные сооружения известны с древнейших времен. Археологические исследования, проведенные на территории бывшего Великого Новгорода, показали, что горизонтальные деревянные дренажи, выполненные из цельных долбленых бревен или коробчатых дощатых лотков и труб, широко использовались древними строителями для водоотведения и водосбора. С давних времен на северо-западе Руси для устройства горизонтальных дренажей и каптажей применялись также деревянные сооружения в виде берестяных труб, фашинных, жердяных и других простейших водоотводов и водосборов.

Позднее горизонтальные каптажи наиболее широкое применение нашли в русском фортификационном инженерном деле для водоснабжения крепостей водой из водосборных тайников: линейных или радиальных подземных штолен и галерей. В XVIII—XIX вв. во многих губерниях Центральной России применялись для водоснабжения подземные фильтрационные водозаборы, которые строились открытым способом.

Интенсивное развитие горизонтальных и наклонных скважин началось в XX в. Оно было связано с увеличением нефтедобычи в США. Впервые многозабойное бурение двух наклонно-горизонтальных стволов, дополнявших вертикальную нефтяную скважину, было осуществлено в конце 20-х гг. нашего столетия в Техасе. Скважины длиной по 7 м были пробурены на глубине почти 1000 м и увеличили дебит нефти с 0,25 до 9,6 т/сут.

Разработанные вначале для нефтедобычи, горизонтальные и наклонные скважины стали использоваться и в области водоснабжения подземными водами. При этом применялся метод вскрытия продуктивного пласта горизонтальными радиальными скважинами, пробурен-

ными лучами из вертикального шахтного ствола. Запатентованный Л. Реннеем, этот метод был внедрен в практику нефтедобычи в Мак-Коннелсвилле, штат Огайо.

Другой метод был предложен американским нефтяником Д. Зублиным и предусматривал бурение наклонно-горизонтальных скважин прямо с поверхности земли путем искривления направления проходки и применения гибких буровых труб и турбодолота. Он впервые был применен для восстановления нефтедобычи на отработанном месторождении нефти в Калифорнии: на глубине 1700 м была осуществлена проходка наклонно-горизонтальных скважин длиной по 40 м с радиусом искривления стволов 6—10 м.

В СССР горизонтальные и наклонные скважины в нефтедобыче впервые нашли применение в 1947 г. на Краснокамском нефтяном месторождении, где из основного вертикального ствола были пробурены две искривленные дополнительные скважины — усилители, ответвляющиеся от основной скважины на 30—35 м. Экспериментально-производственное бурение наклонно-горизонтальных нефтяных скважин с клинообразными отклонителями буровых труб было выполнено впервые на Карташовском, Тереклинском и Южно-Введенском месторождениях нефти в Башкирии в 1952—53 и 1959—60 гг.

Следует отметить, что горизонтальные радиальные скважины, пробуренные из вертикального шахтного ствола, сначала были применены не в нефтедобыче, а именно для откачки подземных вод. Разработанный Л. Реннеем метод продавливания в рыхлые грунты водосборных фильтровых труб впервые был опробован в 1934 г. на строительстве лучевого водозабора для лондонского водопровода в пригороде Санберри-Кроа. Каптирующий песчано-гравийный водоносный пласт аллювиальных отложений Темзы, этот первый в мире водозабор такого типа имел производительность более 100 л/с и служил для покрытия пиковой части нагрузки графика водоснабжения одного из крупных районов английской столицы.

Первый лучевой водозабор в США был введен в эксплуатацию в штате Огайо в 1936 г. В последующие 25 лет для промышленного водоснабжения было построено примерно 160 подземных водозаборов с радиальными горизонтальными скважинами в Калифорнии, Индиане, Коннектикуте и др. штатах США.

После второй мировой войны строительство лучевых

водозаборов широко распространилось в Европе. В 1947 г. в Швейцарии для эксплуатации водоносных горизонтов в разнозернистых песчаных грунтах была впервые осуществлена проходка горизонтальных скважин с их обсадкой глухими трубами методом Г. Фельмана. В дальнейшем этим методом было возведено большое число лучевых водозаборов в Австрии, ФРГ, Италии, Франции и других странах Европы, а затем в Азии и Америке.

Первый лучевой водозабор в СССР был построен в 1960—61 гг. для системы законтурного обводнения нефтяного месторождения в Татарии. В дальнейшем широкое распространение такие водозаборы нашли в области промышленного и жилищно-коммунального отечественного водоснабжения в Литве, Башкирии, Грузии, на Украине и др. районах нашей страны [4].

В начале 60-х годов началось широкое использование для сельскохозяйственного, в частности, пастбищного водоснабжения шахтных колодцев, усиленных короткими горизонтальными лучевыми фильтрами. Наибольшее распространение такие водозаборы нашли в южных районах европейской части СССР. Благодаря научно-исследовательским и проектно-изыскательским работам ВНИИГиМа Минводхоза СССР, ЮжНИИГиМа, Южгипроводхоза Минводхоза РСФСР и других организаций малые лучевые водозаборы для водопоя скота были построены на отгонных пастбищах в Калмыкии, Ставропольском крае, Астраханской, Волгоградской, Ростовской областях и др. [18].

В качестве средства для осушения и рассоления при промывках слабопроницаемых почвогрунтов на орошаемых сельскохозяйственных землях лучевой дренаж был впервые предложен в 1963 г. Г. А. Разумовым и А. И. Мирским*.

В области шахтного водоотлива радиальные системы горизонтальных дрен и водопонизительные скважины с горизонтальными фильтрами-усилителями стали сооружаться в СССР с начала 50-х годов. По предложению К. Г. Кассюры и А. М. Григоряна такая система шахтного водоотлива была применена в 1954—55 гг. на бокситовом руднике, расположенном на обводненной терри-

---

* А. с. 158176 СССР, МКИ³ *A* 01*g*25/00. Способ рассоления и осушения слабопроницаемых грунтов с помощью лучевого дренажа.

тории, сложенной сильно обводненными закарстованными известняками.

Системы горизонтальных параллельных дрен конечной длины использовались для осушения бортов карьеров при открытой разработке полезных ископаемых. Так, в середине 60-х гг. горизонтальные трубчатые параллельные фильтры были применены при водопонижении на Лебединском железорудном карьере Курской магнитной аномалии, Марьевском и Алексеевском карьерах Никопольского марганцевого бассейна.

Контурное водопонижение строительных котлованов с помощью параллельных горизонтальных скважин было впервые в опытном порядке опробовано при строительном водопонижении в котловане Каневской ГЭС в 1966 г. Позже этот метод был применен экспериментально на строительстве Саратовской ГЭС, Никопольских защитных дамб Каховского водохранилища, Киевской ГЭС и других объектах.

Работы по использованию радиальных систем горизонтальных скважин (лучевого дренажа) для водопонижения и дренажа начались в СССР с их применения при строительном водопонижении в котловане Киевской ГЭС на Днепре в 1964 г. [4, 41]. В области защиты промышленных площадок от подтопления подземными водами лучевые дренажи по инициативе института ВИОГЕМ Минчермета СССР начали внедряться с 1974 г., когда этот вид дренажных сооружений прошел опытно-производственное испытание на территории Центрального ГОКа в Кривом Роге. После этого лучевые дренажи нашли довольно широкое применение на промплощадках Украины и РСФСР, расположенных на территориях, сложенных повсеместно распространенными слабопроницаемыми грунтами, подтопленными подземными водами [5, 6, 8]. С 1985 г. они начали внедряться и на территориях городов. В частности, ведется строительство лучевых дренажей в пределах жилищно-гражданской застройки Харькова.

В области научных исследований и расчетов горизонтальных (наклонных) скважин конечной длины первые серьезные работы были начаты в СССР в 1940 г., когда В. С. Козлов опубликовал статью, посвященную фильтрационным расчетам систем параллельных горизонтальных скважин. Первые экспериментальные исследования радиальных систем горизонтальных скважин

в грунтовом фильтрационном лотке провел В. К. Панкратов в Украинском научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации в 1948—50 гг. А в 1955 г. академиком П. Я. Полубариновой-Кочиной была решена серия фильтрационных задач о притоке подземных вод к горизонтальным и наклонным скважинам конечной длины [24]. Для расчетной схемы водоносного пласта с водоупором ряд задач о притоке к горизонтальным радиальным скважинам в 1960—64 гг. был решен автором настоящей книги*. Формулы для расчета лучевых водозаборов и дренажей методом фильтрационных сопротивлений с приведением пространственного потока к двухмерному получены В. М. Шестаковым [44].

За рубежом первая наиболее интересная теоретическая работа в области фильтрационного расчета лучевых водозаборов была выполнена Н. С. Хантушем и И. С. Пападопулосом (США) в 1962 г. и рассматривала неустановившийся режим фильтрации. Другие важные теоретические исследования в этой области были сделаны Б. Кордасом (Польша), М. Гылыбовым (Болгария), И. Вернер (ГДР) и др.

В СССР и за рубежом были также проведены многочисленные экспериментальные исследования методом аналогового, математического и физического моделирования, проведенные как для обоснования конкретных объектов водоснабжения и дренажа, так и для решения тестовых задач. Они позволили выявить целый ряд важных закономерностей фильтрации к горизонтальным радиальным и параллельным скважинам конечной длины.

Серии экспериментов проведены на физических фильтрационных моделях — в грунтовых напорных и безнапорных прямоугольных, секторных и цилиндрических лотках. В этих исследованиях в основном решались вопросы гидравлики горизонтальных скважин [4, 13, 20].

Меньшая часть исследований посвящена изучению вопросов проходки горизонтальных скважин методами задавливания с отбором грунта в забое, прокола без отбора грунта и вращательного, в частности, шнекового бурения. Хотя первые научные и практические работы в области закрытой прокладки трубопроводов в СССР и за рубежом начались еще в 30-х гг., основные достижения

---

* **Разумов Г. А.** Горизонтальные скважины конечной длины в водоносном пласте ограниченной мощности. «Прикладная механика и теоретическая физика». — АН СССР, 1961, № 5

относятся к 50—60-м гг. нашего столетия. Именно в этот период развернулись работы по созданию специального оборудования для бестраншейной прокладки трубопроводов и кабелей, были разработаны вращательные, ударно-забивные и виброударные станки в США, Франции, Англии, ФРГ, Швейцарии и других странах Европы. В СССР теоретические, экспериментальные и натурные исследования были выполнены в научных, проектно-конструкторских, проектно-изыскательских и производственных организациях различных ведомств.

За рубежом большие проектно-конструкторские и исследовательские работы в области фильтрационного и гидравлического расчета радиальных систем горизонтальных скважин, а также в части конструкций лучевых водозаборов и дренажей проведены в ФРГ, ГДР, США, Польше, Югославии, Австрии, Болгарии, Франции, Чехословакии, Швейцарии [49—52].

2. Горизонтальные водозаборы

Условия, области применения и компоновка сооружений водозаборов. В равнинных, горных и межгорных зонах СССР повсеместно распространены маломощные водоносные пласты, расположенные на небольшой глубине от поверхности земли. В таких условиях весьма эффективны подземные водозаборы горизонтального типа, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными скважинными водозаборами. Горизонтальные каптажные сооружения в отличие от вертикальных скважин имеют длину, которая не ограничена мощностью пласта, что позволяет обеспечить откачку достаточно большого количества воды из водоносных пластов и прослоев (линз) даже очень малой мощности (менее 2 м). При этом удельный фильтрационный приток (дебит) на единицу длины водосборной части горизонтального водозабора оказывается намного меньшим, чем в случае вертикальных скважин, заложенных в этом же водоносном пласте. В связи с этим нагрузка на фильтры горизонтального водозабора обычно бывает незначительной, а скорость входа в них воды — небольшой. Поэтому имеющие место на водозаборных скважинах негативные явления, связанные с суффозионными и кольматационными процессами, в данном случае проявляются меньше, хотя водозахватная способность гори-

зонтальных водозаборов остается достаточно высокой.

Таким образом, горизонтальные каптажные сооружения могут обеспечивать откачку теоретически любого количества воды, ограничить которое может лишь наличие запасов подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта и технические средства для строительства самого водозабора. Развитие (удлинение) линейного горизонтального водозабора вдоль по простиранию водоносного горизонта или поперек него позволяет наращивать величину водоотбора на перспективу расширения водоснабжения. При этом, конечно, важное значение имеют и технико-экономические показатели водозабора, рассматриваемые в удельном выражении, т. е. отнесенные к единице подаваемой потребителям воды на единицу длины водоприемной части водозабора.

Одной из наиболее перспективных областей применения горизонтальных водозаборов являются территории, расположенные в долинах равнинных рек и озер, которые в гидрогеологическом отношении представляют собой зону разгрузки подземных вод. Особенно актуален каптаж подрусловых вод, приуроченных к аллювиальным речным и озерным отложениям. В частности, это имеет большое значение в случае использования подрусловых водоносных горизонтов малых рек с непостоянным стоком, величина которого может уменьшаться практически до нуля.

К таким водотокам относятся, например, пересыхающие эпизодически или периодически, полностью или частично реки аридной зоны. К ним можно причислить также промерзающие на длительный срок до дна в зимний меженный период многочисленные небольшие реки Севера, Сибири и Дальнего Востока. Гарантированный круглогодовой бесплотинный забор в этих условиях могут обеспечить инфильтрационные горизонтальные водозаборы, в экстремальный период года каптирующие подрусловые горизонты подземных вод. Производительность этих водозаборов меньше зависит от погодно-климатических условий в отличие от водозаборов поверхностных вод.

Конечно, колебания уровня подруслового подземного потока следуют за изменениями поверхностного стока в сезонном цикле, однако режим подземных вод более стабилен и динамика его колебания носит менее резкий характер. Кроме того, амплитуда изменения качествен-

ных (кроме количественных) характеристик подрусловых вод значительно меньше, чем поверхностных. Это, в частности, имеет большое значение при устройстве водозаборов в условиях жаркого климата, где подрусловые воды в отличие от поверхностных сохраняют достаточное постоянство температуры в течение всего года. Наряду с отсутствием в подрусловых водах больших механических и других загрязнений, это является существенным преимуществом подземных инфильтрационных водозаборов по сравнению с поверхностным водозабором из открытых источников.

Следует учитывать и то, что водозаборы с горизонтальными водозахватными устройствами в отличие от вертикальных скважин могут перехватывать почти весь подрусловый поток, что обеспечивает его более полное использование и высокую эффективность капитальных затрат на строительство водозабора.

Водоснабжение, основанное на применении инфильтрационных водозаборов, имеет и еще одно достоинство, которое чрезвычайно важно в условиях маловодообильных подрусловых пластов небольшой мощности. При ограниченных запасах подрусловых подземных вод инфильтрационные водозаборы получают дополнительную подпитку из рек, что позволяет им обеспечить водопотребление в заданных объемах. Такое двойное питание повышает надежность водоснабжения как при снижении поступления поверхностных вод, так и при ограниченности подземного подруслового потока.

Благодаря указанным достоинствам инфильтрационные водозаборы горизонтального типа получили широкое распространение в области промышленного и жилищно-коммунального водоснабжения в СССР и за рубежом. В нашей стране они построены на Северном Кавказе, в Закавказье, на Украине, в Прибалтике, Сибири, Дальнем Востоке и других районах Союза ССР. На использовании инфильтрационных водозаборов основано городское водоснабжение Уссурийска, Якутска, Новокузнецка, Бийска, Пятигорска, Усть-Каменогорска, Уфы, Каунаса и многих других городов.

Крупные береговые инфильтрационные водозаборы обычно располагают на больших реках со стабильным поверхностным стоком. Для более полного перехвата потока подземных вод водоприемную часть водозабора размещают вблизи уреза воды в реке при меженном уров-

не 85 % обеспеченности. Для очистки поверхностных вод от механических загрязнений инфильтрационный водозабор располагают на некотором расстоянии от уреза воды в реке: для берегов, сложенных песчаными грунтами, — на расстоянии 10 — 20 м, гравийно-галечными — 20—40 м. В ряде случаев для удлинения пути фильтрации воды и ее лучшего самоочищения водозахватные устройства водозабора перекрывают глиняными экранами. Для предотвращения поступления к водозабору неочищенной речной воды в паводок участки водозаборных сооружений ограждают специальными заградительными дамбами. Следует иметь в виду, что в отличие от вертикальных водозахватных устройств, расположенных, как правило, на большей глубине от поверхности земли, горизонтальные водозаборы меньше защищены от внешнего загрязнения, поступающего с водой из реки через прибрежные аллювиальные отложения.

Область применения горизонтальных водозаборов в значительной мере ограничивается технологическими возможностями строительства. С этих позиций подземные водозаборы горизонтального типа могут применяться для эксплуатации водоносных горизонтов небольшой мощности, подошва которых расположена на глубине до 8 м от поверхности земли. При необходимости использования водоносных горизонтов, залегающих на бóльшей глубине, для ответственных систем водоснабжения возможно применение с соответствующим обоснованием горизонтальных водозаборов бестраншейшего типа, в частности, водосборных тоннелей, штолен и т. д. В скальных породах горизонтальные водозаборы в виде водосборных тоннелей и штолен могут сооружаться на любой глубине залегания водоносных пород.

При компоновке сооружений водозабора учитываются местные гидрогеологические и гидрологические условия участка. Так, при питании водоносного горизонта из открытого водотока (водоема) водоприемную часть горизонтального водозабора располагают параллельно урезу воды в водотоке (водоеме). При направлении движения подземных вод со склонов долины водозабор должен располагаться вдоль ее тальвега, а при движении подземных вод вдоль оврага (балки) его размещают поперек оврага.

Отбор воды из водоносного горизонта осуществляется системой водоприемных и водоотводных сооружений

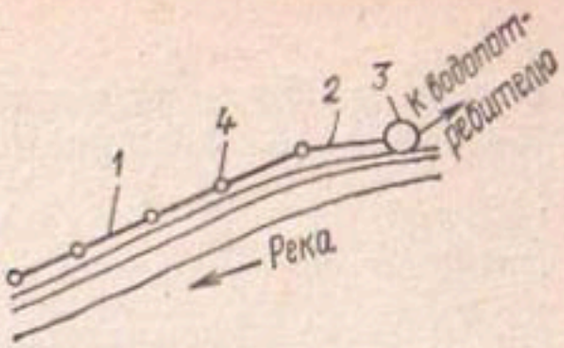


Рис. 1.1. Схема компоновки сооружений горизонтального водозабора

1 — водозахватная часть водозабора; 2 — водопроводящая часть (коллектор); 3 — водосборный колодец (камера); 4 — смотровые колодцы

(рис. 1.1). Целесообразным техническим решением является совмещение водосборного колодца (камеры) с насосной станцией.

Для интенсификации работы инфильтрационных горизонтальных водозаборов в последние десятилетия используют искусственное пополнение запасов подземных вод (магазинирование). Оно осуществляется путем перевода дополнительного количества поверхностных, речных вод в подземное пространство с помощью строительства специальных фильтрационных бассейнов, каналов, водохранилищ, устройства речных проток, прорезей, спрямлений и отводов русел рек. Другим способом искусственного восполнения эксплуатационных запасов подрусловых вод является возведение водоподпорных плотин (баражей) и дамб, повышающих уровень воды в реке и тем самым увеличивающих гидростатический напор, под действием которого происходит фильтрационный приток подземных вод к водозабору.

Примером горизонтального галерейного водозабора (рис. 1.2) с искусственной подпиткой подземных вод может служить один из инфильтрационных водозаборов в Новокузнецке на р. Томь [25]. Этот водозабор производительностью около 25 тыс. м^3/сут в меженный период почти на 90 % обеспечивается питанием за счет притока из фильтрационных бассейнов.

Для второго Новокузнецкого инфильтрационного водозабора, расположенного на берегу той же р. Томь (рис. 1.3), характерна компоновка горизонтального водозабора с искусственной подпиткой подземных вод путем использования затапливаемых в межень естественных протоков и стариц [25]. Этот водозабор представляет собой галерею длиной 1500 м и диаметром 0,7—1 м, расположенную на расстоянии 50 м от уреза воды в реке. Искусственное пополнение запасов подрусловых вод, поступление которых в водоносный горизонт с течением времени снижается из-за кольматации русла реки, осу-

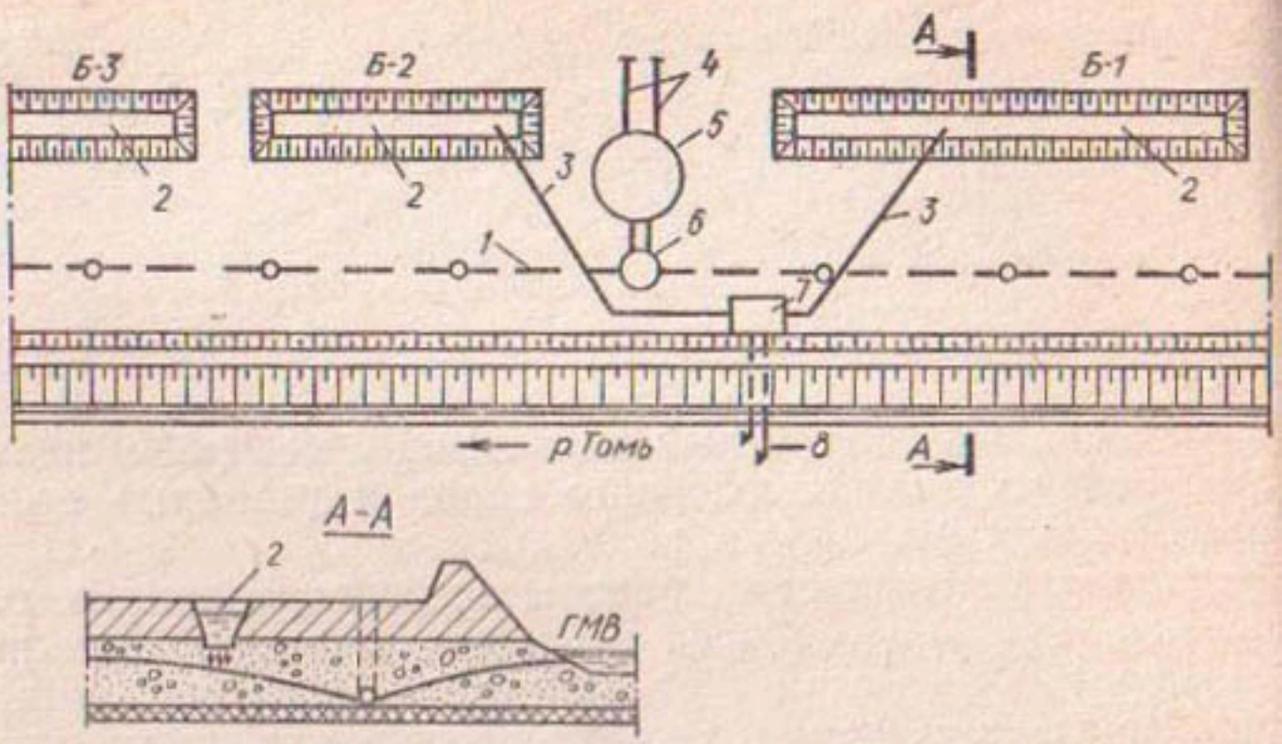


Рис. 1.2. Горизонтальный галерейный инфильтрационный водозабор на р. Томь с искусственной подпиткой из инфильтрационных бассейнов (Новокузнецк)

1 — водозабор — водоприемная галерея; 2 — инфильтрационные бассейны искусственного обводнения; 3 — трубопроводы подачи воды в бассейны; 4 — водоводы подачи воды водопотребителям; 5 — насосная станция подачи воды водопотребителям; 6 — водосборный колодец; 7 — насосная станция для подачи воды в бассейны; 8 — русловый водоприемник на р. Томь

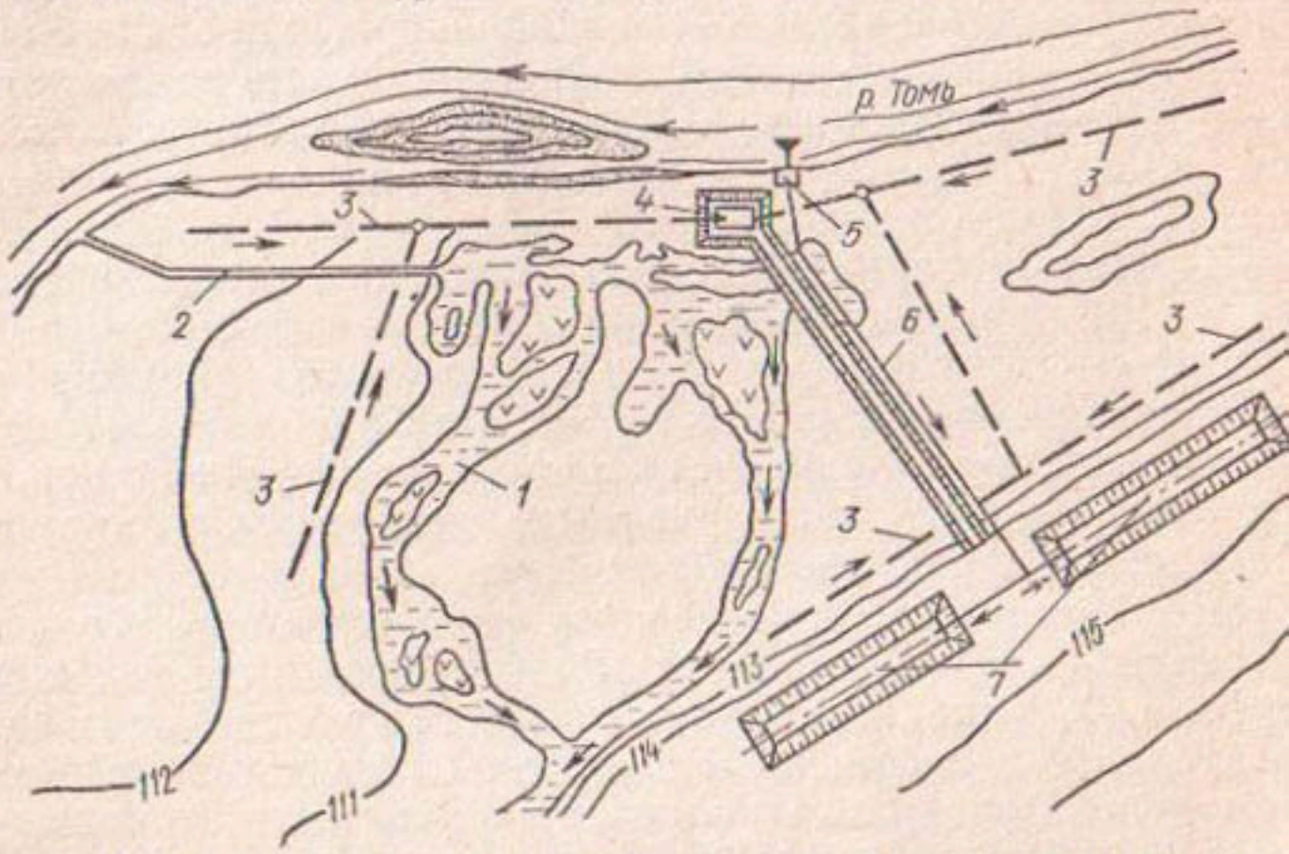


Рис. 1.3. Горизонтальный водозабор на р. Томь с подпиткой из затапливаемых в межень естественных речных проток и стариц (Новокузнецк)

1 — участки искусственного затопления поймы; 2 — канал для подачи воды из реки; 3 — водозабор — водоприемная галерея; 4 — насосная станция для подачи воды водопотребителям; 5 — насосная станция с русловым водоприемником на р. Томь; 6 — водовод; 7 — инфильтрационные бассейны искусственного обводнения

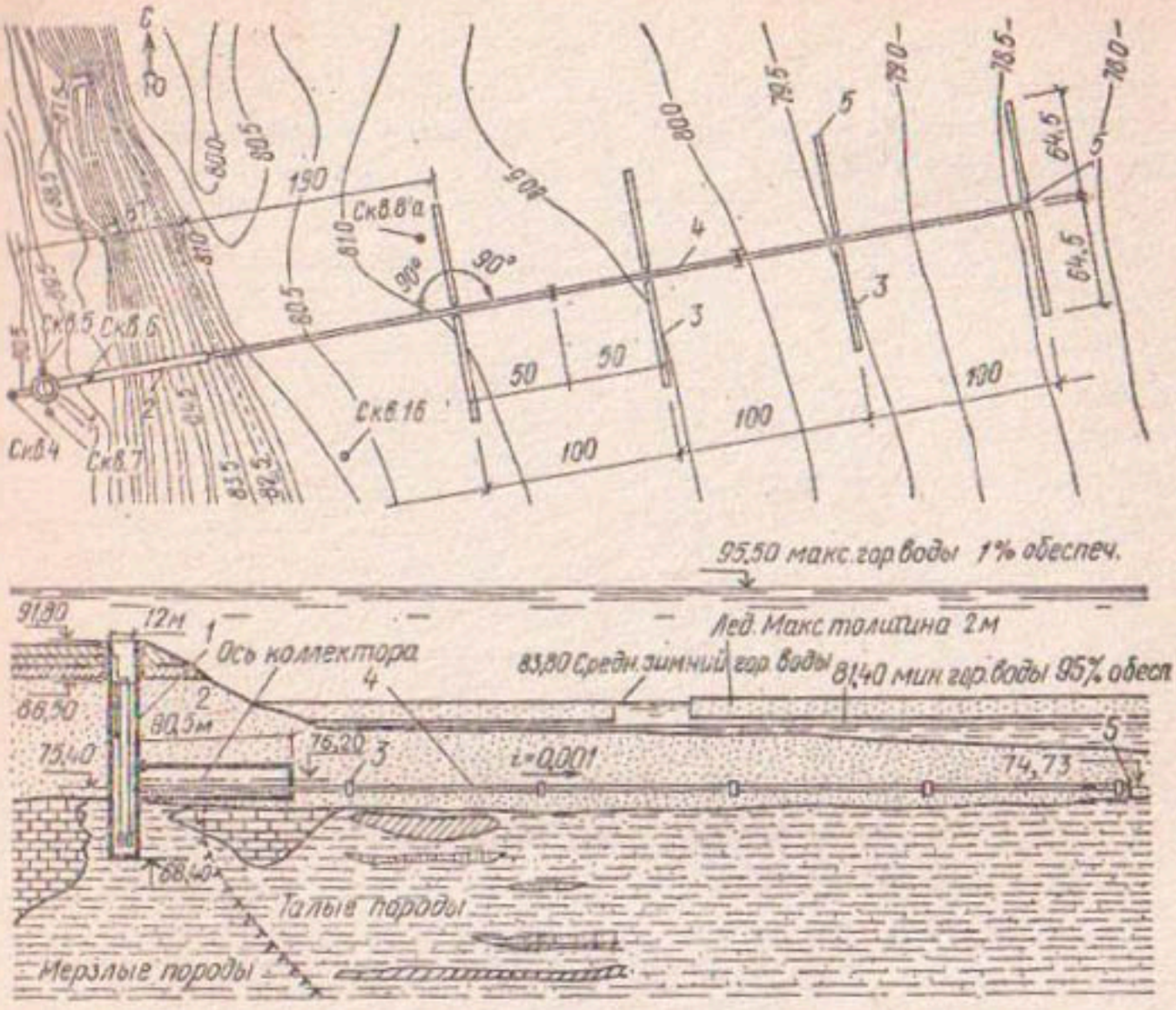


Рис. 1.4. Инфильтрационный подрусловый горизонтальный трубчатый водозабор водопровода Якутска (гидроизогипсы через 0,5 м)

1 — береговой колодец; 2 — железобетонный коллектор, d=2,6 м; 3 — подрусловые трубчатые фильтры; 4 — самотечный коллектор, d=0,5 м; 5 — заглушка

ществляется за счет подачи по специальному каналу речной воды в естественные речные протоки и фильтрационные бассейны. В результате искусственной подпитки уровень подземных вод на участке водозабора поднялся на 1,2—1,5 м, а производительность увеличилась до 50 тыс. м³/сут.

Крупный инфильтрационный подрусловый горизонтальный водозабор городского водопровода Якутска эксплуатируется на р. Лене (рис. 1.4). Здесь в условиях промерзающей зимой прибрежной части речного русла на глубине 3—6 м от дна реки проложено 5 параллельных трубчатых дрен длиной по 130 м каждая на расстоянии 100 м одна от другой. Дрены соединены водосборной трубой диаметром 500 м, подающей самотеком воду в береговой колодец диаметром 12 м, где установлено 2 погружных насоса. В период промерзания прибрежной

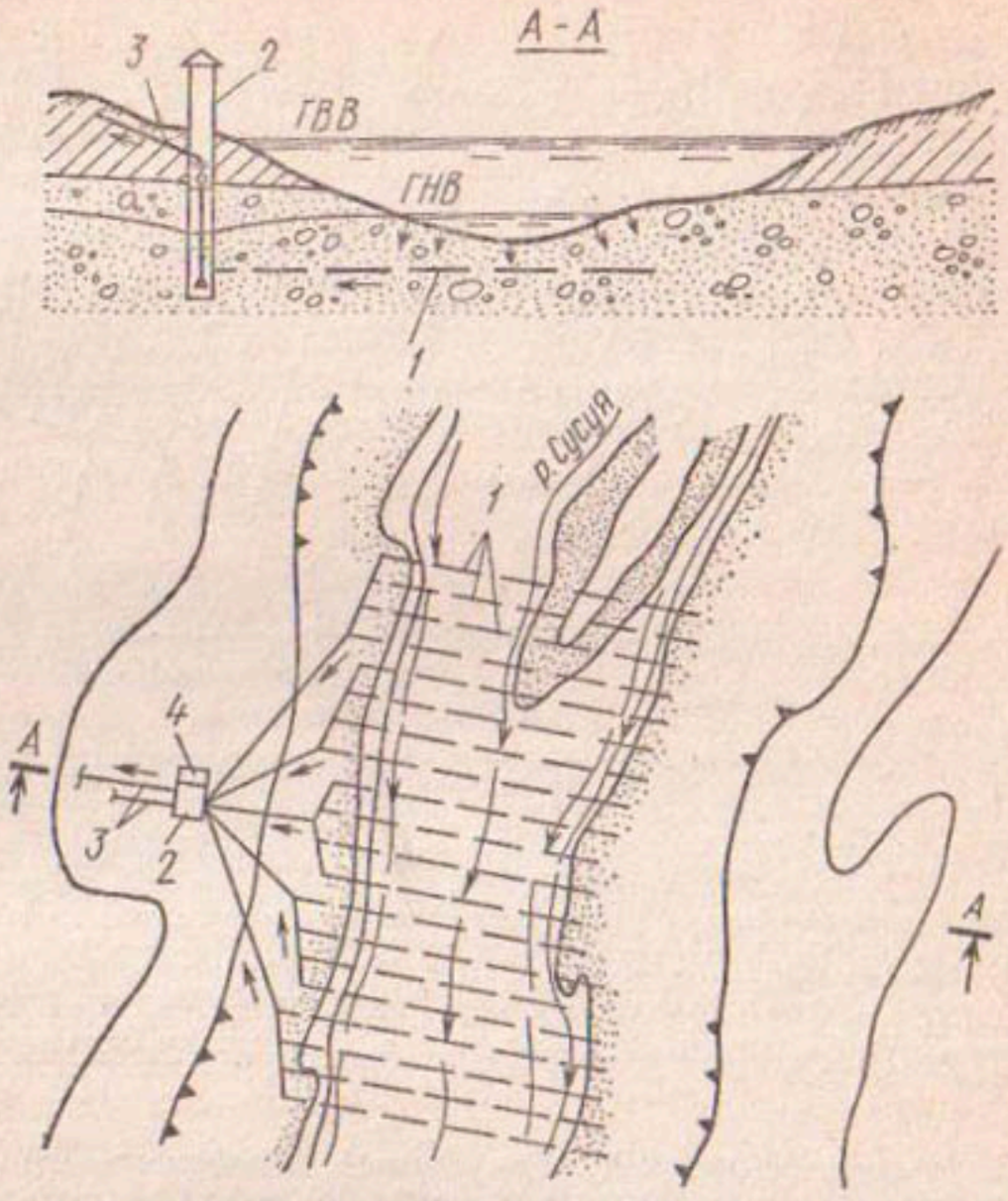


Рис. 1.5. Пластовый горизонтальный инфильтрационный водозабор на р. Сусуя (Сахалин)

1 — дрены; 2 — водосборный колодец, совмещенный с насосной станцией; 3 — водоводы подачи воды водопотребителям; 4 — компрессорная станция

части русла реки водозабор перестает работать как инфильтрационный и питается в основном за счет талых подрусловых вод. Вследствие ухудшения работы водозабора в зимний период институт Гипрокоммунводоканал запроектировал новый водозабор горизонтального типа, расположенный выше по течению реки.

Результатом дальнейшего развития горизонтальных водозаборов является водозабор на р. Сусуя (о. Сахалин), состоящий из системы параллельных подрусловых дрен, уложенных в песчано-гравийном фильтрующем слое. Эта система фактически образует пластовый дренаж (рис. 1.5). Здесь стальные перфорированные фильтровые трубы диаметром 0,2 м, длиной 32—35 м и с шагом по 5,5 м уложены в котловане открытым способом.

Пластовый водозабор на р. Сусуя с песчано-гравийно-галечниковой обсыпкой и рядом параллельных трубчатых дрен — водосборников (5 секций по 4 дрены) является эффективным водозабором с достаточно высокой производительностью [25].

Виды и конструкции водозахватных устройств. В зависимости от гидрогеологических и инженерных условий применяются различные виды водозахватных устройств (табл. 1.1). Из приведенных конструкций наибольшее распространение в практике водоснабжения имеют водозахватные устройства под № *3*, *4*, реже *5* и *1*. Конструкции № *2*, *8—12*, частично *6* и *7* применены на отдельных объектах и требуют дальнейшей проектно-конструкторской и опытно-производственной разработки для их более широкого внедрения. Водозаборы № *2*, *8—12* могут быть весьма эффективны для сельскохозяйственного, в частности, пастбищного водоснабжения на водораздельных территориях с ограниченными ресурсами как поверхностных, так и подземных вод.

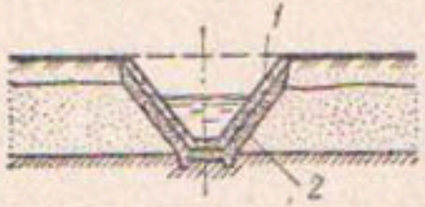
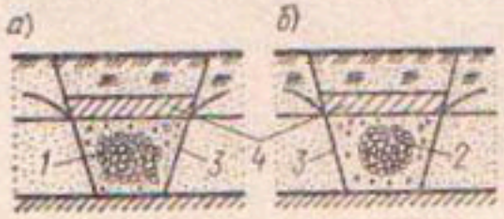
Водоприемная часть трубчатых водозаборов [26] выполняется, как правило, из керамических, асбестоцементных, железобетонных, чугунных, пластмассовых и стальных труб диаметром менее 1000 мм. Чугунные и керамические трубы укладываются с незаделанными раструбами. Водоприемные трубы имеют перфорацию в виде круглых или щелевидных отверстий, предпочтительно расширяющихся внутрь трубы, а при больших размерах труб — специальными окнами-нишами. Отверстия делаются с боков и в верхней части трубы. При расположении дрены на водоупоре нижняя часть трубы (не более 1/3 по высоте), по которой стекает вода, остается без отверстий. Минимальный диаметр труб 150 мм.

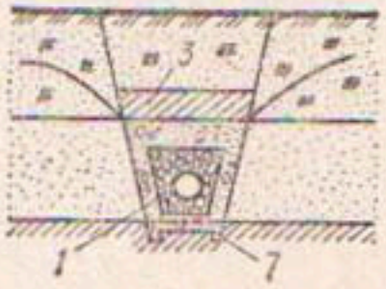
Уклоны водоприемных труб водозабора должны быть не менее: при диаметре 200 мм —0,005; 250 мм —0,004; 300 мм —0,003; 350 мм —0,002; 500 мм —0,001.

Скорость течения воды в трубах должна обеспечивать перемещение водой в водосборный колодец частиц грунта, которые в случае аварийного проявления суффозионных явлений могут быть вымыты из прифильтровой зоны водозабора в водоприемные трубы, т. е. скорость течения должна быть незаиляющей.

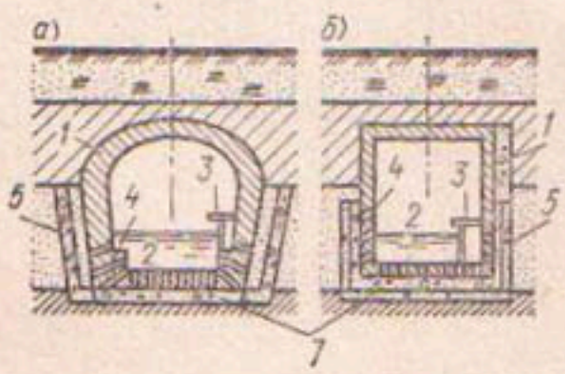
Водоприемные трубы укладываются в траншеи по песчано-гравийной подготовке (обратному фильтру) и лишь в слабых грунтах основания — на специальное

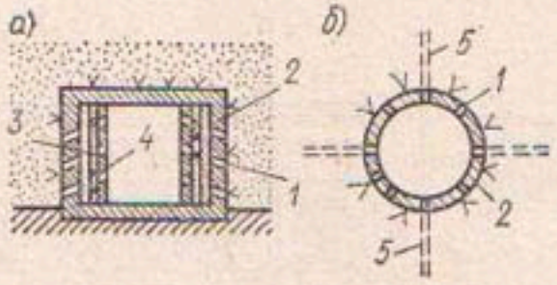
Таблица 1.1. Виды горизонтальных водозаборов

Конструктивная схема	Краткая характеристика	Область применения	Способ устройства
1. Открытый дренажный водосборный канал 	Откосы канала и их облицовка *1* принимаются в соответствии с механическими свойствами грунтов и условиями высачивания на откосы притекающей к каналу грунтовой воды. С целью предотвращения проявления суффозии, оплывания и оползания откосов их нижняя часть (ниже наибольшего возможного уровня воды) оборудуется гравийно-песчаным (каменно-набросным, щебеночным) обратным фильтром *2* высотой 0,3—0,5 мощности водоносного пласта	Любые геолого-литологические и гидрогеологические условия. При использовании подземных вод для промышленного водоснабжения и орошения сельскохозяйственных культур. Системы водоснабжения II категории	Открытая траншейная выработка с экскавацией и удалением грунта. Крепление откосов и устройство обратного фильтра может выполняться насухо (например, под защитой водопонижения) или подводным способом
2. Каменно-щебеночный (*а*) или фашинно-жердяный (*б*) водозабор 	Водоприемно-водоотводная часть водозабора выполняется в виде призмы высотой 0,3—0,5 м из местного фильтрующего материала: рваного (битого) камня или крупного щебня *1*, хворостяной фашины или жер-	Слабопроницаемые грунты: пески (мелко- и тонкозернистые, пылеватые, глинистые), легкие супеси, крупнообломочные породы с мелкопесчаным или супесчаным	Открытая траншейная выработка с экскавацией грунта и обратной его засыпкой поверх глинистого экранирующего слоя. Укладка фильтрующего материала

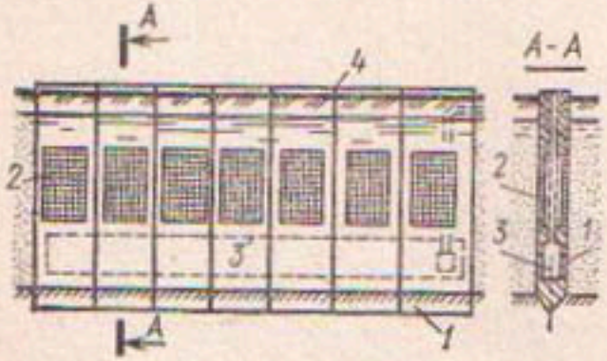
	дяной выкладки на поперечных подкладках *2*. Призма обсыпается 2- или 3-слойным гравийно-песчаным обратным фильтром *3*. Общая высота фильтрующей засыпки принимается 0,3—0,4 мощности водоносного слоя. Сверху укладывается защитный глинистый экран *4* для защиты от попадания в водозабор загрязненных поверхностных вод. Уклон дрены в сторону водосборного колодца должен быть равен 0,01—0,05	заполнителем и т. п. Мелкие водопотребители (в сельскохозяйственном, пастбищном, жилищно-коммунальном водоснабжении), для систем временного водоснабжения. Водоснабжение III категории	может производиться насухо (например, под защитой местного открытого водоотлива) или под воду
3. Трубчатый водозабор 	Водоприемная часть трубчатого водозабора выполняется из керамических, асбестоцементных, стальных, железобетонных (бетонных), пластмассовых труб *1* с щелевой или круглой перфорацией в боковой и верхней части (2/3 по высоте). Возможно также применение, как и для фильтров вертикальных скважин, блочных трубофильтров из пористых материалов, а также гравийных, кожуховых, клеевых	Любые геолого-литологические и гидрогеологические условия. Мелкие и средние водопотребители (в жилищно-коммунальном, сельскохозяйственном и пастбищном водоснабжении, орошении дождеванием). Водообеспечение II—III категории	Открытая траншейная выработка с экскавацией грунта и обратной его засыпкой поверх глинистого экрана. Укладка дрен может производиться как насухо (например, под защитой водоотлива или водопонижения), так и под воду. Возможна укладка изготовленных заранее трубофильтров из пористых материалов

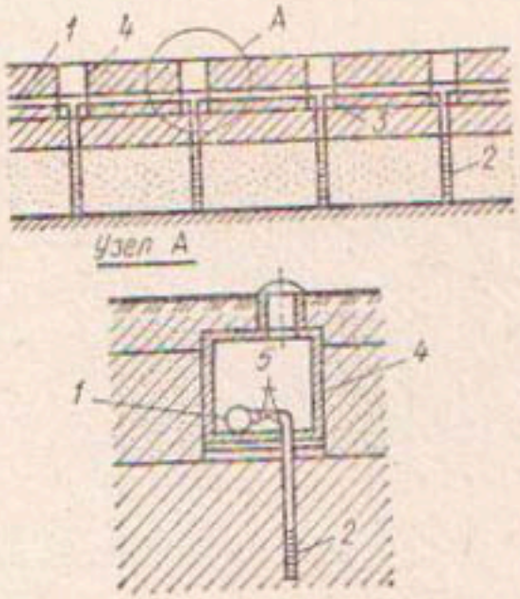
Продолжение табл. 1.1

Конструктивная схема	Краткая характеристика	Область применения	Способ устройства
	фильтров и т. п. Трубы обсыпаются 2- или 3-слойным гравийно-песчаным обратным фильтром *2*, который сверху перекрывается глинистым экраном *3*		
4. Водозаборная галерея  	Выполняется в траншейной горной выработке из сборных железобетонных звеньев *1* овалловидной или прямоугольной формы. Габариты (ширина 0,8—1 м, высота 1,2—2 м) выбираются с учетом условий эксплуатации, в большинстве случаев с учетом возможности прохода по галерее. В нижней части галереи устраивается лоток *2*, обеспечивающий сток воды к сборному колодцу с незаиляющей скоростью. Глубина лотка, как правило, должна быть не более 0,5 м, ширина 0,2—0,4 м. Для прохода эксплуатационного персонала в галереях предусматривается устройство мостика	Любые геолого-литологические и гидрогеологические условия (кроме очень слабопроницаемых грунтов). Для крупных водопотребителей, в ответственных системах водоснабжения I категории	Выполняется в траншейной открытой горной выработке с экскавацией грунта, обеспечением устойчивости откосов насухо (например, с водоотливом и под защитой водопонижения) или (реже) подводным способом при условии качественного ведения строительно-монтажных работ

	или полки 3. В стенках нижней части галереи водоприемные щелевые (круглые) отверстия *4* или окна-ниши с фильтровыми вставками (например, из пористого бетона). Окна-ниши могут быть оборудованы колокольчатыми козырьками. В пределах водоприемной части галерея обсыпается песчано-гравийным обратным фильтром *5*		
5. Водосборный тоннель (штольня)  	Выполняется прямоугольной *а*, овоповидной или круглой *б* формы. Водоприемные отверстия *1* в обделе *2* могут быть щелевыми или круглыми и представляют собой окна с фильтровыми вставками *3* (см. п. 4). В мелкозернистых грунтах может устанавливаться внутренний гравийно-песчаный обратный фильтр *3* с щелевыми плитами *4*. В устойчивых скальных трещиноватых породах проходка штолен осуществляется без обделки. При необходимости увеличения водопритока из штольни бурятся радиальные шпуры или скважины с фильтрами *5*.	В тех же условиях, что и водозаборная галерея, но при залегании эксплуатируемого водоносного горизонта на глубине более 8 м	Выполняется бестраншейным (тоннельным) способом с применением щитового способа проходки или способа прокола (для малых диаметров)

Продолжение табл. 1.1

Конструктивная схема	Краткая характеристика	Область применения	Способ устранения
6. Свайно-стоечный водозабор — стенка 	Выполняется из сборных железобетонных полых стоек или свай *1* высотой до 6 м, шириной 0,5—1,5 м. Верхняя часть водозаборной стенки имеет щелевые (круглые) водоприемные отверстия или окна с фильтровыми вставками *2* (например, из пористого бетона или фильтровой сетки на стержневом каркасе). Нижняя часть представляет собой водосборно-отводной лоток *3*. Соединение *4* стоек или свай осуществляется с помощью закладных металлических уголков. Типовой блок водозабора стоечного типа монтируется из двух ребристых плит размером 3×1,5×0,4 м	Любые геолого-литологические условия. Для перехвата потока грунтовых вод (в качестве подземной плотины). Мелкие и средние водопотребители (в жилищно-коммунальном, сельскохозяйственном, пастбищном водоснабжении, орошении дождеванием). Водоснабжение II и III категории	Для свайного типа — бестраншейная установка с применением различного сваепогружающего оборудования, в частности, методов гидро-, вибропогружения, задавливания и т. п. Для стоечного типа — открытая траншейная выработка с экскавацией грунта и обратной его засыпкой после установки стоечного ряда. Водоотлив или водопонижение не требуется
7. Комбинированный водозабор с вертикальными скважинами — усилителями	Представляет собой горизонтальную трубчатую (предпочтительнее стальную) дрену *1*, в которую снизу или сбоку врезаются	Двухпластовая система с верхним безнапорным и нижним напорным водоносным горизонтами подзем-	Предварительное бурение скважин на нижний напорный водоносный слой, установка задвижек на

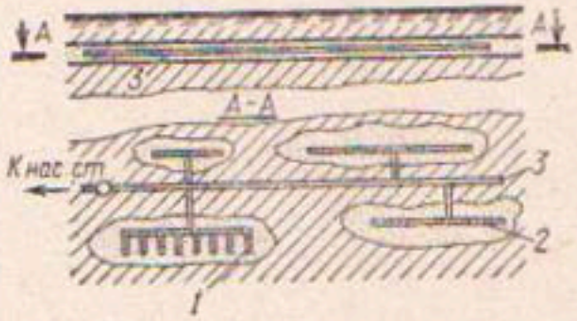


патрубки фильтровых колонн скважин-усилителей *2*. Устья скважин *3* целесообразно совмещать со смотровыми колодцами *4* и оборудовать задвижками. *5*. Горизонтальная дрена каптирует верхний безнапорный водоносный пласт. Скважины-усилители разгружают нижележащий напорный горизонт подземными водами, по отношению к которым горизонтальная дрена играет водоотводную роль

ных вод, разделенных непроницаемым (или слабопроницаемым) слоем. Крупные и средние водопотребители. При соответствующем технико-экономическом обосновании в сопоставлении с горизонтальной дреной и системой вертикальных скважин. Водоснабжение II и III категорий

устьях скважин. После прокладки в траншеях трубчатых горизонтальных дрен осуществляется врезка в них (снизу или сбоку) патрубков фильтровых колонн скважин

8.Гребенчато-ветвистый водозабор

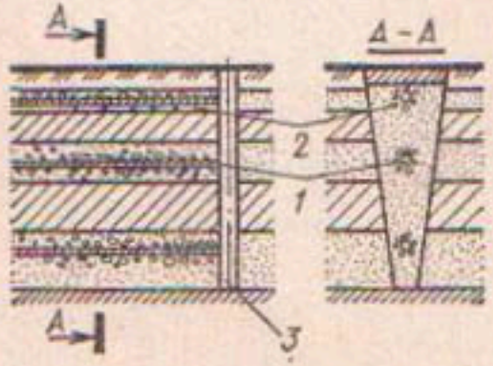


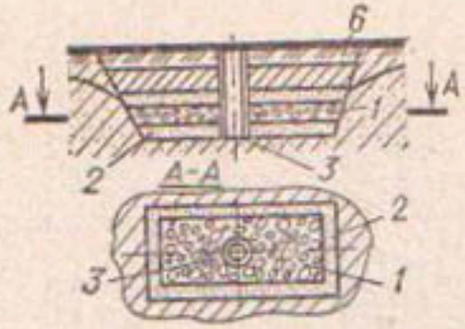
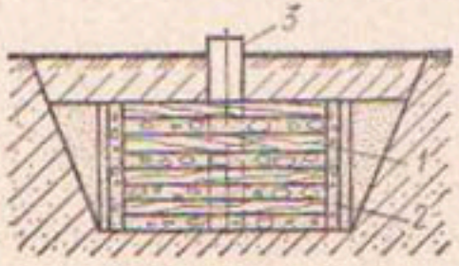
Выполняется в виде гребенчатой или ветвистой системы дрен, чаще всего трубчатых, которые располагаются в водонасыщенных прослоях и линзах, окруженных слабопроницаемыми грунтами. Гребенки *1* (с регулярно расположенными дренами-коротышами) или ветви *2* (с произвольно расположенными дренами) подсоединяются к водосборным и магистральным коллекторным дренам *3*. Уст-

Плановая фильтрационная неоднородность грунтов. Наличие локальных хорошо фильтрующих водонасыщенных прослоев и линз, расположенных в толще слабопроницаемых грунтов. Мелкие и средние водопотребители. Водоснабжение III категории.

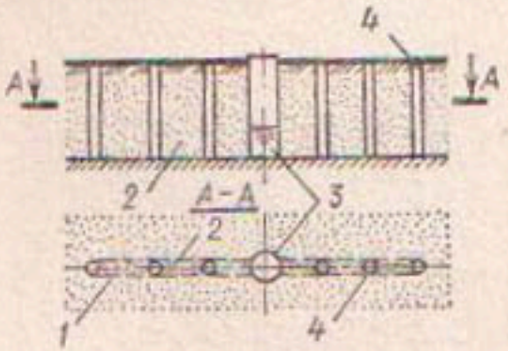
Открытая траншейная выработка с уточнением размещения дрен в локальных прослоях и линзах после их вскрытия. Укладка дрен производится насухо под защитой водопонижения или открытого водоотлива

Продолжение табл. 1.1

Конструктивная схема	Краткая характеристика	Область применения	Способ устройства
	ройство гребенчато-ветвистых дрен позволяет повысить водозахватную способность водозабора. При этом в использование включаются и слабопроницаемые грунты, которые отдают воду практически по всей площади их контакта с хорошо фильтрующими прослоями и линзами, где установлены дрены		
9. Многоярусный водозабор 	Представляет собой систему двух, трех и более ярусов горизонтальных дрен *1* с обратным песчано-гравийным фильтром *2*, собирающих воду из водонасыщенных прослоев и отводящих ее в вертикальный водосборный колодец *3*. При достаточно большом плановом простирании прослоев возможно устройство нескольких радиально расположенных дрен — многоярусный лучевой водозабор	Вертикальная фильтрационная неоднородность грунтов. Наличие в литолого-геологическом разрезе двух, трех и более водонасыщенных прослоев небольшой мощности. При соответствующем технико-экономическом обосновании в сопоставлении с системой вертикальных скважин. Средние и крупные водопотре-	Аналогичен п. *3*. Последовательная укладка и обсыпка песчано-гравийным обратным фильтром сначала нижней, а затем других дрен

10. Пластовый каменно-щебеночный и песчано-гравийно-галечный водозабор 	Водоприемная часть водозабора выполняется в виде пластовых дрен *1* одной или нескольких (см. рис. 1.5) высотой 0,3—0,5 м из местного каменного материала: битого камня, крупного щебня. Возможно применение хворостяных фашин (см. п. 2) или жердяной выкладки на поперечных накладках. Дрена обсыпается 2- или 3-слойным гравийно-песчаным обратным фильтром *2*. Общая высота фильтрующей засыпки равна 0,3—0,4 мощности водоносного слоя. В центре пластовой дрены устанавливается водосборный шахтный колодец *3*	Слабопроницаемые грунты. То же, что для водозабора по п. 2	Открытая выработка котлована (прямоугольного или круглого в плане). Укладка фильтрующего материала выполняется аналогично водозабору по п. 2
11. Объемный каменно-щебеночный ряжевый водозабор 	Водоприемная часть водозабора выполняется в виде деревянного рубленого (брусчатого) ряжа *1*, засыпанного местным каменным, предпочтительнее крупнообломочным материалом и обсыпанного 2- и 3-слойным	Слабопроницаемые грунты. То же, что для водозаборов по пп. 2 и 10	Открытая выемка котлована прямоугольного в плане с последующей установкой в нем под воду ряжа и засыпкой

Продолжение табл. 1.1

Конструктивная схема	Краткая характеристика	Область применения	Способ устройства
	гравийно-песчаным обратным фильтром *2*. В центре объемной дрены устанавливается водосборный шахтный колодец *3*		его местным каменным крупнообломочным грунтом и обсыпкой песчано-гравийным фильтрующим материалом
12. Песчано-гравийный «щелевой» водозабор 	Водоприемная часть водозабора представляет собой плоскую песчано-гравийную стенку *1*, образованную в связных слабопроницаемых грунтах методом «стена в грунте» путем засыпки песчано-гравийной фильтровой смеси *2* в предварительно вскрытую «щель» или в разнозернистых песчано-гравийных грунтах путем переформирования естественного грунта. В середине стенки устанавливается водосборный колодец (скважина большого диаметра), куда стекает вода, собран-	Слабопроницаемые грунты, а также разнозернистые песчано-гравийные грунты любой крупности	В связных слабопроницаемых грунтах — методом «стена в грунте» [45]. В рыхлых разнозернистых грунтах бурится линейный ряд скважин с шагом 1,2—2,5 м. На забой первой из них опускается гидромониторная и аксиально расположенная воздухоподающая труба с горизонтальным соплом. Окруженная сжатым воз-

ная песчано-гравийным водозабором. Возможно устройство песчано-гравийной стенки путем подачи в грунт струй воды из предварительно пробуренных скважин *4*, что ведет к переформированию разнозернистого грунта. Кроме того, возможно устройство цилиндрических горизонтальных естественногрунтовых дрен из шахтного колодца — кольцевая дрена по методу К. Абвезера (Австрия) — [4].

духом, струя воды размывает грунт и переформировывает его. Мелкие частицы выносятся с водой через вторую скважину. При подъеме вверх труб с горизонтальным соплом в грунте образуется вертикальная естественно-грунтовая дрена. Указанное действие выполняется последовательно из всех скважин ряда. Метод образования горизонтальной цилиндрической грунтовой дрены (К. Абвезер) предусматривает импульсную подачу воды под давлением из шахты в грунт и его пересортировку

основание, принимаемое в соответствии с нагрузкой от трубы.

Высота фильтрующей песчано-гравийной обсыпки водоприемных труб принимается равной 0,3—0,4 вскрытой мощности водоносного пласта. Выше нее траншея засыпается местным незагрязненным грунтом.

Песчано-гравийные фильтрующие обсыпки горизонтальных трубчатых водозаборов подбираются из условия недопущения суффозионного размыва и выноса частиц дренируемого грунта, а также кольматации самой обсыпки и фильтровой части водозабора. Для этого производится соответствующий подбор состава песчано-гравийного обратного фильтра, числа слоев обсыпки и их толщины [1, 26, 43 и др.].

При подборе фильтрующих обсыпок в относительно однородных грунтах (коэффициент неоднородности* $\kappa_н < 5$) необходимо выдерживать соотношение: $D_{50\%}/d_{50\%} = 8—12$, где $D_{50\%}$ и $d_{50\%}$ — средний диаметр грунта соответственно материала фильтровой обсыпки и естественного грунта. В случае неоднородных грунтов ($\kappa_н > 5$) средний диаметр материала обсыпки можно получить по графикам (рис. 1.6). Расчетное значение $D_{50\%}$ определяется умножением на 5 величины характерного диаметра (пунктирная кривая), полученной на пересечении с кривой гранулометрического состава. В многослойных обсыпках соотношение средних диаметров частиц соседних слоев должно быть 4—6. Материал обсыпки принимается однородным. Оптимальная толщина обсыпки 150—200 мм, минимальная: при размере зерен менее 4 мм —60 мм; 4—12 мм —70 мм; 12—35 мм —80 мм.

Между средним размером частиц $D_{50\%}$ слоя обсыпки или естественного грунта, примыкающего к водоприемной поверхности, и размером водоприемных отверстий принимаются следующие соотношения (табл. 1.2).

Водоприемные галереи применяются для водозаборов большой производительности или в тех случаях, когда по производственным, гидрогеологическим или другим условиям необходимо обеспечить возможность прохода человека по водоприемной части для наблюдения и ремонта водозабора в период эксплуатации [26].

---

* Коэффициент неоднородности грунтов $\kappa_н = d_{60\%}/d_{10\%}$, где $d_{60\%}$ и $d_{10\%}$ — диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится соответственно 60 и 10 %.

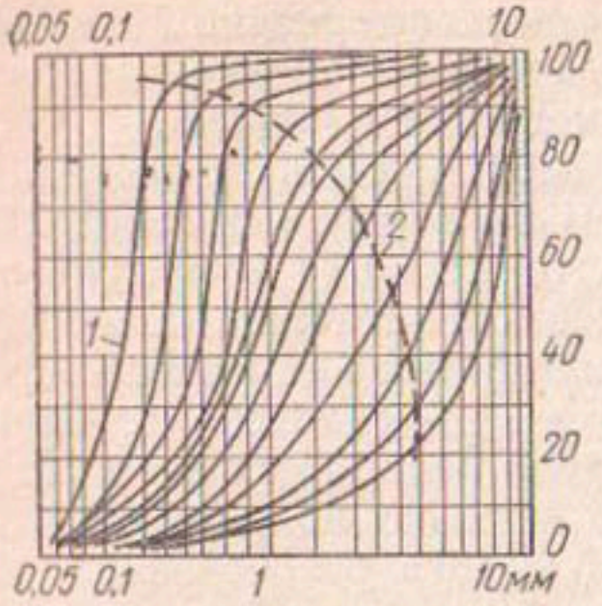


Рис. 1.6. Кривые для подбора противосуффозионной песчано-гравийной обсыпки

1 — гранулометрический состав; 2 — характерный диаметр

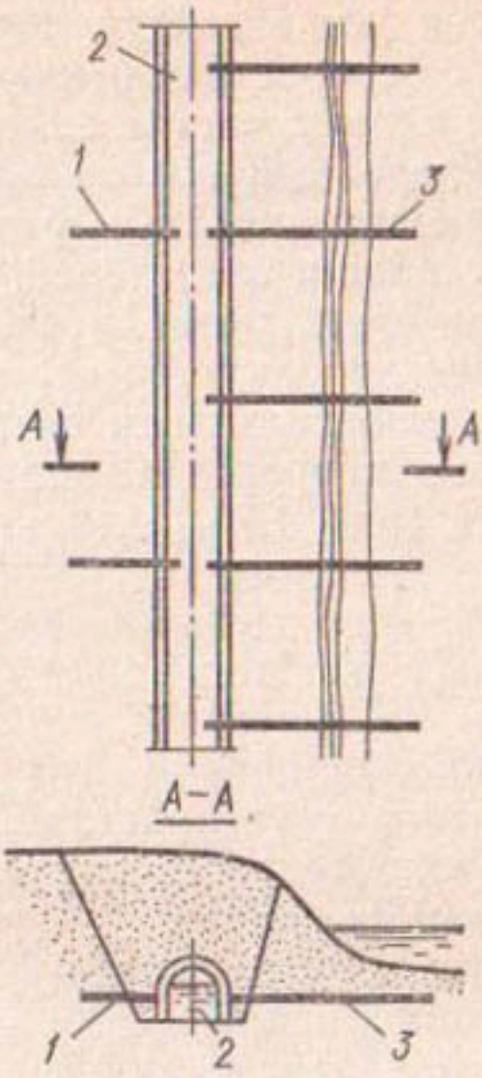


Рис. 1.7. Галерейный водозабор с параллельными горизонтальными скважинами-усилителями

1 — береговые скважины; 2 — галерея; 3 — подрусловые скважины

Водоприемные галереи выполняются из сборного железобетона, реже из естественного камня и кирпича, с щелевыми отверстиями или окнами-нишами с колокольчатыми козырьками. Галереи бывают круглой формы с минимальным диаметром 1 м и свободной формы высотой не менее 1,6 м и шириной 0,7 м, что необходимо для прохода обслуживающего персонала, для чего устраиваются мостки или полки. Звенья галереи устанавливаются на специально подготовленное основание, исключающее их осадку относительно друг друга. Для отвода воды по дну

Таблица 1.2. Подбор водоприемных отверстий горизонтальных водозаборов

Форма водоприемного отверстия	Размер водоприемного отверстия при коэффициенте неоднородности	
	<2	>2
Круглая	(2,5—3) D_{50} %	(3—4) D_{50} %
Щелевидная	(1,25—1,5) D_{50} %	(1,5—2) D_{50} %

галереи устраивается лоток, обеспечивающий движение воды со скоростью, исключающей выпадение вынесенных водой мелких частиц водовмещающей породы.

Галерейный водозабор может быть дополнительно оборудован линейным рядом параллельных горизонтальных скважин-усилителей, которые могут значительно повысить его производительность. Проходная водосборная галерея дополняется перпендикулярно ей расположенными горизонтальными скважинами-усилителями, одни из которых направлены под русло реки, другие — в сторону берега (рис. 1.7). Активный перехват подруслового потока и берегового подземного стока обеспечивает более полное использование водозабора. Устройство горизонтальных скважин может быть осуществлено, в частности, одним из известных способов горизонтального бурения или продавливания, что намного проще и дешевле по сравнению с устройством горизонтальных скважин лучевого водозабора из специальной шахты, стоимость которой весьма велика.

При необходимости более полного захвата грунтового потока целесообразно сооружение водосборных подземных плотин с доведением их до водоупора. Одним из водозаборов такого рода является стоечный или свайный водозабор, состоящий из линейного ряда стыкующихся одна с другой свай (шпунтов) или стоек [33]. Грунтовая вода через водоприемные окна профильтровывает внутрь водозабора. Поступив в его лотковую часть, вода стекает в водосборный колодец, где установлен насос, откачивающий и подающий ее водопотребителям (рис. 1.8).

Стоечный водозабор представляет собой полую железобетонную стенку, верхняя часть которой оборудуется водоприемными окнами-вставками *2*, выполненными в виде сетчатого фильтра на решетчатом стальном каркасе, либо из пористого бетона, полимерных и других фильтрующих материалов. Проницаемость и соответственно материал для окон-вставок подбирается в зависимости от местных инженерно-геологических и гидрогеологических условий (гранулометрический состав, коэффициент фильтрации, связность грунта и т. д.) по той же методике, что и фильтры горизонтальных трубчатых и галерейных водозаборов.

Нижняя часть водозабора представляет собой водосборный лоток *1* для отвода воды к водоподъемным насосам. Стена-дрена опускается в водоносный пласт непо-

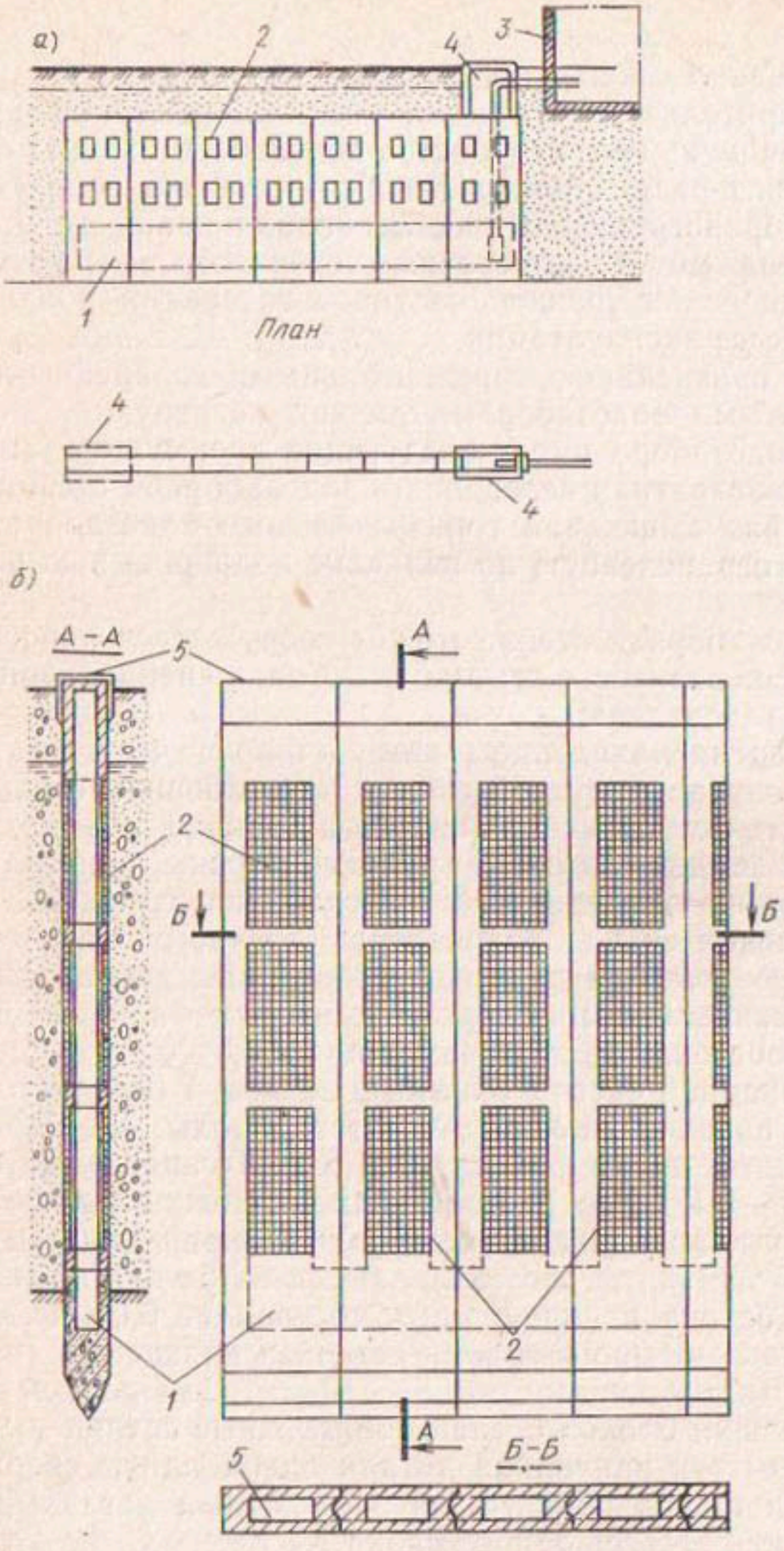


Рис. 1.8. Свайно-стоечный водозабор: а — общий вид, б — конструкция водозабора

1 — водосборная часть (лоток); 2 — водоприемные окна — вставки; 3 — насосная станция; 4 — смотровые водосборные колодцы (ставятся на расстоянии 100 м); 5 — отверстия для очистки водозабора

средственно с поверхности земли и в принципе не требует предварительного вскрытия специальной траншеи с водоотливом из нее. Устройство водозаборов может осуществляться различными методами: «стена в грунте», гидро-, вибропогружение, способы задавливания и т. д. Сверху стена имеет отверстия, через которые возможна очистка ее внутренней части от засорения и заиления в процессе эксплуатации.

По сравнению с горизонтальными галерейными или трубчатыми водозаборами данная конструкция подземного водозабора имеет следующие преимущества:

водозахватная способность водозаборной стенки в десятки раз выше, чем горизонтального водозабора, имеющего ограниченную по величине водоприемную поверхность;

водозаборная стенка может сооружаться непосредственно с поверхности земли без отрывки специальной траншеи и водоотлива;

засорение, заиление и химико-биологическое зарастание в случае открытой сверху водозаборной стенки могут быть легко ликвидированы в отличие от находящейся под землей закрытой трубчатой дрены, очистка которой крайне затруднена, а иногда и невозможна.

Типовая секция водозабора стоечного типа может монтироваться из двух железобетонных ребристых плит с встроенными в них водоприемными вставками-окнами. Железобетонный блок размером 3×1,5×0,4 м состоит из водоприемной части с окнами и лотковой (коллекторной) части, предназначенной для отвода воды. Железобетонные плиты имеют размер 3×1,5 м. Толщина плиты: основная — 0,1 м, по ребрам — 0,2 м. Водоприемные окна (по 6 шт. на каждую секцию) имеют размеры 0,4×0,375 м. Плиты изготавливаются из бетона марки 300; объем бетона на одну плиту составляет 0,56 м^3. Армирование плит производится сеткой и каркасами (по ребрам). Диаметр арматуры 8 и 10 мм. Для подъема плит и установки блоков сделаны монтажные соединения блоков — выступ закладной детали одной плиты сверху заводится в паз, образуемый закладными деталями другой плиты. Масса одного блока 1,4 т.

Водозаборная секция описанной конструкции может иметь различные модификации и размеры. Кроме приведенного, разработаны также чертежи подземного водозабора свайного типа и водозаборы-стенки большей

высоты. Для увеличения последней может быть применен вариант секционного устройства стоечного или свайного водозабора, состоящего из отдельных секций, которые устанавливаются одна на другую и соединяются между собой посредством закладных деталей. Не касаясь других возможных разновидностей конструкции блоков водозабора, укажем, что в различных комбинациях они могут быть использованы для создания водозаборов разной длины и производительности. Водоприемные железобетонные блоки применяют также в качестве элементов сооружений.

Конкретный объект применения конструкции водозабора стоечного типа — инфильтрационный водозабор Адлерской птицефабрики. На берегу р. Мзымты расположен трубчатый линейный водозабор с насосной станцией. Возросшее водопотребление и снижение дебита водозабора обусловили необходимость его реконструкции и расширения. Расчеты показывают, что повышение производительности до 0,1 м^3/с связано с удлинением существующего трубчатого водозабора до 150 м, что в данных местных условиях невозможно вследствие малой территории, площадь которой ограничена бассейном водоплавающей птицы и рекой. В то же время стенка-водозабор из полых блоков длиной 21 м обеспечивает подачу необходимого объема воды и отличается хорошими эксплуатационными показателями. Капиталовложения в строительство стоечного водозабора составляют 1350 руб. (без стоимости насосной станции и водовода), что в 2 раза меньше стоимости сооружения трубчатого водозабора длиной 150 м, выполненного из дырчатых асбестоцементных труб диаметром 250 мм.

Другим примером применения водозаборно-дренажной полой железобетонной стенки в проектной практике может служить его использование при инженерной подготовке и благоустройстве микрорайона «Химик» в Туле, проект которого разработан институтом Тулагражданпроект в 1980—82 гг. Здесь водозабор стоечного типа использован как подпорная водозаборно-дренажная стенка. Она удерживает оползающий склон от обрушения и одновременно перехватывает подтапливающую территорию подземную воду, которую отводит в декоративные пруды, расположенные в низинах местности.

В слабопроницаемых грунтах с низкой водоотдачей может применяться объемный или пластовый каменно-

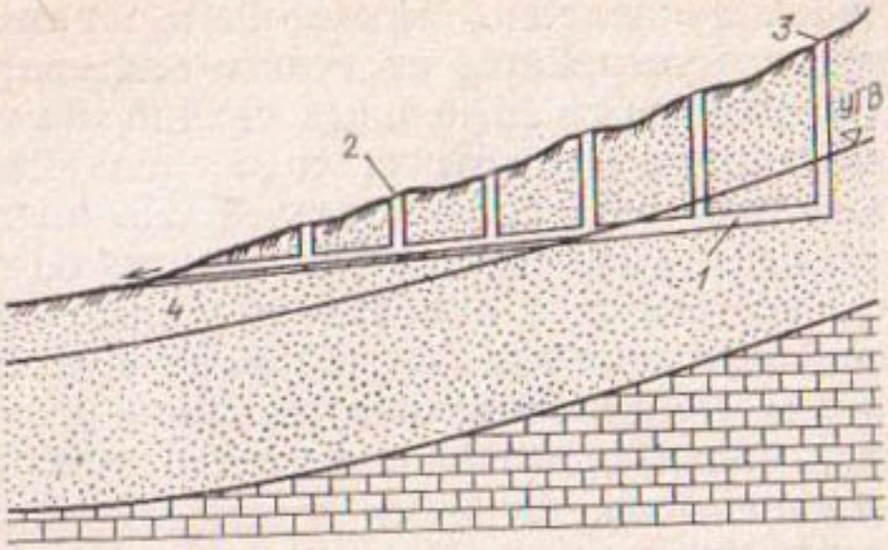


Рис. 1.9. Галерейный водозабор — кяриз

1 — водоприемная часть; 2 — смотровые шахтные колодцы; 3 — головной (начальный) колодец; 4 — устье

щебеночный и песчано-гравийно-галечный водозабор, обеспечивающий большую водозахватную поверхность. Его использование эффективно также и в случае инфильтрационного питания в водоносных пластах большой проницаемости, когда пластовый дренаж с системой параллельных дрен обеспечивает требуемый водозабор.

Разновидностью объемного водозабора является песчано-гравийно-каменно-набросный водозабор в виде дренажной щели. Его устройство может осуществляться с помощью фильтрового материала, собирающего воду и отводящего ее к насосной станции. Щелевой водозабор — дрена, как и стоечно-свайный водозабор, позволяет перехватывать полностью поток подземных вод в водоносных пластах ограниченной мощности.

В разнозернистых грунтах перспективными могут оказаться песчано-гравийные водозаборы, создаваемые путем пересортировки естественного грунта без его выемки. Для образования таких водозаборов в грунт задавливается гидромониторная трубка, по которой периодически подается струя воды с заранее установленным расходом, напором, периодичностью и продолжительностью импульса. Перед отверстием гидромониторной трубки грунт приводится в вихревое движение. При этом крупные тяжелые фракции грунта перемещаются вниз, а более мелкие и легкие располагаются выше или выносятся.

Одним из наиболее распространенных на Востоке горизонтальных водозаборов являются кяризы — подземные водоприемные галереи, прокладываемые в водоносных пластах с пересечением уровня подземных вод и выводом собранной воды на поверхность земли (рис. 1.9).

Длина таких галерей, которые обычно копаются вручную, колеблется от нескольких сотен метров до 30 км, дебит от десятков до тысяч $м^3$/сут. Уклон дна около 0,001. Через каждые 30—50 м по длине кяриза роются вертикальные колодцы для подъема выбираемого грунта и вентиляции. Отделка кяриза обычно выполняется из железобетонных колец эллиптической формы, что позволяет протаскивать одно кольцо через другое и устанавливать впереди для крепления кровли и стенок от обрушения. Размер колец обычно бывает равным 76×114 см. Вертикальные колодцы облицовываются кирпичом или железобетонными кольцами бóльшего диаметра. Работы по устройству кяризов ведутся под защитой насосов, которые обычно сильно пескуют, в связи с чем они быстро выходят из строя. В водоносных грунтах, содержащих мелкозернистый песок, в щелях между кольцами обделки тоннелей ставят сетчатые фильтры.

При необходимости регулирования отбора подземных вод на отдельных участках горизонтального водозабора применяется шлюзование, когда между отдельными участками его водоприемной части устанавливаются водозаборные задвижки или щитовые затворы. Для наблюдения за работой горизонтальных линейных водозаборов, их вентиляции и ремонта устраиваются смотровые колодцы [26], расстояния между которыми принимаются 50 м — для трубчатых водозаборов диаметром 150—500 мм, 75 м — диаметром более 500 мм и 100—150 м — для галерейных водозаборов. Смотровые колодцы сооружают также в местах изменения направления водоприемной части как в плане, так и в вертикальной плоскости. Выполняют их, как правило, из сборного железобетона с внутренним диаметром 0,75—1 м.

Верх колодцев должен возвышаться не менее чем на 0,25 м над поверхностью земли, а вокруг них должна быть сделана водонепроницаемая отмостка шириной не менее 1 м. Смотровые колодцы снабжаются крышками и вентиляционными трубами, которые возвышаются на 2,5—3 м над поверхностью земли. Трубы и галереи в пределах колодцев сопрягаются при помощи бетонных лотков в днище колодцев.

Водосборная камера (колодец) в зависимости от условий залегания водоносного пласта располагается в конце горизонтального водозабора или на его линии. В отдельных случаях в нем может собираться вода и из не-

скольких ветвей горизонтального водозабора. Размеры водозаборной камеры определяются из условия обеспечения благоприятного режима работы насосной установки с накоплением определенного объема воды, а также размещения в ней насосного оборудования и контрольных приборов. Водосборные камеры крупных водозаборов сооружаются из секций, соответствующих числу ветвей горизонтального водозабора.

Насосные станции водозаборов в зависимости от их производительности и типа насосного оборудования устраиваются совмещенными с водосборной камерой или как отдельное сооружение.

3. Лучевые водозаборы

Условия и область применения лучевых водозаборов для водоснабжения городов и промышленных объектов. Радиальные системы горизонтальных (реже наклонных) скважин (дрен) — лучевые водозаборы собирают воду из водоносного пласта и отводят ее в центральную водосборную камеру, откуда ведется откачка. По условиям питания лучевые водозаборы, как и другие подземные водозаборы, подразделяются на (рис. 1.10):

инфильтрационные береговые и подрусловые, скважины которых расположены соответственно на берегу и под дном реки (озера, водохранилища, пруда);

водораздельные, находящиеся вдали от области питания и эксплуатирующие напорные и безнапорные горизонты подземных вод, верховодки и прослои водонасыщенных грунтов.

В отличие от подземных водозаборов вертикального типа, состоящих из групп водозаборных буровых скважин, лучевые водозаборы дают возможность вести концентрированно откачку значительных по величине расходов воды из водоносных пластов даже небольшой мощности. Они требуют меньшей площади отчуждения земель, хотя вовлекают в эксплуатацию те же (или даже бóльшие) объемы водоносных пород.

К достоинствам лучевых водозаборов относится возможность использования для откачки меньшего числа крупных насосов, в частности, с горизонтальным валом. Это снижает общие эксплуатационные издержки за счет уменьшения расхода потребляемой электроэнергии. Пре-

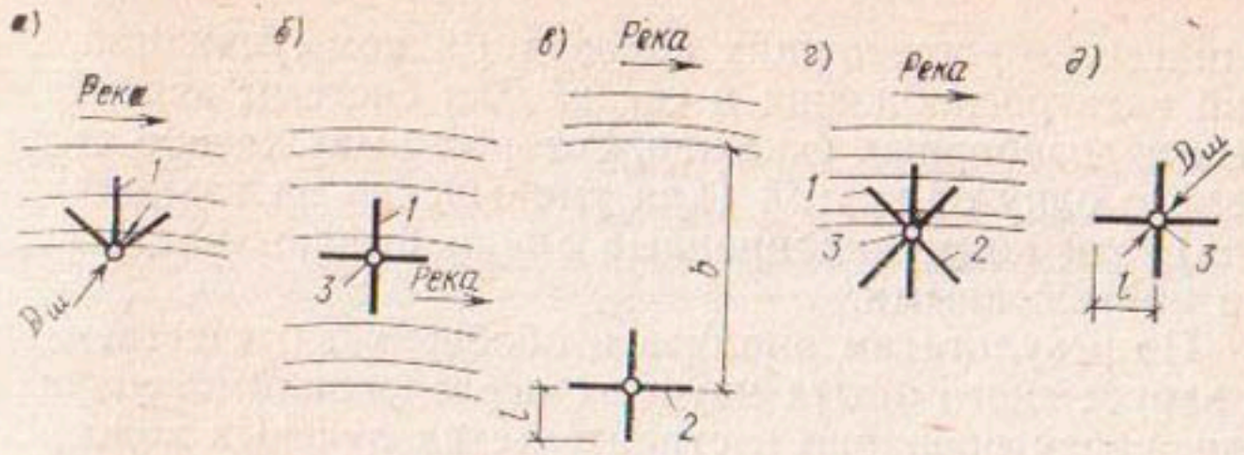


Рис. 1.10. Основные виды лучевых водозаборов

а — подрусловый с водосборной камерой на берегу; б — подрусловый с водосборной камерой в акватории; в — береговой; г — комбинированный (подрусловo-береговой); д — водораздельный: 1 — подрусловые лучи; 2 — береговые лучи; 3 — водосборная камера

имуществом является также совмещение в лучевых водозаборах водоприемного колодца с насосной станцией, что дает значительные технико-экономические преимущества по сравнению с открытыми водозаборами, берущими воду из водостоков или водоемов, где чаще всего приходится применять схему раздельного расположения водоприемного колодца и насосной станции 1-го подъема. Водозахватная способность лучевых горизонтальных скважин не зависит от степени снижения уровня подземных вод и не уменьшается в противоположность вертикальным скважинам с незатопленным фильтром. Однако следует отметить, что отсутствие достаточно эффективных и рациональных методов устройства лучевых водозаборов сдерживает более широкое распространение этих сооружений и в ряде случаев делает их дороже буровых водозаборных скважин. Указанное обстоятельство особенно сказывается в условиях водоносных пластов значительной мощности, где лучевые водозаборы требуют бóльших капиталовложений, чем системы вертикальных скважин. При мощности водоносного пласта более 20 м стоимость строительства водосборной шахты лучевого водозабора становится настолько велика, что только затраты на ее устройство намного превышают стоимость бурения и оборудования вертикальных скважин.

В водоносных пластах небольшой мощности (менее 20 м) капиталовложения в строительство лучевых водозаборов достаточно быстро окупаются за счет существенной экономии эксплуатационных затрат. Кроме того, применение лучевых водозаборов позволяет избежать

длинных дорогостоящих водоводных коммуникаций, линий электроснабжения и связи. Для системы вертикальных водозаборных скважин, которые вынужденно ставят далеко одну от другой (для уменьшения их взаимовлияния), эти коммуникационные линии бывают часто весьма протяженными.

По результатам анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта научных исследований, эксплуатации, проектирования и строительства лучевых водозаборов в области промышленного, жилищно-коммунального, сельскохозяйственного водоснабжения и орошения можно выделить следующие наиболее важные условия их эффективного и рационального применения [4]:

1. Водоносные пласты, линзы и прослои малой мощности (до 20 м), расположенные на глубине до 50 м.

2. Неоднородные в разрезе (многослойные) водоносные пласты, с возможностью использования наиболее водообильных слоев небольшой мощности или слоев с химически и бактериологически более чистыми водами.

3. При ограниченной площади возможного расположения водозаборных сооружений (стесненность территории по природным условиям, островное положение, залесенность, занятость застройкой и т. п.), а также отчуждения территории под зону санитарной охраны.

4. Для эксплуатации линз пресных вод, расположенных в бассейне или потоке засоленных подземных вод.

5. В безнапорных водоносных пластах с небольшой водопроводимостью (с малым коэффициентом фильтрации), когда вертикальными скважинами не представляется возможным отобрать нужное количество воды, ввиду их недостаточной водозахватной способности.

6. Для систем искусственного пополнения запасов подземных вод (магазинирования) с сезонным и многолетним их регулированием.

Во всех этих условиях лучевые водозаборы при подаче одного и того же количества воды могут быть более эффективны и экономичны по сравнению с линейными, кольцевыми, многорядными и другими системами водозаборных скважин. Однако в любом случае нужно технико-экономическое сопоставление вариантов с оценкой капитальных строительных затрат и эксплуатационных издержек производства.

Типы и конструкции лучевых водозаборов. Выбор

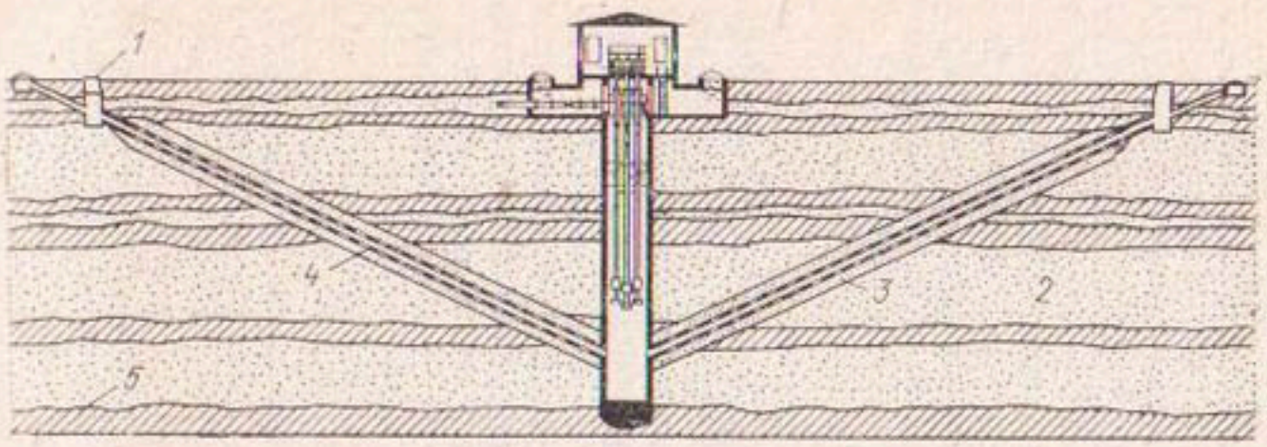


Рис. 1.11. Лучевой водозабор с восходящими лучами (ФРГ)

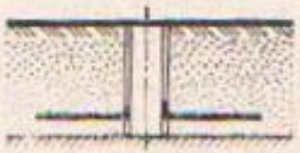
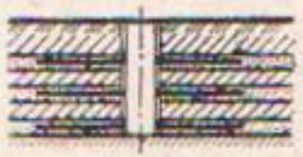
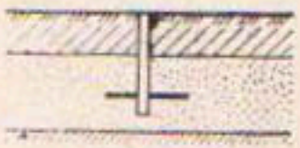
1 — смотровые колодцы; 2 — песок; 3 — песчано-гравийный фильтр; 4 — восходящие наклонные трубчатые фильтры; 5 — глинистые грунты

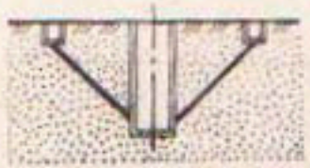
при проектировании того или иного типа и конструкции лучевого водозабора зависит от гидрогеологических, геолого-литологических и других природных и техногенных условий участка отбора подземных вод. Кроме того, принятие решения о конструктивных особенностях водозабора часто оказывается связанным с возможностями строительства (см. гл. III).

В настоящее время разработаны различные типы и конструкции систем горизонтальных радиальных скважин (табл. 1.3), конкретные примеры применения которых описаны в отечественной и зарубежной литературе [4, 48 и др.]. Наибольшее распространение в практике имеют лучевые водозаборы классического типа, опыт применения которых дан в гл. IV. Меньшее распространение получили так называемые малые лучевые водозаборы с водосборной камерой небольшого диаметра, например, в виде трубы (см. гл. III).

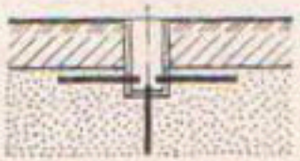
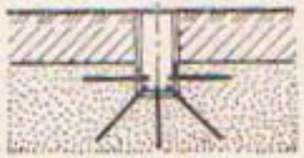
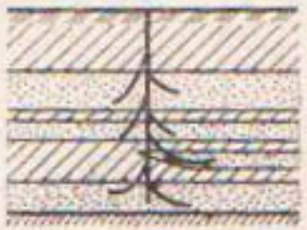
Радиальные системы с наклонными восходящими (см. табл. 1.3, схема 4) и нисходящими скважинами (схема 6) построены в ФРГ (рис. 1.11). Они состоят из шахтного колодца глубиной до 30 м, системы наклонных скважин диаметром около 200 мм и длиной до 150 м. Угол наклона лучей зависит в основном от мощности эксплуатируемого водоносного горизонта и колеблется в пределах 10—80°. Технология строительства водозаборов с наклонными скважинами описана в литературе [4]. В ФРГ построено несколько таких лучевых водозаборов производительностью по 2000 м^3/ч для городского и промышленного водоснабжения.

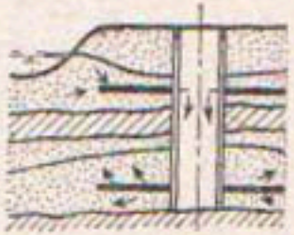
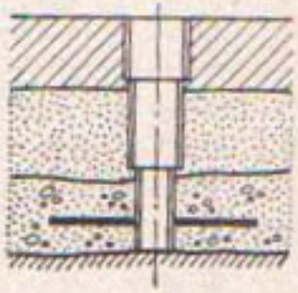
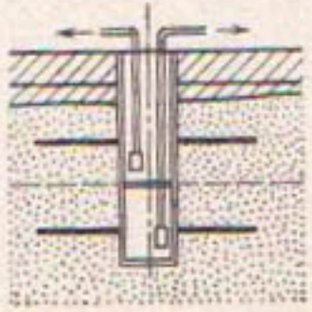
Таблица 1.3. Основные конструктивные схемы лучевых водозаборов

Схема водозабора	Конструкция водозабора	Область применения
1. 	Лучевой водозабор классического типа с круглой или квадратной в поперечном сечении железобетонной водосборной камерой-шахтой и горизонтальными радиальными трубчатыми дренами — водоприемниками	В разнообразных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях с боковым горизонтальным или инфильтрационным вертикальным притоком подземных вод
2. 	Многоярусный лучевой водозабор с горизонтальными радиальными трубчатыми дренами, расположенными на разных глубинах. Лучи размещаются в шахматном порядке по отношению один к другому (в плане). Могут закладываться разновременно, например, с прокладкой дополнительного яруса лучевых скважин в процессе эксплуатации водозабора.	В неоднородных по глубине (многослойных) водоносных пластах, когда необходимо более полно использовать наиболее водообильные горизонтальные слои небольшой мощности. В однородных пластах используются для увеличения производительности водозабора, в частности, при реконструкции систем водоснабжения и необходимости повышения водоподачи
3. 	Малый лучевой водозабор с цилиндрическим водосборником диаметром 0,5—1,5 м, выполненным в виде буровой скважины или шахтного колодца из железобетонных колец.	Для удовлетворения нужд малых водопотребителей. Водозабор с шахтным колодцем применяется для сельскохозяйственного, в частности, пастбищного водоснабжения. Водозаборы с центральной буровой скважиной, как вариант, использованы в Венгрии для будапештского городского водозабора.

4.		Водозабор с наклонными радиальными скважинами, исходящими из центральной шахты. Концевые участки скважин завершаются оголовками, установленными на поверхности земли. Возможен вариант расположения погружных насосов для откачки воды в наклонных стволах радиальных скважин	В случаях когда необходима периодическая или систематическая очистка водоприемных фильтров скважин, которую в данном случае легко проводить с поверхности земли
5.		Водозабор, состоящий из наклонно-горизонтальных многозабойных скважин, которые выполняются методом криволинейного бурения из центрально-расположенной вертикалькой буровой скважины. Последняя бурится после устройства наклонно-горизонтальных скважин и соединяет их вместе	Для эксплуатации трещиноватых водонасыщенных скальных горных пород, устойчиво держащих ствол скважины без обрушения ее стенок (в частности, был использован при строительстве глубокого лучевого дренажа на орошаемых землях Каховского массива орошения на Украине)
6.		Водозабор с радиальными наклонными скважинами, проходка которых осуществляется станками наклонного бурения из днища водосборной шахты	При достаточно большой мощности водоносного пласта и в тех случаях, когда устройство водосборной шахты на нужную глубину по тем или иным причинам вызывает затруднение
7.		Водозабор с горизонтальными радиальными скважинами и водоприемной поверхностью нижней части водосборной круглой или прямоугольной шахты, выполняемой в виде фильтрующих стенок или вставок, например, из пористого бетона	В водоносных пластах малой водообильности, когда одними горизонтальными скважинами не удается обеспечить необходимую водоподачу
8.		Водозабор с горизонтальными радиальными скважинами и водоприемным днищем водосборного колодца (камеры), выполненным в виде песчано-гравийного фильтра или фильтрующей поверхности днища, например, из пористого бетона	Применяется аналогично п. 7, а также при достаточной мощности водоносного пласта, когда может быть обеспечен достаточно высокий приток подземных вод к водозабору снизу

Продолжение табл. 1.3

Схема водозабора	Конструкция водозабора	Область применения
9. 	Комбинированный лучевой водозабор с вертикальной скважиной-усилителем, пробуренной через днище водосборной шахты (камеры) в нижележащие хорошо проницаемые грунты высокой водообильности	Для эксплуатации водоносных пластов достаточно большой мощности или в двухпластовой системе, когда имеется нижележащий (чаще всего напорный) слой хорошо проницаемых грунтов. Экономический эффект достигается за счет уменьшения глубины залегания дорогостоящей водосборной шахты
10. 	Комбинированный лучевой водозабор с пучком наклонных и вертикальных (или только вертикальных) скважин, пробуренных через днище водосборной шахты (камеры) в высоководообильные залегающие ниже горизонты подземных вод	Условия аналогичны п. 9, когда одной скважины усилителя оказывается недостаточно, чтобы перехватить подземные воды нижележащих водообильных слоев (применен в долине р. Урал для водоснабжения Гайского горно-обогатительного комбината)
1 	Многозабойные системы радиальных наклонно-горизонтальных скважин, которые бурятся из вертикального ствола специальными методами искусственного искривления и отклонения скважин применяющимися в области направленного бурения. Ветви многозабойных скважин закладываются в хорошо проницаемые прослои и линзы. В частности, наклонно-горизонтальные ветви играют роль усилителей вертикальной скважины	Фильтрационно неоднородные и многослойные пласты с наличием прослоев и линз, расположенных в толще слабопроницаемых грунтов, а также трещиноватые скальные породы (применены для водоснабжения в условиях неоднородных карбонатных пород на Урале)

12.		Многозабойные системы, состоящие из пучка наклонно-горизонтальных и радиальных скважин, которые бурятся методами, аналогичными п. 11, из вертикального ствола с одной точкой разветвления	В условиях, аналогичных п. 11, но чаще для эксплуатации более водообильных участков фильтрационно-неоднородных трещиноватых скальных пород
13.		Двухъярусный лучевой водозабор для искусственного пополнения запасов подземных вод путем перепуска поверхностных (речных или озерных) вод в восполняемый горизонт подземных вод через радиальную систему горизонтальных поглощающих скважин	Трехслойный (многослойный) в разрезе пласт с двумя водоносными горизонтальными, разделенными непроницаемой толщей глинистых грунтов, из которых нижний горизонт — восполняемый
14.		Лучевой водозабор с телескопической шахтой уменьшающегося вниз диаметра	Фильтрационно неоднородный в разрезе однослойный или многослойный пласт с увеличивающейся вниз водопроницаемостью, мощностью свыше 20 м. Водоносный горизонт малой мощности (прослой, линза), но расположенный на глубине свыше 20 м
15.		Двухъярусный водозабор для раздельной откачки пресных и соленых подземных вод с двумя разными насосами и разделенной по вертикали водосборной камерой (шахтным колодцем)	Водоносные горизонты небольшой мощности (линзы, прослои), расположенные над бассейном (потоком) засоленных вод

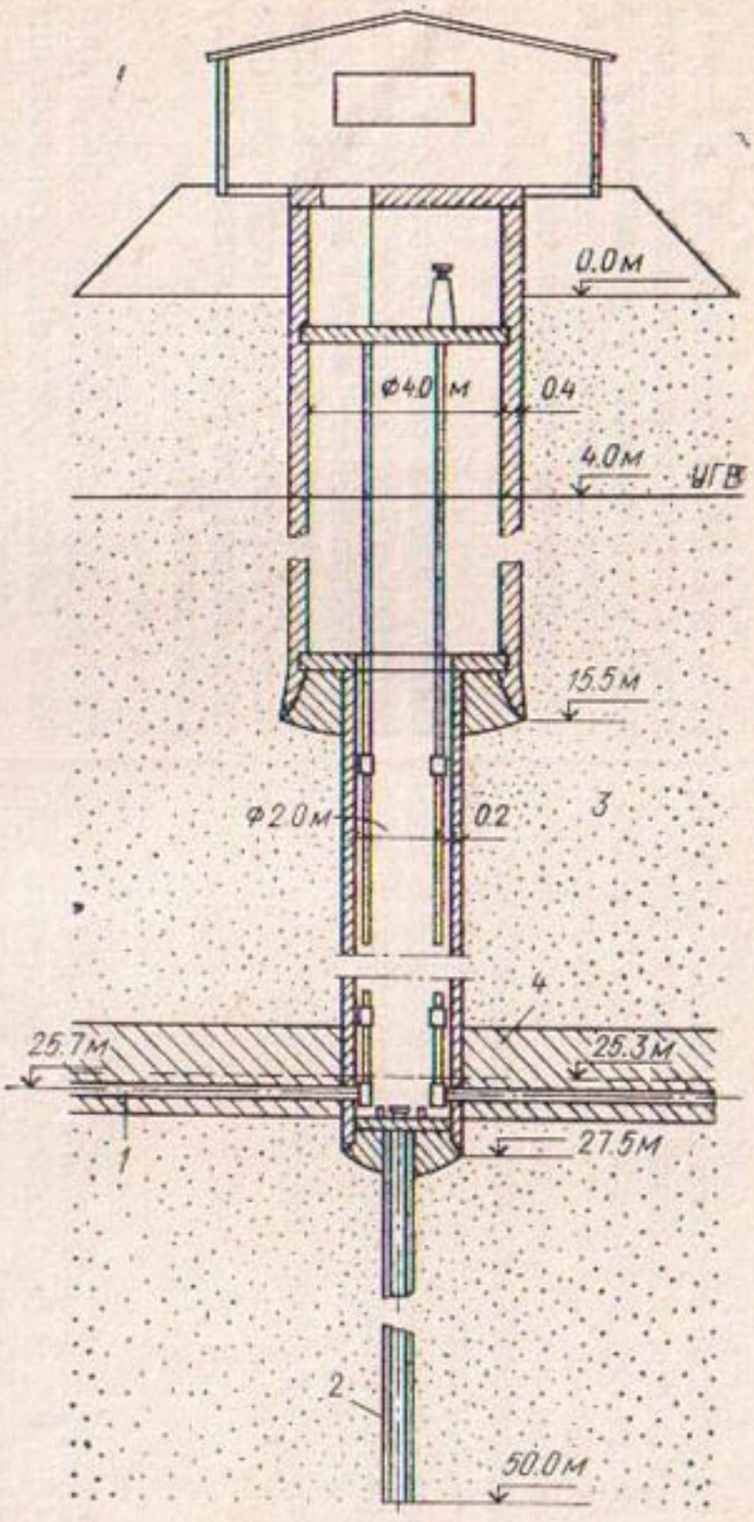


Рис. 1.12. Лучевой водозабор с вертикальной скважиной-усилителем в г. Лицене (Австрия)

1 — лучевые горизонтальные скважины; 2 — вертикальная скважина-усилитель; 3 — песок; 4 — глина

Лучевой водозабор с вертикальной скважиной-усилителем (табл. 1.4, схема *9*), построенный для жилищно-коммунального водоснабжения г. Лицена в Австрии (рис. 1.12), сооружался следующим образом. Из нижней части водосборной шахты телескопической конструкции $d=2$ м на глубине 25,7 м были проложены радиальные дрены, а со дна шахты на глубину 50 м пробурена

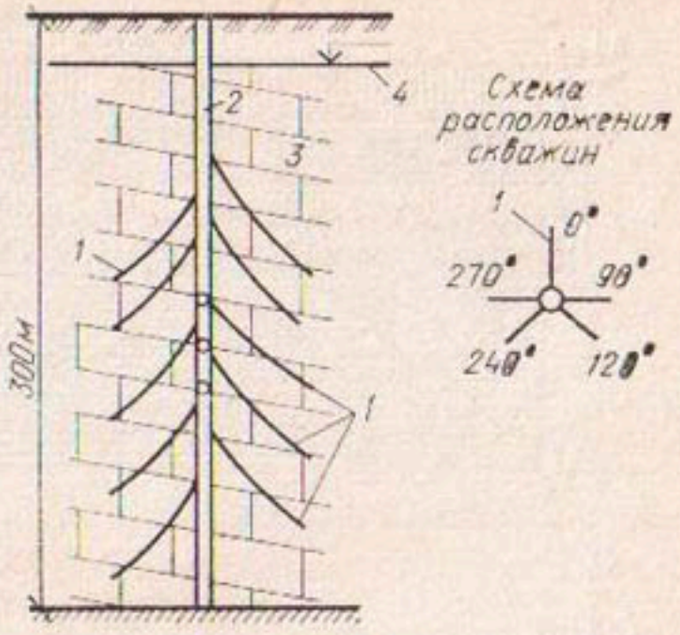


Рис. 1.13. Многозабойные лучевые криволинейные буровые скважины (Урал)

1 — боковые скважины-усилители; 2 — основной рабочий ствол; 3 — закарстованные трещиноватые водоносные известняки; 4 — уровень трещинокарстовых вод

вертикальная скважина, по которой напорные воды поступают из нижележащего водоносного горизонта.

Характерной особенностью одной из четырех многозабойных скважин пробуренных в фильтрационно-неоднородных в разрезе карбонатных породах на Урале (рис. 1.13) является наклонно-горизонтальное расположение радиальных боковых скважин, дающих повышение дебита в 5—12 раз. Последние были пробурены из центрального вертикального ствола с применением методов искривления скважин на глубину до 300 м. Водозаборный узел из 4 таких скважин обеспечивает подачу около 300 тыс. м³/сут воды. В пос. Новая Маячка (юг Украины) для понижения уровня подземных вод, поднявшегося на 4 м в связи с введением в эксплуатацию Краснознаменской оросительной системы и подачи воды на орошение, был сооружен лучевой водозабор (рис. 1.14) с наклонно-горизонтальными скважинами (табл. 1.3, схема *5*). Согласно проекта, разработанного институтом Укргипроводхоз, наклонно-горизонтальные скважины, пробуренные с взаимным пересечением соединяются вертикальным стволом, где в последующем устанавливается насос для откачки воды. Методом направленного бурения в трещиноватых карстующих и сильно обводненных неогеновых известняках с коэффициентом фильтрации около 100 м/сут сооружено 2 водозабора. Один из них представляет собой наклонно-горизонтальную скважину, заложенную под углом 35° к горизонтальной поверхности земли. Длина скважины 200 м, нижняя ее часть находится на глубине 35 м, забой поднят на 15° от горизонта. Второй водозабор состоит из наклонно-горизонталь-

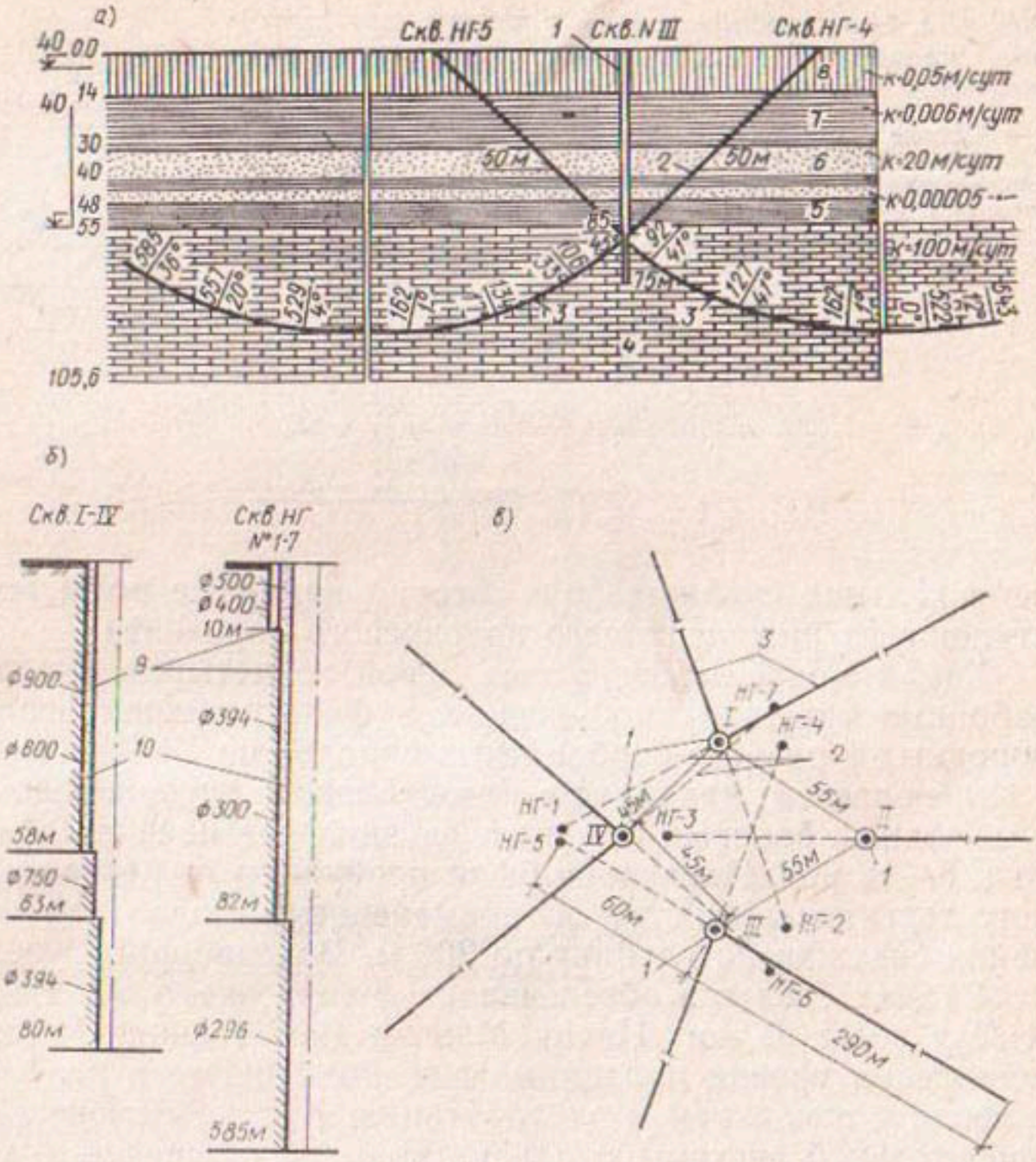


Рис. 1.14. Наклонно-горизонтальные буровые скважины в междуречье Днепр—Молочная

а — вертикальный разрез (цифры в числителе — длина скважины, в знаменателе — угол ее наклона); б — конструкция скважины; в — плановая схема расположения лучей: 1 — центральная водосборная вертикальная скважина; 2 — наклонно-прямолинейная часть скважины; 3 — криволинейно-горизонтальная часть скважины направленного бурения; 4 — известняк; 5 — глина; 6 — песок; 7 — суглинок; 8 — почва; 9 — обсадная труба; 10 — цементный раствор

ной скважины, заложенной под углом 32° к поверхности земли, пройденной на длину 176 м с глубиной нижней части 20 м и с поднятием забоя на 10°.

В результате опытных откачек при понижении уровня в скважинах всего на 4,5 м получено 350 м³/ч воды. Это превышает производительность работающих в этом же водоносном пласте вертикальных скважин в 3 раза,

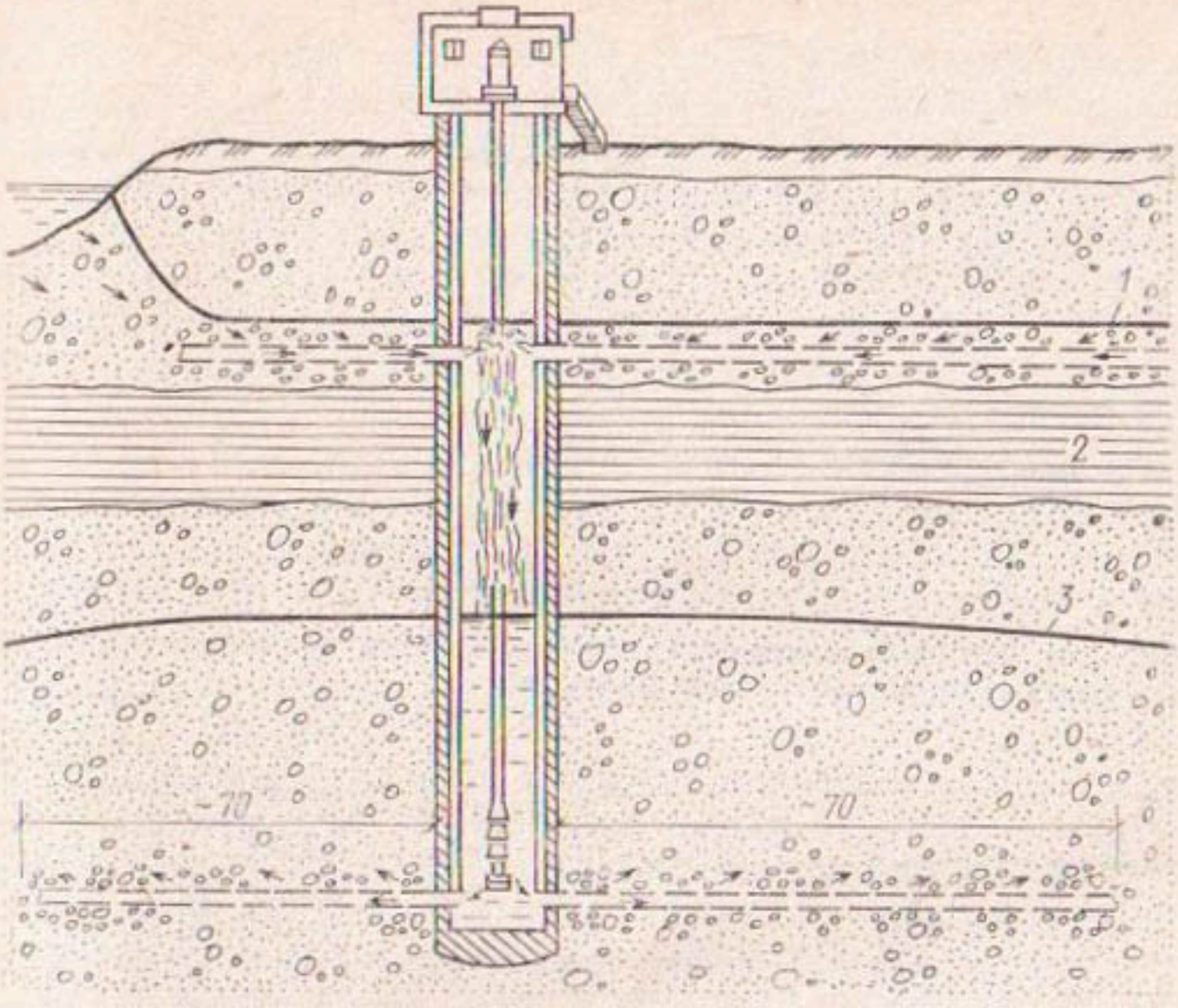


Рис. 1.15. Радиальная система горизонтальных скважин для искусственного восполнения запасов подземных вод на берегу р. Нимишиллен в г. Кантоне (штат Огайо, США)

1 — уровень грунтовых вод; 2 — непроницаемый слой (глина); 3 — уровень восполняемых подземных вод

а их удельный дебит в 6—7 раз. Стоимость каждой наклонно-горизонтальной скважины, пересеченной вертикальным стволом, составила в среднем 37,5 тыс. руб. (смета составлена с учетом экспериментального характера работ).

В той же местности недалеко от водозаборов с наклонно-горизонтальными скважинами построен лучевой водозабор классического типа с центральной шахтой $d=7{,}5$ м и глубиной 17 м. Методом горизонтального вращательного бурения в тех же известняках на глубине 13 м было пробурено 5 скважин, имеющих начальный диаметр 350—200 мм, а конечный —196 мм. Длина скважин 74, 170, 146, 192 и 200 м; дебит каждой из них при отдельной откачке 220—690 м³/ч. Стоимость водозабора 547 тыс. руб.

Радиальная система горизонтальных скважин (рис. 1.15), применяющаяся для искусственного пополнения

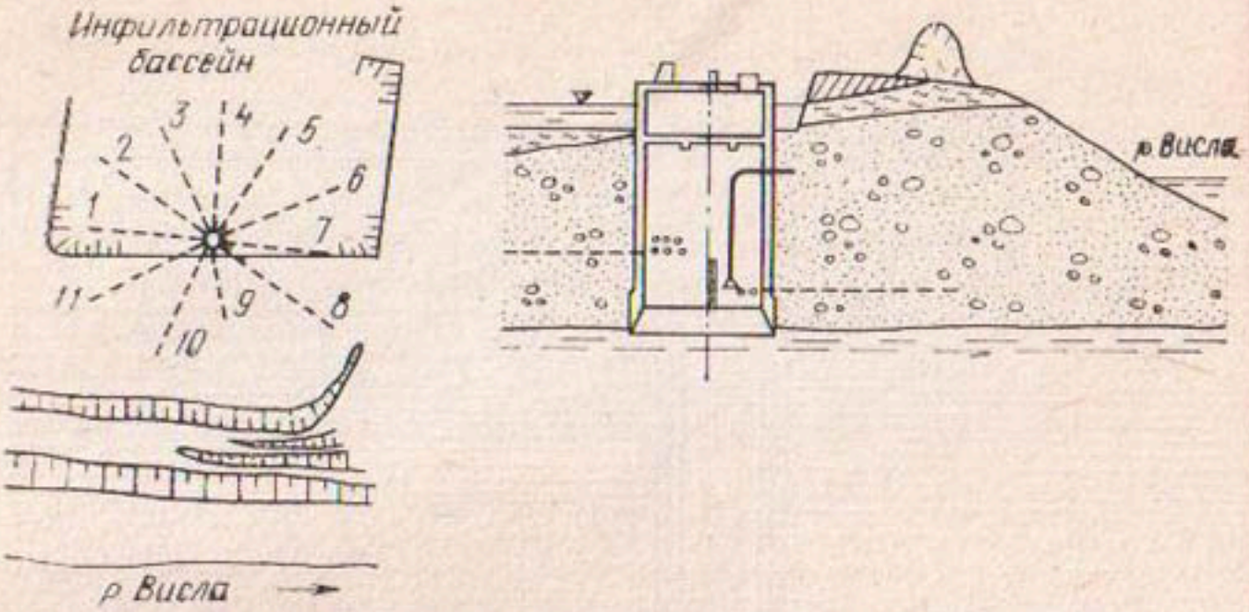


Рис. 1.16. Лучевой водозабор с искусственным восполнением запасов подземных вод (г. Краков, Польша)

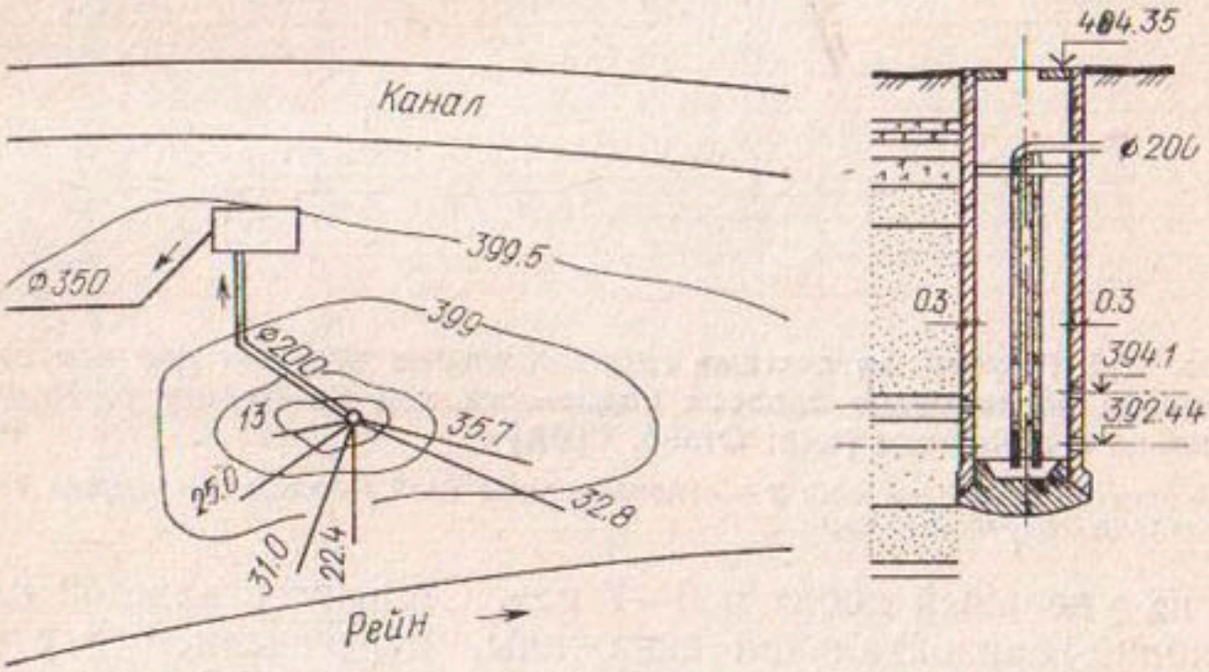


Рис. 1.17. Система искусственного восполнения запасов подземных вод на р. Рейн (ФРГ)

запасов нижележащего водоносного горизонта за счет подачи в него воды из верхнего горизонта грунтовых вод, гидравлически связанного с рекой (см. табл. 1.4, схема *13*), действует на берегу Нимишиллен в Кантоне (штат Огайо, США). Здесь на стадии пополнения запасов вода по верхнему ярусу радиальных горизонтальных скважин самотеком стекает в водосборный колодец и через скважины нижнего яруса поступает в восполняемый горизонт подземных вод. На стадии основной работы вода поступает по лучевым скважинам в водосборный колодец и откачивается включающимися на это время насосами.

В системе городского водопровода г. Кракова (Польша), работает лучевой водозабор с искусственным пополнением запасов подземных вод (рис. 1.16). Вода из Вислы подается в канал и инфильтрационный бассейн, откуда, фильтруясь вниз, существенно повышает производительность построенного на берегу лучевого водозабора с 11 горизонтальными трубчатыми фильтрами.

Аналогичная система с боковой подпиткой водоносного горизонта из обводного канала (рис. 1.17) действует на р. Рейн (ФРГ). Двухъярусный лучевой водозабор с 6 неравномерно расположенными в плане радиальными скважинами длиной от 13 до 35,7 м, заложенными на глубине 10 и 12 м, эксплуатируется в условиях двухстороннего питания водоносного пласта, что увеличивает его производительность по сравнению с притоком только от реки в 2—2,5 раза.

Водосборная камера лучевого водозабора. Выбор типа и конструкции водосборной камеры лучевого водозабора, откуда ведется откачка воды, зависит от геолого-литологических, гидрогеологических, гидрологических и производственно-организационных условий строительства, а также назначения и производительности водозабора. В зависимости от глубины заложения радиальных систем горизонтальных скважин, характера грунта, в котором осуществляется строительство, метода устройства водосборной камеры, способа прокладки лучевых фильтров, используемого в дальнейшем гидромеханического оборудования для откачки воды и подачи ее водопотребителям и других факторов могут применяться следующие основные конструктивные схемы водосборных камер:

1. Шахтный колодец цилиндрической формы из монолитного (реже сборного) железобетона глубиной заложения от 5—6 до 30—40 м, $D=2,5—10$ м и толщиной стенок 0,5—2,5 м.

2. Шахта цилиндрической формы, устройство которой осуществляется щитовым способом, применяемым при строительстве шахтных стволов с использованием специального оборудования. Глубина заложения таких шахт может достигать 50—60 м и больше, $D=3—12$ м. Возможна тюбинговая облицовка стенок.

3. Водосборная железобетонная камера любой в плане формы (прямоугольной, овальной, круглой), устройство которой осуществляется открытым способом. Глуби-

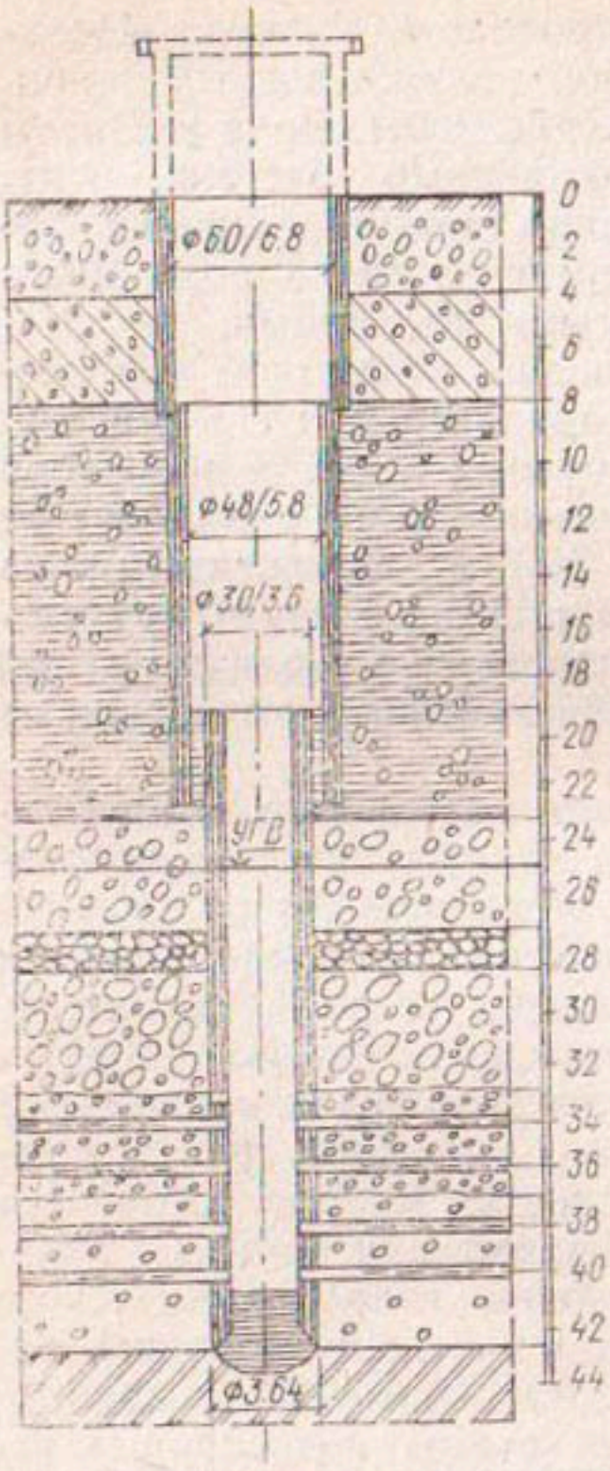


Рис. 1.18. Четырехъярусный лучевой водозабор с телескопической водосборной камерой в г. Турине (Италия)

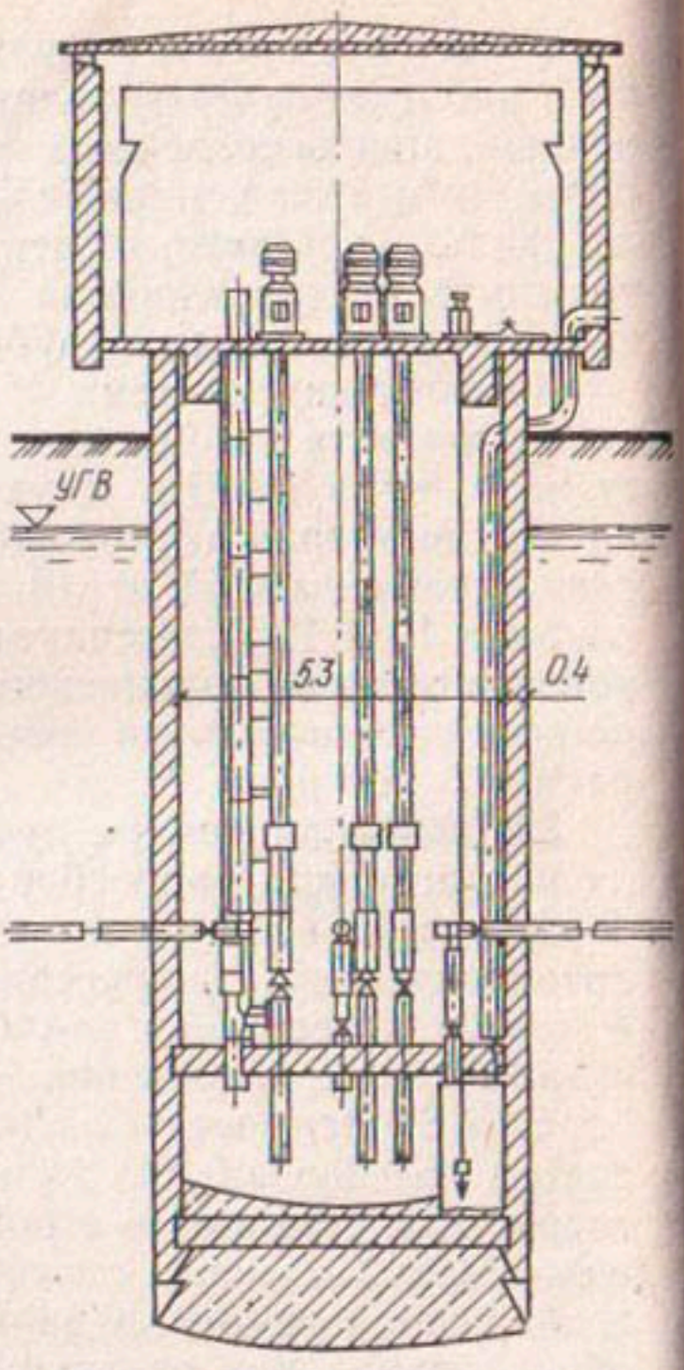


Рис. 1.19. Лучевой водозабор с нижней рабочей (водосборной) и верхней смотровой (ремонтной) камерами (ФРГ)

на заложения такой камеры до 6—8 м (с водопонижением и водоотливом), диаметр и толщина стенки не зависят от метода устройства.

4. Водосборная шахта из железобетона или стальных труб большого диаметра телескопической конструкции (рис. 1.18) при 2—3-х переходах диаметра. Соединение телескопических секций выполняется герметичным с заполнением стыка гидротехническим бетоном, глиной или

другими водонепроницаемыми материалами. Глубина заложения таких шахт может достигать 50—60 м, диаметр конечный 1,5—4 м, начальный —4—8 м (до 15 м). Толщина стенок (железобетонных) 0,5—2,5 м.

5. Центрально расположенный цилиндрический ствол, обсаженный стальной трубой, применяется для малых лучевых водозаборов, когда горизонтальные радиальные скважины прокладываются в грунте полностью механизированным способом с использованием специального малогабаритного станка без какого-либо применения ручного труда. Другой вариант — устройство вертикального ствола для наклонно-горизонтальных скважин, строительство которых осуществляется способом направленного бурения. Диаметр таких вертикальных стволов 0,2—1,5 м, глубина заложения скважин до 20 м.

6. Водосборные камеры из небольших стандартных сборных железобетонных колец, применяемых для устройства водозаборных смотровых, монтажных и других типовых шахтных колодцев глубиной заложения 3—6 м, D=0,8—1,5 м, с толщиной стенки 0,2—0,5 м.

7. Водосборные шахты, разделенные по вертикали горизонтальным перекрытием на две камеры: водосборную (рабочую) и смотровую (монтажную). В первую из них (мокрую) поступает вода из горизонтальных лучевых водоприемных фильтров, другая (сухая) служит для осмотра, ремонта и замены оборудования (задвижек, трубопроводной арматуры и пр.). Достоинством такой конструкции является облегчение возможности ремонта, реконструкции водозабора, очистки засорившихся лучевых фильтров, усиление водозабора путем устройства новых горизонтальных скважин.

На практике в большинстве случаев имеет место схема расположения водосборной камеры ниже смотровой (рис. 1.19). В представленном лучевом водозаборе вода из радиальных горизонтальных скважин по вертикальным патрубкам-стоякам, проходящим через железобетонное перекрытие, стекает в водосборную камеру, откуда откачивается насосами. Водоподъемные трубы последних также проходят через горизонтальное перекрытие. Достоинством такой схемы является отсутствие необходимости особой герметизации перекрытия, а, главное, возможность получения дополнительного объема воды за счет повышения величины действующего напора путем своеобразного вакуумирования водоприемных фильтров

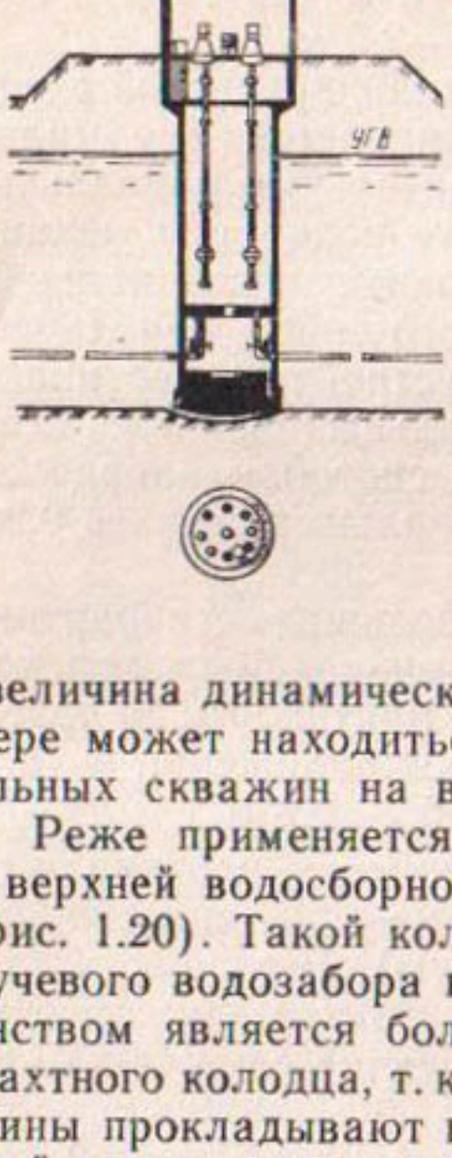


Рис. 1.20. Лучевой водозабор с верхней водосборной и нижней смотровой (ремонтной) камерой в г. Эйленбурге (ГДР)

(величина динамического уровня воды в водосборной камере может находиться ниже горизонтальной оси радиальных скважин на величину, достигающую 6—8 м).

Реже применяется конструкция шахтного колодца с верхней водосборной и нижней смотровой камерами (рис. 1.20). Такой колодец использовали при устройстве лучевого водозабора в г. Эйленбурге (ГДР). Его достоинством является более полное использование глубины шахтного колодца, т. к. горизонтальные радиальные скважины прокладывают на наиболее низких отметках, а отстойник удается расположить выше. Однако в этой конструкции возникают сложности герметизации перекрытия, через которое проходят патрубки-стояки, подающие воду в расположенную наверху водосборную камеру.

8. Водосборные колодцы, разделенные в плане вертикальной стенкой на две или несколько камер (секций). Это дает возможность, не останавливая полностью водозабор, выполнять ремонт или очистку отдельных лучевых фильтров или их групп. Вертикальные стенки могут быть полностью водонепроницаемыми (глухими), в таком случае необходима установка насоса в каждой камере (секции). Другой вариант — соединение камер специальными окнами, которые на время проведения ремонтных работ могут перекрываться затворами, щитами (типа шандор, шиберов) либо водопроводными задвижками.

Высота водосборной камеры определяется заданной глубиной заложения лучевых горизонтальных скважин,

уровнем подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта, максимальной величиной колебания динамического уровня воды в водосборной камере и необходимой высотой отстойника. В любом случае расстояние от горизонтальных лучей до днища водосборной камеры не должно быть менее 1 м.

Гидромеханическое и другое оборудование водозабора. В водосборной камере, которая обычно является одновременно и насосной станцией 1-го подъема, устанавливается водоподъемное оборудование. В лучевых водозаборах применяют насосы двух типов:

а) вертикального типа, которые подразделяются на насосы с погружными электродвигателями и насосы с вертикальными вращающимися валами и незатопленными электродвигателями. Первые позволяют вести откачку с больших глубин, но предъявляют особые требования к герметизации электрооборудования, что усложняет их и соответственно отражается на возможностях и удобстве ремонта. Вторые имеют преимущества, связанные с доступностью и удобством ремонта электродвигателей, однако глубина подъема ими воды меньше, чем у первых, и они относительно менее экономичны (имеют более низкий КПД), а также предъявляют повышенные требования к креплению вращающихся и других частей водоподъемника. Выбор того или иного насоса вертикального типа определяется глубиной водозабора, необходимой величиной водоподачи, диапазоном колебания динамического уровня воды в водосборной камере, технико-экономическими и организационно-техническими (производственными) соображениями, в частности, возможностями и условиями ремонта;

б) насосы горизонтального типа, которые устанавливаются на специальной рабочей площадке, расположенной на достаточно низком уровне. Достоинством горизонтальных насосов является более высокий КПД, чем у вертикальных, а также возможность повышения производительности водозабора путем подключения всасывающих патрубков насосов непосредственно к устьям лучевых труб или к соединительному (водосборному) коллектору, что создает эффект вакуумирования. Недостатком горизонтальных насосов является то, что они занимают больше места в плане и должны быть установлены не выше, чем на 4—5 м от динамического уровня воды в водосборном колодце. В связи с этим они не могут при-

меняться при большей глубине заложения лучевых скважин, т. к. не допускают затопления. Правда, может быть разработана конструкция плавающего перекрытия, когда насосы будут следовать за динамическим уровнем воды и угроза их затопления исчезнет.

Для надежности работы водозабора необходима установка определенного числа резервных насосов, производительность которых должна составлять не менее 0,5—1 производительности рабочих насосов.

В водосборной камере размещаются также запорные задвижки (винтовые, шиберные и др.), которые устанавливаются на устьях радиальных горизонтальных скважин. Они служат для выключения тех или иных лучей с целью регулирования подачи воды и проведения ремонтных работ. Управление задвижками осуществляют дистанционно с рабочей площадки при помощи специальных приспособлений. В случае большого диаметра лучей и соответственно задвижек операции по их закрыванию и открыванию выполняют механически с применением привода от гидравлических или электрических двигателей.

При большом числе лучей водозабора (свыше 3—4) их устья соединяют секционно по 2—4 луча или объединяют все вместе общим водоводом, что создает удобства в эксплуатации (например, водозабор в г. Каунасе). На соединительном водоводе устраивают дополнительные разделяющие запорные задвижки. В водосборной камере устанавливают также следующее гидромеханическое и, при необходимости, другое вспомогательное оборудование:

дренажный насос для периодической очистки отстойника водозабора и полного осушения водосборной камеры при проведении ремонтных работ. Всасывающий патрубок дренажного насоса опускается до минимальной отметки;

вакуумный насос, если его применение требуется для лучшего запуска эксплуатационных насосов, а также интенсификации работы горизонтальных радиальных скважин;

промывной насос с гидромониторными приспособлениями для периодической (или систематической) очистки горизонтальных лучевых фильтров;

грузоподъемное оборудование (тали, блоки, полиспасты, подъемные краны и т. п.), которое служит для мон-

тажа и демонтажа основного оборудования при его профилактическом (плановом) и аварийном ремонте;

вентиляционное оборудование, необходимое при выполнении ремонтных работ;

электрооборудование для работы эксплуатационных и вспомогательных насосов, задвижек и других механизмов;

оборудование гидравлических приводов (маслонапорные станции, маслораспределители и т. п.);

монтажные лестницы (в редких случаях при большой глубине водосборной камеры — лифты), люки, вспомогательные рабочие монтажные площадки на разных ярусах и т. д.;

соединительная, распределительная, запорная и другая арматура, которая устанавливается на напорной части водоводов.

Конструкции горизонтальных скважин. Конструктивные особенности горизонтальных радиальных скважин зависят от инженерно-геологических и гидрогеологических условий, метода их устройства, а также производственно-технических возможностей. Необходимо выделить 4 основных группы конструкций скважин:

1. Незакрепленные скважины, заложенные в прочных необрушающихся горных (чаще всего скальных) породах обычными методами вращательного (или другого) бурения, широко применяющегося в области устройства обычных вертикальных буровых скважин.

2. Скважины, закрепленные от обрушения специальными обсадными трубами, позволяют после их бурения устанавливать фильтры (и трубофильтры) практически любого вида и конструкции по типу фильтров обычных водозаборных, водопонизительных и дренажных скважин, которые бурятся в обводненных рыхлых грунтах с обсадкой.

3. Трубчатые фильтры, которые устанавливаются в обводненных крупнозернистых песчаных, песчано-галечных и гравийно-галечных грунтах, когда бурение скважин производится без их обсадки. Здесь применяются перфорированные трубы разного диаметра с толщиной стенок 5—20 мм с щелевой или круглой перфорацией, размеры которой подбираются в зависимости от физико-механических свойств грунта (в основном, от его гранулометрического состава). Наиболее применимые параметры таких фильтров даны ниже.

4. Дрены лучевых водозаборов, строительство которых ведется открытым способом. Выбор вида и конструкции водоприемной части водозабора, фильтровых обсыпок и других конструктивных характеристик осуществляется по тем же нормам, что и для горизонтальных водозаборов (см. гл. 1, п. 2).

Выбор конструкции трубчатых фильтров, применяющихся в лучевых скважинах, которые бурятся без обсадных труб, осуществляется по известной методике [26, 35]. При этом учитывают гранулометрический состав грунта, химический состав воды и другие факторы. Применение трубчатых фильтров возможно в следующих грунтовых условиях:

в галечниковых и щебенистых отложениях с преобладающей (более 50 % по массе) крупностью частиц грунта от 20 до 50 мм;

в гравелистых и гравелисто-песчаных грунтах с преобладающей крупностью $D_{50\%}=2—5$ мм.

Размеры проходных отверстий фильтров выбирают в зависимости от преобладающего диаметра и коэффициента неоднородности грунтов по той же методике, что и для горизонтальных водозаборов (см. табл. 1.2). В качестве фильтров, продавливаемых в грунт без обсадки скважин, применяются стальные горячекатаные, электросварные трубы (ГОСТ 10706—76).

Одним из недостатков применения стальных труб, устанавливаемых в необсаженные горизонтальные скважины лучевых водозаборов, является отсутствие возможности их антикоррозионной защиты от агрессивного воздействия химически активных подземных вод. В связи с этим проводится оценка степени химической коррозии фильтров, которая зависит от содержания в воде таких компонентов, как CO_2, O_2, H_2S, HCl, H_2O_4, которые растворяют и разрушают металл.

Для хозпитьевого водоснабжения, когда откачиваемая вода имеет сравнительно небольшую минерализацию, возможность коррозии стальных труб за счет нарушения углекислотного равновесия может оцениваться показателем Ризнера

$$R_i = 2\text{pH}_s - \text{pH},$$

где pH_s — показатель водородных ионов, соответствующий равновесному содержанию в воде углекислых соединений; pH — фактическая величина концентрации водородных ионов подземных вод.

При $R_i > 9$ вода коррозионна и требуются антикоррозионные мероприятия, если $7 < R_i < 9$ возможно развитие коррозионных процессов с небольшой интенсивностью. В случае $R_i < 7$ вода становится способной к образованию кольматирующих отложений.

Трубчатые фильтры, изготовленные из низкоуглеродистой стали без антикоррозионных покрытий применяются при $R_i = 7—8$ (нержавеющая сталь устойчива даже при $R_i = 12—15$).

Если в подземной воде содержится сероводород, скорость коррозии фильтров из стальных труб достигает 8—10 мм в год. В связи с этим применение в таких условиях конструкции лучевых фильтров без антикоррозионной защиты недопустимо.

Следует иметь в виду, что при возможности подтягивания к водозабору подземных вод с небольшой величиной pH появляется вероятность повышения концентрации H_2S и увеличения опасности коррозионного воздействия. Такие условия чаще всего проявляются на участках с грунтовыми водами, имеющими достаточно большое содержание гумусных частиц (например, на заболоченных землях).

Подробные сведения о конструкциях и методах подбора фильтров горизонтальных скважин лучевых водозаборов, устанавливаемых в скважинах с обсадкой, приведены в соответствующей литературе, относящейся к обычным вертикальным водозаборным скважинам [26].

4. Лучевой дренаж

Дренирование сельскохозяйственных земель. Гидромелиорация орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель традиционно осуществляется с применением горизонтального и реже вертикального дренажа. Горизонтальный дренаж позволяет относительно недорогим способом воздействовать на поверхностный слой земли и тем самым улучшать условия произрастания растений. Вертикальный дренаж, который дает возможность отводить с мелиорируемой территории большие количества воды и глубоко понижать уровень подземных вод, более серьезно воздействует на почвогрунты, чем горизонтальный дренаж и, благодаря легкой управляемости, является одним из важных средств регулирования влажности почв.

Вместе с тем в ряде гидрогеологических условий

подлежащий дренированию слой грунта имеет небольшую мощность. Эффективное дренирование в этом случае требует устройства густой сети малодебитных скважин вертикального дренажа с невысокой водозахватной способностью. Такой дренаж в значительной степени загромождает полезную сельскохозяйственную площадь и имеет низкие технико-экономические показатели за счет значительной протяженности электрических и водоотводных коммуникаций, большого числа насосов для откачки воды и повышенного расхода электроэнергии.

Например, в условиях многослойной толщи чередующихся в разрезе водонасыщенных и слабопроницаемых пластов (например, условия Голодной степи, Узбекистан) применяется сеть дренажных скважин глубиной по 70—80 м и диаметром 0,7—1 м, фильтровая колонна которых с песчано-гравийной обсыпкой установлена на всю глубину скважин. В таких случаях более рационален был бы дренаж, расположенный в самом верхнем водонасыщенном слое, подстилающем дренируемые мелкоземы. Однако при малой мощности этого слоя (1,5—2,5 м) вертикальный дренаж малоэффективен ввиду его недостаточной водозахватной способности. Поэтому в данных условиях целесообразно применение лучевого дренажа.

Горизонтальные радиальные скважины, закладываемые непосредственно под дренируемыми почвогрунтами, позволяют воздействовать на них более эффективно. При промывках почв для их рассоления горизонтальные лучевые дрены по сравнению с вертикальным дренажем на засоляющие грунтовые воды действуют более благоприятно и создают интенсивные нисходящие токи воды.

Другая обширная область применения лучевых водозаборов для мелиоративного дренажа сельскохозяйственных земель — гидрогеологические условия, характеризующиеся наличием мощных высоководообильных пластов, когда глубокое понижение уровня подземных вод, необходимое для создания нормальных условий роста растений, требует концентрированной откачки больших объемов воды на локальных участках. Вертикальный дренаж, ввиду его недостаточной водозахватной способности, не может удовлетворить этому требованию.

Конкретный объект применения лучевого дренажа для мелиорации крупного массива орошаемых сельскохозяйственных земель с общим и локальным дрениро-

ванием территории расположен на юге Украины в междуречье Днепр-Молочная в зоне влияния Каховского водохранилища и Краснознаменской оросительной системы. Институтом Укргипроводхоз был запроектирован лучевой дренаж, который обеспечивает понижение поднявшегося уровня подземных вод на 3—6 м, защищает сельскохозяйственную территорию от подтопления и подает воду на орошение. При этом учитывались характерные местные условия — наличие многослойной толщи водовмещающих горных пород с трещиноватыми неогеновыми известняками (коэффициент фильтрации около 100 м/сут, мощность пласта 35 м). В соответствии с проектом были построены опытно-производственные лучевые дренажи с наклонно-горизонтальными скважинами длиной по 250 м (по 2—7 шт. в каждом кусте), а также лучевые водозаборы классического типа с центрально расположенной водосборной камерой — шахтным стволом диаметром 7,5 м и радиальными системами горизонтальных скважин, заложенными на глубине 15—20 м (см. п. 3).

Строительное водопонижение, осушение карьеров, противооползневая защита земляных откосов. При осушении горных выработок, выполняемых для строительных целей и добычи полезных ископаемых в обводненных грунтах, обычно применяется глубинное водопонижение. Оно осуществляется путем опускания уровня (напора) подземных вод на определенную глубину ниже дна котлована (траншеи) или карьера. Для этого ставят контурные (кольцевые) системы водопонизительных скважин (или иглофильтров), которые располагают по бортам горных выработок. Глубина этих скважин кроме заданного понижения уровня (напора) подземных вод под дном горных выработок определяется также высотой фильтра скважин и отстойника.

Вместе с тем имеются достаточно широко распространенные условия, когда котлованы или карьеры являются совершенными по степени вскрытия водоносного пласта или даже вскрывают своим дном водоупорный слой. В этих случаях понизить уровень (напор) подземных вод ниже дна котлована оказывается невозможным.

В таких условиях горизонтальным лучевым или параллельным скважинам, действующим совместно с системой внутреннего водоотлива, практически альтерна-

тивы нет. Только с их помощью может быть осуществлено полное водопонижение с осушением дна котлована по всей его площади. В отличие от вертикальных скважин водоприемная часть горизонтальных скважин всегда затоплена и работает всей своей длиной, независимо от величины понижения уровня подземных вод и его сезонных колебаний. В связи с этим оптимизируется вся система водопонижения, улучшаются условия ее работы, становится возможным использование укрупненной насосной станции с экономичными насосами горизонтального типа, имеющими высокий КПД.

Одним из первых опытов применения лучевых дренажей для строительного водопонижения был проект контурной системы лучевых водозаборов для водопонижения строительного котлована Киевской ГЭС, разработанный институтом Гидроспецпроект совместно с Укргидропроектом и Оргэнергостроем Минэнерго СССР [4, 41].

Гидрогеологические условия этого объекта характеризуются наличием водоносного горизонта мощностью 20—40 м, сложенного аллювиальными среднезернистыми песками с коэффициентом фильтрации 20—40 м/сут и гидравлически связанного с р. Днепр. Уровни подземных вод поднимаются в паводок вслед за уровнем воды в Днепре и падают в меженный период года.

В связи с малой толщиной слоя водонасыщенных песков между дном котлована и водоупором вертикальные скважины согласно расчету не позволяли рационально организовать контурное водопонижение. Поэтому была запроектирована система 8 лучевых водозаборов, каждый из которых имел 7 горизонтальных радиальных скважин длиной по 30 м, установленных на глубине 25 м от поверхности земли. Лучевые водозаборы должны были откачивать 2,6 тыс. м^3/ч воды в межень и 5 тыс. м^3/ч — в паводочный период. В водосборных шахтах предусматривалась установка по 2 горизонтальных насоса марки 6 НДв.

В связи с сокращением сроков строительства из всей запроектированной системы лучевого дренажа удалось построить лишь один опытно-производственный лучевой водозабор с горизонтальными скважинами длиной от 10 до 40 м и глубиной их заложения 15 м. Кратковременная работа этого лучевого дренажа показала, что он дает возможность заменить водопонизительные вертикаль-

ные скважины, установленные на длине 300 м контура строительного котлована.

Аналогичные замкнутые кольцевые системы лучевых дренажей были также запроектированы для ряда объектов осушения карьеров полезных ископаемых (полиметаллических руд) институтом Гипроцветмет.

Лучевой дренаж принимается и при строительстве глубоких подземных выработок. Впервые для этих целей он был использован в 1941 г. при строительстве метрополитена в Нью-Йорке. В процессе проходки перегонных транспортных тоннелей на линии Бруклин—Баттери возникла необходимость осушить участок трассы, сложенной плывунными мелкозернистыми песками. По проекту инженера Р. Небольсина была заложена шахта глубиной 19 м и диаметром 3,5 м, из которой под забой тоннеля была проложена радиальная система 12 горизонтальных трубчатых фильтров длиной по 11—56 м, диаметром 200 мм. При откачке 38 л/с воды уровень подземных вод на участке строительства был опущен ниже забоя тоннеля, вследствие чего проходку успешно завершили.

Автором книги предложен метод горизонтального водопонижения [31], который не требует бурения скважин с поверхности земли, как это часто приходится делать, и позволяет эффективно осушать забой горной выработки. Возможны 2 варианта применения горизонтального водопонижения по этому методу (рис. 1.21). По 1 варианту трубчатые водопонизительные дрены прокладывают из монтажной шахты, откуда ведется проходка горной выработки (тоннеля). Дрены располагают ниже тоннеля и параллельно его продольной оси. В этом случае понижение уровня грунтовых вод обеспечивается ниже лотка тоннеля, и дрены полностью осушают горную выработку. Второй вариант предусматривает прокладку горизонтальных дрен в грунт непосредственно из забоя тоннеля с опережением его на 5—10 м. При этом полного осушения не достигается, хотя устройство опережающих горизонтальных дрен из забоя тоннеля значительно проще и дешевле, чем в 1 варианте, вследствие чего параллельные горизонтальные дрены, расположенные вне тоннеля, применяются при большой водопроницаемости пласта.

Метод горизонтального водопонижения горных выработок в порядке опытно-производственного внедрения

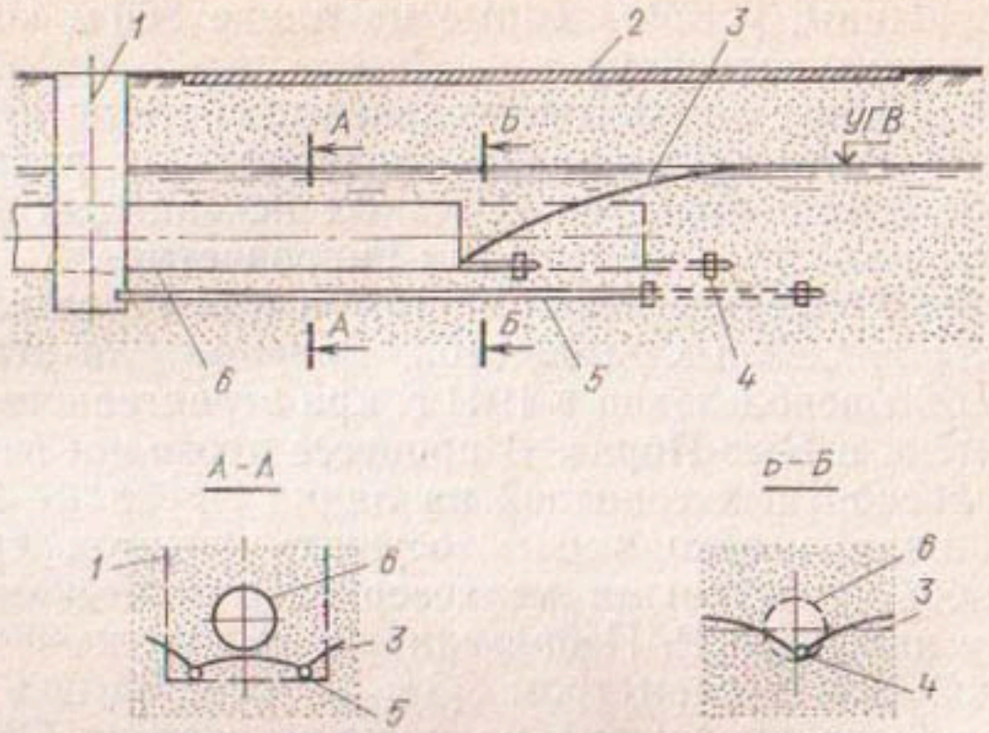


Рис. 1.21. Строительное водопонижение с применением опережающей горизонтальной скважины

1 — монтажная шахта; 2 — застроенная территория; 3 — уровень грунтовых вод, пониженный дренами; 4 — горизонтальная трубчатая дрена с прокладкой из забоя тоннеля; 5 — горизонтальная трубчатая дрена с прокладкой из монтажной шахты; 6 — тоннель

осуществлялся при строительстве коллектора р. Пресни на участке Рижского направления Московской железной дороги. Согласно данным Мосинжпроекта трасса коллектора диаметром 2,5 проходит во флювиогляциальных мелких песках с коэффициентом фильтрации 1,7—2,8 м/сут. Грунтовые воды превышают отметки лотка щитового тоннеля на 2,5—3 м. Длина участка между монтажными шахтами 53 м. В данных условиях иглофильтровое водопонижение применено быть не могло ввиду того, что участок трассы расположен под насыпью Рижской железной дороги. Для осушения забоя из него была проложена дрена в виде стальной перфорированной трубы $d=160$ мм с проволочной обмоткой, которая собиралась из звеньев длиной по 1,5—2 м.

Широкое распространение в практике осушения обводненных грунтов строительных котлованов и особенно карьеров полезных ископаемых имеют дренажи, представляющие собой систему параллельных горизонтальных скважин, расположенных рядами по контуру совершенного карьера или котлована, вскрывающего водоупорный пласт. В отличие от системы вертикальных

скважин такой дренаж способен полностью (почти до дна открытой выработки) снизить уровень грунтовых вод [4, 8, 41]. В условиях горизонтальных или слабонаклонно залегающих слоев обводненных пород системы горизонтальных скважин могут применяться в качестве основных или вспомогательных средств водопонижения карьеров и котлованов.

Горизонтальные параллельные одна другой скважины, объединенные в контурные системы, в качестве основного средства водопонижения карьеров и котлованов применяют в следующих гидрогеологических условиях:

при водопонижении открытых выработок, расположенных в маломощных водоносных пластах, сложенных грунтами с низкой водоотдающей способностью (например, в мелкопесчаных плывунах), где вертикальные скважины малоэффективны, так как длина их фильтровой части ограничена небольшой мощностью пласта;

при водопонижении открытых выработок, расположенных в мощных водообильных пластах, где весьма существенно влияние на устойчивость откосов гидростатического и гидродинамического давлений;

в качестве вспомогательных средств дренажа горизонтальные параллельные скважины применяют при осушении несовершенных котлованов и карьеров, днище которых находится выше водоупорного слоя пород.

В этих и других случаях, когда имеется угроза нарушения устойчивости откосов за счет «проскока» подземных вод между вертикальными скважинами основной системы контурного водопонижения, горизонтальные скважины играют роль усилителей дренажа и снимают остаточные напоры подземных вод. Применение комбинации вертикального дренажа с горизонтальным особенно целесообразно при большом внешнем притоке к открытой выработке. В этом случае горизонтальные скважины, взяв на себя часть общего притока, позволяют уменьшить производительность основной системы водопонижения, сократить число вертикальных водопонизительных скважин и снизить расход электроэнергии. Горизонтальные параллельные скважины с успехом могут использоваться в сочетании с поверхностным (например, траншейным) водоотливом, контурной системой водопонизительных скважин, а также иглофильтровыми установками (в том числе многоярусными).

Применение параллельных горизонтальных скважин в ряде случаев не может полностью исключить необходимость устройства вертикальных водопонизительных скважин и по условиям первоначального осушения. При сильной обводненности пород и необходимости вести вскрышные работы всухую система вертикальных водопонизительных скважин требуется для первичной откачки в целях первоначального снижения уровня грунтовых вод и проходки котлована или карьера до заданной глубины. В дальнейшем, в пассивный период водопонижения, предварительно сниженный уровень грунтовых вод может поддерживаться с применением горизонтальных скважин.

Параллельные системы горизонтальных трубчатых фильтров (щелистых, металлических и асбестоцементных, керамических, блочных и др.) нашли распространение в практике водопонижения при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Они применены на Лебединском железорудном карьере Курской магнитной аномалии (КМА), на Марьевском и Алексеевском карьерах Никопольского марганцевого бассейна и других. В процессе опытно-эксплуатационных испытаний на Лебединском карьере КМА было установлено, что горизонтальные скважины обеспечивают перехват 74—94 % притока, поступающего к борту карьера, и с успехом заменяют вертикальные средства водопонижения.

Важная область использования лучевых дренажей — это инженерная защита оползневых склонов от гидродинамического воздействия подземных вод, которые могут перехватываться в зоне плоскостей скольжения. Собирая воду в глубине откоса и не давая ей высачиваться на откос, лучевые дрены предотвращают также намокание склонов. Институтом Укркоммунниипроект разработаны специальные Рекомендации по применению лучевых дренажей на оползневых склонах. Они предусматривают сооружение кустов радиальных скважин, выходящих из одной точки, и охватывающих намного бóльшую площадь, чем вертикальные скважины или горизонтальный дренаж. В других случаях лучевые дренажи могут применяться для осушения полуциркульного оползневого амфитеатра, как называют инженеры-геологи полукруглые в плане оползневые склоны. В этом случае горизонтальные скважины прокладываются из специально сооруженного центрального водосборного шахтного колодца, где затем устанавливается насос для откачки воды.

Инженерная защита территорий от подтопления подземными водами. Среди многих последствий интенсивного городского, промышленного, водохозяйственного и другого строительства не последнее место занимает подтопление застроенных территорий подземными водами, которое связано с фильтрацией из водоемов и водотоков, утечками из водонесущих коммуникаций, переформированием рельефа и другими факторами. Выборочное обследование, проведенное Госстроем РСФСР в пределах Российской Федерации, показало, что подтоплением затронуты территории 27 административных единиц, т. е. 73 % от общего числа городов, расположенных на рассмотренных территориях.

В связи с этим важное значение приобретают мероприятия по устройству дренажей, которые входят в систему инженерной защиты застроенных территорий. Перехватные, линейные, кольцевые, систематические и другие дренажи служат эффективным средством борьбы с подтоплением территорий подземными водами [35, 36].

Наибольшее распространение так же, как при мелиорации сельскохозяйственных земель, получили горизонтальные закрытые (реже открытые) дренажи, основные конструктивные характеристики водоприемной части которых почти полностью совпадают с горизонтальными водозаборами. Эффективность, простота устройства и дешевизна делают этот вид дренажей наиболее применимым. Однако в стесненных условиях застроенных промышленных и городских территорий особое значение имеет занятость подземного пространства водонесущими, газопроводными, электросиловыми и другими трубопроводами и кабельными коммуникациями. В связи с этим устройство горизонтального дренажа (применимого как профилактическое мероприятие, осуществляемое в процессе строительства) в условиях действующего промпредприятия или городской застройки оказывается затруднительным, так как требует перекладки (или подвески) многочисленных коммуникаций.

Вертикальный дренаж, позволяющий оперативно защищать подтопленную территорию, может использоваться в более широком диапазоне изменяющихся природных и особенно техногенных условий, чем горизонтальный дренаж. Однако в обводненных слабопроницаемых грунтах, которые имеют повсеместное распространение, эффективность вертикальных скважин весьма мала. Достаточно

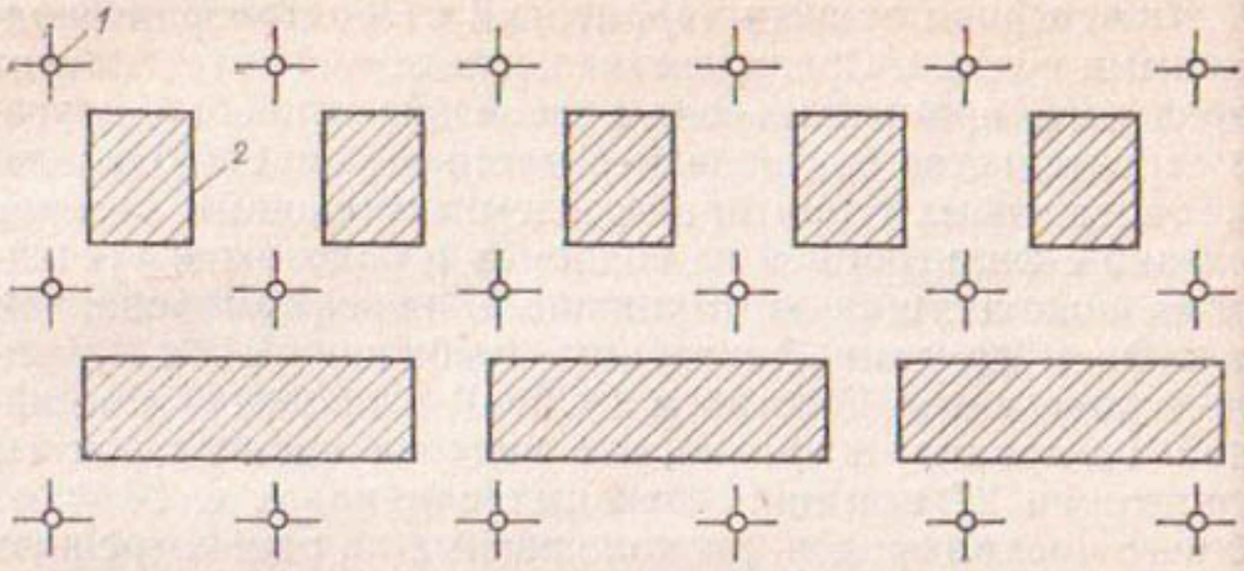


Рис. 1.22. Систематический лучевой дренаж в пределах городской застройки

1 — лучевые водозаборы; 2 — здания

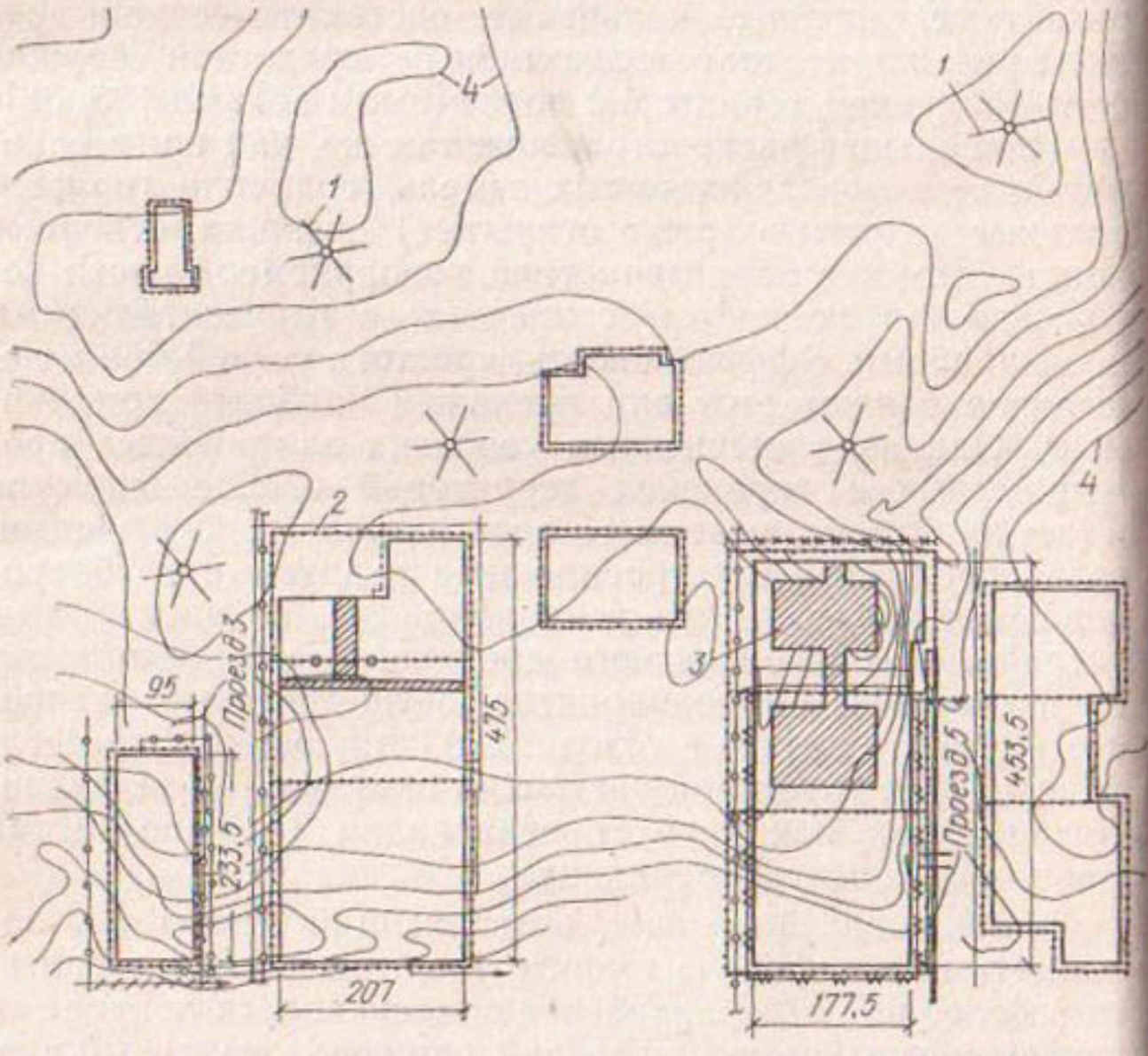


Рис. 1.23. Лучевой дренаж территории Балаковского комбината химического волокна им. В. И. Ленина (проект)

1 — лучевые водозаборы; 2 — вертикальный кольцевой дренаж; 3 — пластовый песчано-гравийный дренаж; 4 — гидроизогипсы подземных вод

лишь отметить, что радиус каждой из водопонизительных скважин, действующих в грунтах с коэффициентом фильтрации около 1 м/сут, не превышает 5—10 м. Это значит, что в таких условиях для дренирования подтопленной территории необходимо устройство густой сети скважин, отстоящих одна от другой на расстоянии 10—20 м. Таким образом, при бурении скважин возникают те же трудности, что и при строительстве горизонтального дренажа. В связи с этим оказывается перспективным использование лучевого дренажа, который представляет собой систему лучевых водозаборов с радиальными горизонтальными скважинами.

При дренировании территории, подтопляемой подземными водами, инфильтрующимися в грунт в пределах самой территории, может применяться систематический площадной дренаж (рис. 1.22), состоящий из лучевых водозаборов, расставленных в плане равномерно по всей площади осушаемой территории [35]. Примером такого дренажа, отдельные водозаборы которого приурочены к тем или иным куполам подъема подземных вод, является схема дренирования промплощадки Балаковского комбината химического волокна им. В. И. Ленина в Саратовской области (рис. 1.23). Территория комбината сложена толщей морских хвалынских шоколадных глин мощностью 5—10 м, имеющих песчаные и супесчаные включения в виде водонасыщенных линз и прослоев. Глины обладают анизотропией с повышенной проницаемостью в горизонтальном направлении. Средний коэффициент фильтрации этих отложений, где формируется техногенный водоносный горизонт, составляет 0,2 м/сут, коэффициент водоотдачи грунтов 0,075. Толща глин подстилается аллювиальными супесчаными, песчаными и суглинистыми отложениями, ниже переходящими в средне- и крупнозернистые пески, к которым приурочен используемый для водоснабжения водоносный горизонт.

Предложения по дренированию промплощадки, составленные ПНИИИСом Госстроя СССР, предусматривают устройство системы шестилучевых дренажей, устанавливаемых в местах наиболее высокого подъема уровня подземных вод. Помимо этого намечено создание локальных вертикальных и горизонтальных кольцевых дренажей, которые размещаются по возможности отдельными участками или целиком возле цехов комбината.

Локальный дренаж отдельных сооружений, находя-

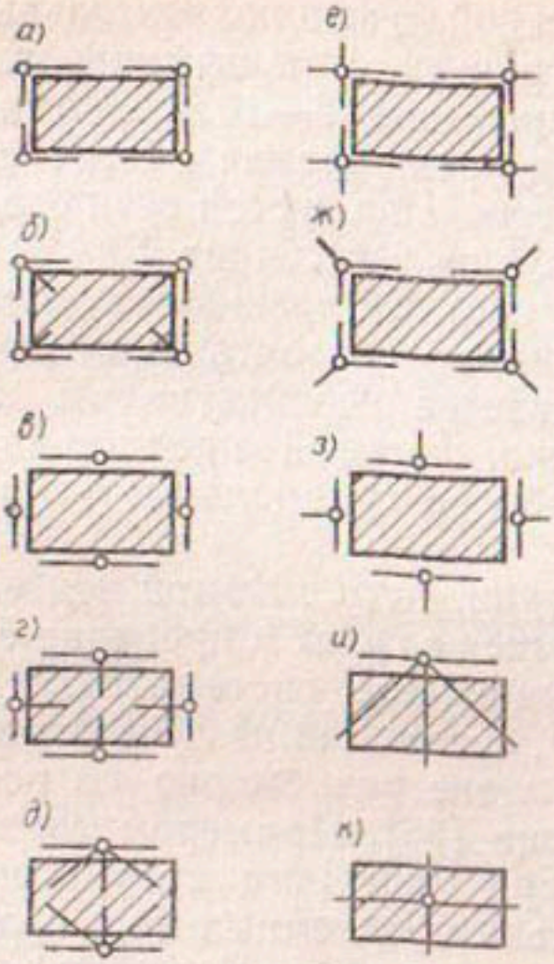


Рис. 1.24. Основные схемы расположения лучевых дренажей

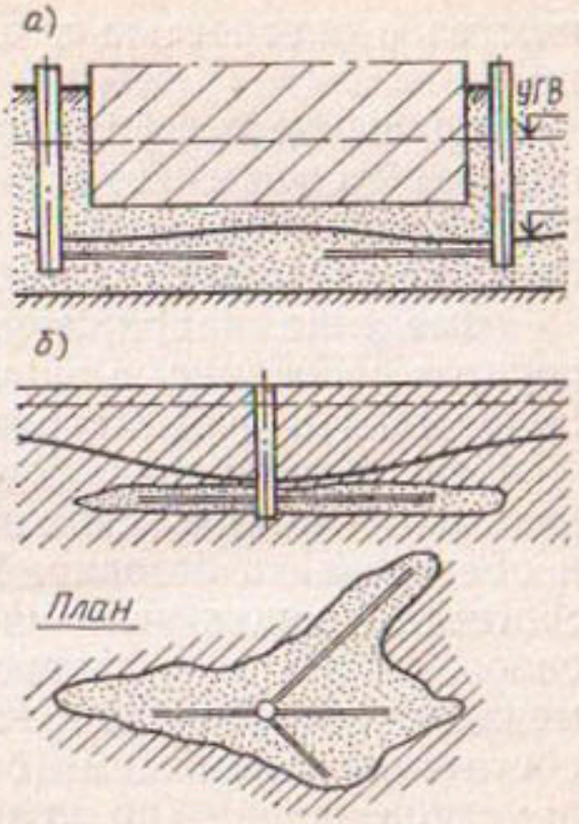
а — кольцевой дренаж с угловым расположением двухлучевых водозаборов; б — площадной дренаж с угловым расположением трехлучевых водозаборов; в — кольцевой дренаж с фронтальным расположением двухлучевых водозаборов; г — площадной дренаж с фронтальным расположением; д — площадной дренаж с двумя пятилучевыми водозаборами; е — кольцевой дренаж с четырехлучевыми водозаборами; ж — то же, с угловым расположением водосборных колодцев; то же, с фронтальным расположением водосборных колодцев; и — площадной дренаж с одним пятилучевым водозабором; к — площадной дренаж с четырехлучевым водозабором

щихся в условиях подтопления, осуществляется установкой лучевых водозаборов в непосредственной близости от сооружений. Возможность устройства дренажа в каждом отдельном случае должна быть оценена с точки зрения опасности проявления деформации грунтов основания сооружения при их осушении. Это особенно важно при размещении горизонтальных лучевых дрен под сооружением.

Локальный дренаж сооружений может осуществляться посредством кольцевого (рис. 1.24, схемы *а*, *в*, *е*, *ж*, *з*) или площадного (схемы *б*, *г*, *д*, *и*, *к*) расположения горизонтальных лучевых скважин. В первом случае эффект перехвата внешнего притока подземных вод может быть усилен установкой дополнительных лучей (схемы *е*, *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 (схемы *б*, *г*). При небольших размерах сооружения в плане (или отдельной его части) возможно дренирование путем площадного расположения горизонтальных дрен двух и даже одного лучевого водозабора (схемы *д*, *и*, *к*).

Рис. 1.25. Схема локального дренажа

а — понижение уровня грунтовых вод под защищаемым зданием; б — дренирование линзы водонасыщенных рыхлых грунтов в массиве слабопроницаемых грунтов



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 дренировать их наиболее полно, вплоть до превращения в естественно-искусственные пластовые дрены (рис. 1.25). В отличие от других видов дренажа лучевой дает возможность более гибко учитывать как плановую, так и вертикальную фильтрационную неоднородность грунтов, что позволяет его особенно эффективно использовать в анизотропных и многослойных пластах.

На основе анализа и обобщения опыта проектирования и эксплуатации лучевых дренажей В. Е. Анпиловым [5] предложена типизация условий их применения при различных сочетаниях инженерно-геологических, гидрогеологических факторов, при этом выделено 3 типа таких условий.

Одним из существенных возражений, которое обычно высказывается при решении вопроса о возможности использования лучевого дренажа для осушения грунтов под зданиями и сооружениями, является опасность их деформаций и возникновения соответствующих аварийных ситуаций. Такие отрицательные проявления обычно связы-

ваются с опасностью проявления следующих двух явлений:

нарушение суффозионной устойчивости грунтов основания, обусловленное возможным выносом мелких частиц грунта при неудачно выбранном типе и конструкции фильтра лучевых скважин;

изменение напряженно-деформированного состояния грунтов основания, а значит, и их устойчивости при расположении лучевых скважин в зоне сжатия грунтов.

Первое явление вообще не должно допускаться: конструкция скважин должна быть противосуффозионной и обеспечивать безаварийную работу дренажа. Если же соответствующих условий для предотвращения суффозионного выноса нет, лучевой дренаж либо не должен применяться вообще, либо скважины следует располагать на достаточно удаленном (безопасном) расстоянии от фундаментов здания (по глубине и в плане). Но и в последнем случае может быть допущен лишь кратковременный и неинтенсивный вынос мелких частиц (так называемое пескование скважин), который, как показывает опыт устройства вертикальных буровых скважин, имеет место при их прокачке и через некоторое время прекращается.

Многолетние наблюдения ВИОГЕМа за работой лучевых дренажей [5], заложенных в связных грунтах, в частности, в лессах и лессовидных суглинках, показали, что даже при упрощенной конструкции горизонтальных скважин и отсутствии специальных песчаных обсыпок или обмоток фильтра никаких фильтрационных деформаций не происходит. Установлено, что в лессовых грунтах отсутствуют какие-либо проявления механической суффозии, размыва грунта на контакте, его оплывание с заилением фильтра.

Сохранение устойчивости массива грунта в основании зданий и сооружений связано с расположением горизонтальных лучевых дренажных скважин ниже зоны сжатия, которая может быть нарушена при прокладке лучей. Размеры активной зоны сжимаемой толщи зависят от размеров фундаментов, в частности, их глубины заложения, ширины и длины, веса и соответственно давления на грунт, а также свойств самого грунта. Согласно расчетам глубина зоны сжатия под различными фундаментами примерно равна 2—5 м для мелкопесчаных грунтов и 2—3 м — для связных (глинистых) грунтов. В то же время при решении вопроса о глубине заложения горизонталь-

ных дрен следует иметь в виду, что активная зона сжатия может быть подразделена на 3 подзоны: верхнюю — усиленного, среднюю — умеренного и нижнюю — слабого сжатия. При этом, например для столбчатого фундамента, величина дополнительного к природному давления фундамента на грунт составляет соответственно от верхней к нижней подзоне: 150, 50 и 20 % от природного давления. Таким образом, в нижней подзоне области слабого сжатия лучевые горизонтальные дрены могут быть установлены с учетом того, что и их влияние на поле напряжений грунта обычно не превышает 2—3 диаметров для горизонтальной выработки круглого сечения.

Одним из крупных объектов водопонижения с использованием лучевого дренажа, проектирование которого выполнено институтом Укрспецпроект Минмонтажспецстроя УССР является Днепропетровский шинный завод. На его территории, сложенной лессовидными просадочными грунтами, имеет место интенсивный подъем уровня грунтовых вод, который за 22 года составил 25—30 м. Деформации замоченных грунтов приводят к проявлению просадок (до 4—10 см) и авариям зданий и сооружений (появились трещины с раскрытием 5—20 см).

Стесненность застроенной промплощадки подземными коммуникациями и невозможность остановки производственных процессов обусловили отказ от применения горизонтального и вертикального дренажей и принятие варианта лучевого дренажа.

Главный корпус завода согласно проекту защищают 8 кустов лучевых дренажей, каждый из которых представляет собой радиальную систему 4—5 горизонтальных скважин длиной по 40—90 м, которые перекрывают всю площадь под зданием главного корпуса. Лучевые дрены проложены методом горизонтального вращательного бурения из круглых железобетонных шахтных колодцев глубиной по 14 м.

Для трех колонн-хранилищ склада мазута теплофикационной котельной были проложены три лучевые дрены под углом 22° одна к другой длиной по 16 и 24 м. Дрены расположены под заглубленными помещениями склада. Горизонтальные скважины пробурены из железобетонной водоприемной камеры прямоугольного в плане сечения, глубиной 12 м (рис. 1.26). Лучевые дрены выполнены в виде каркасно-проволочных фильтров диаметром 135 мм (проволока диаметром 2 мм навита на каркас

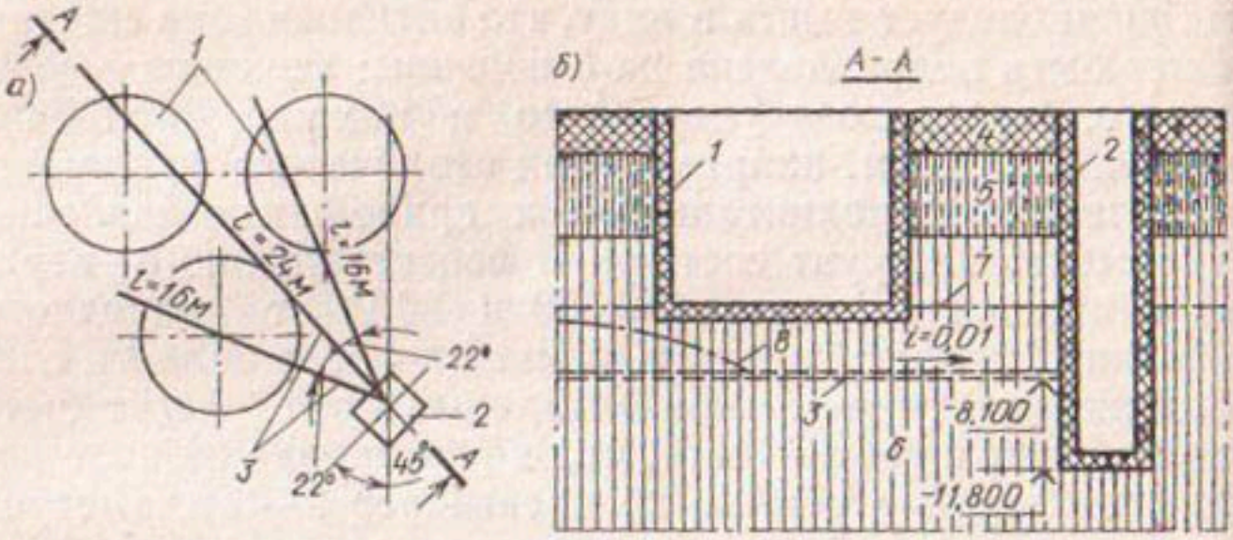


Рис. 1.26. Лучевой дренаж склада мазута

а — план; б — вертикальный разрез: 1 — помещение склада; 2 — вертикальный шахтный колодец; 3 — горизонтальные лучи — дрены; 4 — насыпной грунт; 5 — суглинок лессовидный; 6 — лессовый грунт; 7 — существующий уровень подземных вод; 8 — сниженный уровень

с зазором 3,5 мм). Проволочный фильтр имеет покрытие из нетканного стеклохолста марки ВВГ. Горизонтальные скважины бурились станком вращательного бурения УЛБ в обсадных трубах диаметром 150 мм.

В результате действия лучевого дренажа только за 4 месяца их работы уровень подземных вод был понижен на 20—80 см. В последующие 3 года подъема уровня не наблюдалось, деформации основания и фундаментов прекратились.

Аналогичные результаты были получены при работе лучевых дренажей, построенных для защиты от подтопления оснований сталелитейного и обрубного цехов завода прессовых узлов Днепропетровской области. Там было запроектировано 4 лучевых дренажа с водосборными колодцами глубиной 11—15 м, каждый из которых имел по 3—7 лучевых скважины длиной 47—100 м. Колодцы № 9 и 10 были сооружены методом «стена в грунте» (рис. 1.27).

Трестом Укргидроспецфундаментстрой были построены несколько водозаборных колодцев опускным методом, при котором применялось задавливание круглых железобетонных сборных колец специальной гидравлической установкой, сконструированной и изготовленной Днепропетровским заводом прессовых узлов.

Проект локального дренажа с применением горизонтальных радиальных скважин, составленный Днепропет-

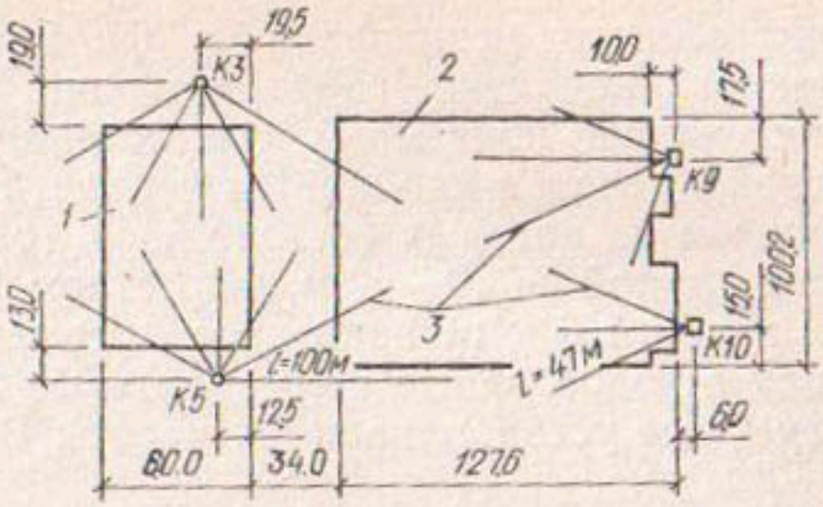


Рис. 1.27. Лучевые дренажи на обрубном и сталелитейном корпусах завода прессовых узлов (Днепропетровская обл).

1 — обрубной корпус; 2— сталелитейный корпус; 3 — лучи-дрены (К3, К5, К9, К10 — колодцы лучевых дренажей)

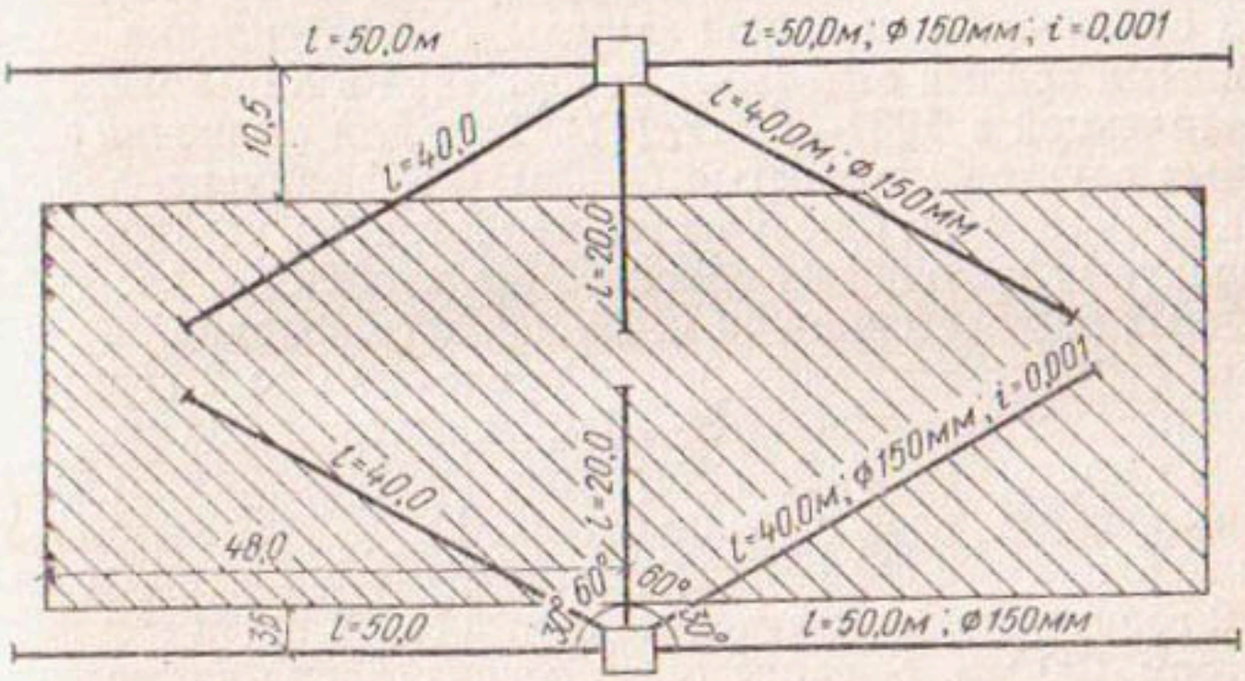


Рис. 1.28. Лучевой дренаж механосборочного цеха Песковского чугунно-литейного завода (проект)

ровским институтом Укргипромез (рис. 1.28), разработан для механосборочного цеха Песковского чугунолитейного завода на Урале.

Территория завода расположена в пойме и на I-й надпойменной террасе р. Песковки, сложенной мелко- и тонкозернистыми песками мощностью до 10 м (коэффициент фильтрации —2—3 м/сут, коэффициент водоотдачи —0,12). Толща песков перемежается большими прослоями и линзами суглинка (коэффициент фильтрации —0,1 м/сут, водоотдача —0,05). Уровень подтапливающего промплощадку водоносного горизонта находится на глубине 0,5—2,5 м от поверхности земли. Питание водоносного горизонта обусловлено утечками из водонесущих коммуникаций производственного и хо-

зяйственного назначения и фильтрацией из расположенного недалеко водохранилища. Сезонные колебания уровня подземных вод составляют 1 — 1,5 м. Лучевой дренаж выполняется в виде радиальных систем, каждая из которых состоит из 5 горизонтальных скважин длиной по 40—50 м, диаметром 150 мм, заложенных на глубине 5 м от поверхности земли и сбрасывающих воду в водосборные прямоугольные железобетонные камеры, где устанавливаются насосы ВКС 2/26 с откачкой 3—8 м^3/ч.

Иллюстрацией применения лучевых дренажей в пределах стесненной городской застройки может служить ряд объектов инженерной защиты от подтопления подземными водами отдельных сооружений в Харькове, осуществленной в 1984—86 гг. [17]. Так, для осушения песчаных грунтов мощностью 5—6 м (коэффициент фильтрации — 18 м/сут) на участке теплотрассы установлено 4 шахтных колодца из сборного железобетона, расположенных на расстоянии 40 м. Из каждого колодца на глубине 4 м от поверхности земли проложено по 2 горизонтальные дрены длиной 48—70 м, диаметром 100 мм.

На другом объекте в Харькове (микрорайон № 472) в пылеватых песках мощностью 8,5 м (коэффициент фильтрации — 1,5—2 м/сут) на глубине 6,5 м проложено 9 горизонтальных лучевых дрен длиной по 49 м и диаметром 100 мм. Бурение было осуществлено из железобетонного шахтного колодца внутренним диаметром 5,5 м и глубиной 8,5 м.

На территории действия этого лучевого дренажа с 1985 г. институтом Укркоммунниипроект ведутся наблюдения за уровнями воды в 21 режимной скважине, в водосборном колодце и в реке, а кроме того — измерения расходов воды, поступающей из лучевых дрен. Выполняются также химические и бактериологические анализы дренажной воды. Наблюдения проводятся систематически по заранее разработанной методике. Выполненные исследования показали, что осушительное действие лучевого дренажа достаточно хорошее. По сообщению Р. А. Галича [17], снижение уровня грунтовых вод даже в самых неблагоприятных условиях весеннего паводка достигало 3 м в ближайшей к дренажу скважине. При этом действие дренажа отмечено на расстоянии около 100 м от конца лучевых скважин. Радиус влияния построенного лучевого дренажа 140—150 м.

Расчет его экономической эффективности при сопоставлении с действием дренажной галереи проходного сечения показал, что сумма эффекта от использования лучевого дренажа составляет 198,7 тыс. руб.

Удачным примером сооружения лучевого дренажа является также промплощадка Криворожского ЦГОКа (корпус цеха связи). Здание длиной 30 м и шириной 16 м с заглублением подвальных помещений на 4 м и фундаментов на 5 м от поверхности земли расположено на территории, сложенной обводненными макропористыми лессовидными суглинками с прослоями погребенных почв, ниже которых залегают водонепроницаемые глины. Коэффициент фильтрации суглинков определен в размере 0,5 м/сут, уровень грунтовых вод находится на глубине 3,5—5 м от дневной поверхности. Из водосборного железобетонного шахтного колодца глубиной 8,5 м и диаметром 2,5 м, расположенного на расстоянии 15 м от торцевой стены здания цеха, были пробурены прямо под фундаментом 3 горизонтальные радиальные скважины длиной по 54 м и диаметром 200 мм (рис. 1.29). Лучевые скважины оборудованы стальными каркасно-стержневыми фильтрами с проволочной обмоткой диаметром 2 мм с расстоянием между витками проволоки 0,2—0,5 мм. Одна скважина оборудована фильтрами из стеклопластика диаметром 100 мм.

Неустановившийся дебит лучевого дренажа за 7 суток упал с 1 л/с до 0,4 л/с, за это же время уровень грунтовых вод снизился по углам здания на 1,3—1,4 м от первоначального и опустился ниже дна подвалов на 1,1—1,2 м. Дебит каждой скважины при ее самостоятельной работе составил 0,1—0,4 л/с. По данным наблюдений за колебаниями уровня в пьезометрических скважинах в течение 1976—77 гг. пониженный уровень грунтовых вод находился на 1—1,7 м ниже пола подвальных помещений.

Лучевой дренаж, оборудованный насосом, который установлен на глубине 2,7 м от поверхности, работает в автоматическом режиме по 8 ч/сут и откачивает воду периодически, по мере ее накапливания в водосборном колодце (3—4 цикла продолжительностью до 12 мин каждый).

Еще один пример успешного применения лучевого дренажа — промплощадка Баглейского коксохимического завода, также сложенная обводненными лессовидны-

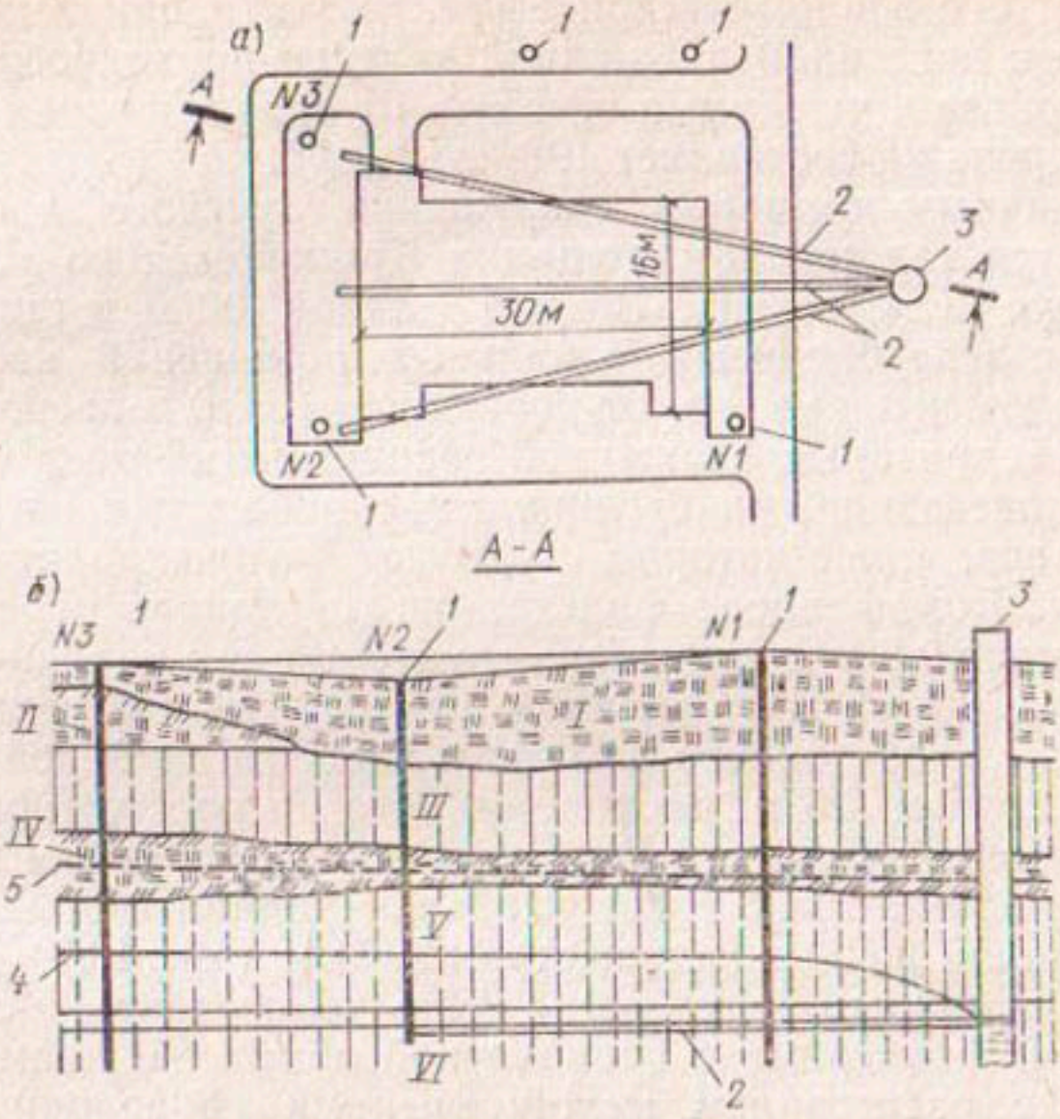


Рис. 1.29. Лучевой дренаж на промплощадке Криворожского Центрального горно-обогатительного комбината

а — план, б — вертикальный разрез: 1 — геологическая (изыскательная) скважина; 2 — горизонтальная лучевая дрена; 3 — шахтный колодец с насосной станцией; 4 — пониженный уровень грунтовых вод; 5 — естественный уровень грунтовых вод; I — насыпной грунт; II — почвенно-растительный слой; III — суглинок лессовидный желто-бурый; IV — ископаемая погребенная почва; V — суглинок лессовидный палево-желтый; VI — суглинок светло-коричневый

ми суглинками мощностью 43—50 м, которые подстилаются водонепроницаемыми неогеновыми глинами (рис. 1.30). Инженерная защита от подтопления грунтовыми водами, скорость подъема которых составляла 0,2—1 м/год была осуществлена на участке расположения двух зданий хозяйственных корпусов с заглублением подвальных помещений на 3,5 м. Максимально высокий весенний уровень грунтовых вод находился на отметке 3,3 м.

Водосборный шахтный железобетонный колодец диаметром 3 м был опущен на глубину 9,5 м. В 1977 г. из него на глубине 6 м были пробурены 4 лучевые скважины диаметром 225 мм и длиной от 25 до 41 м. Три скважины

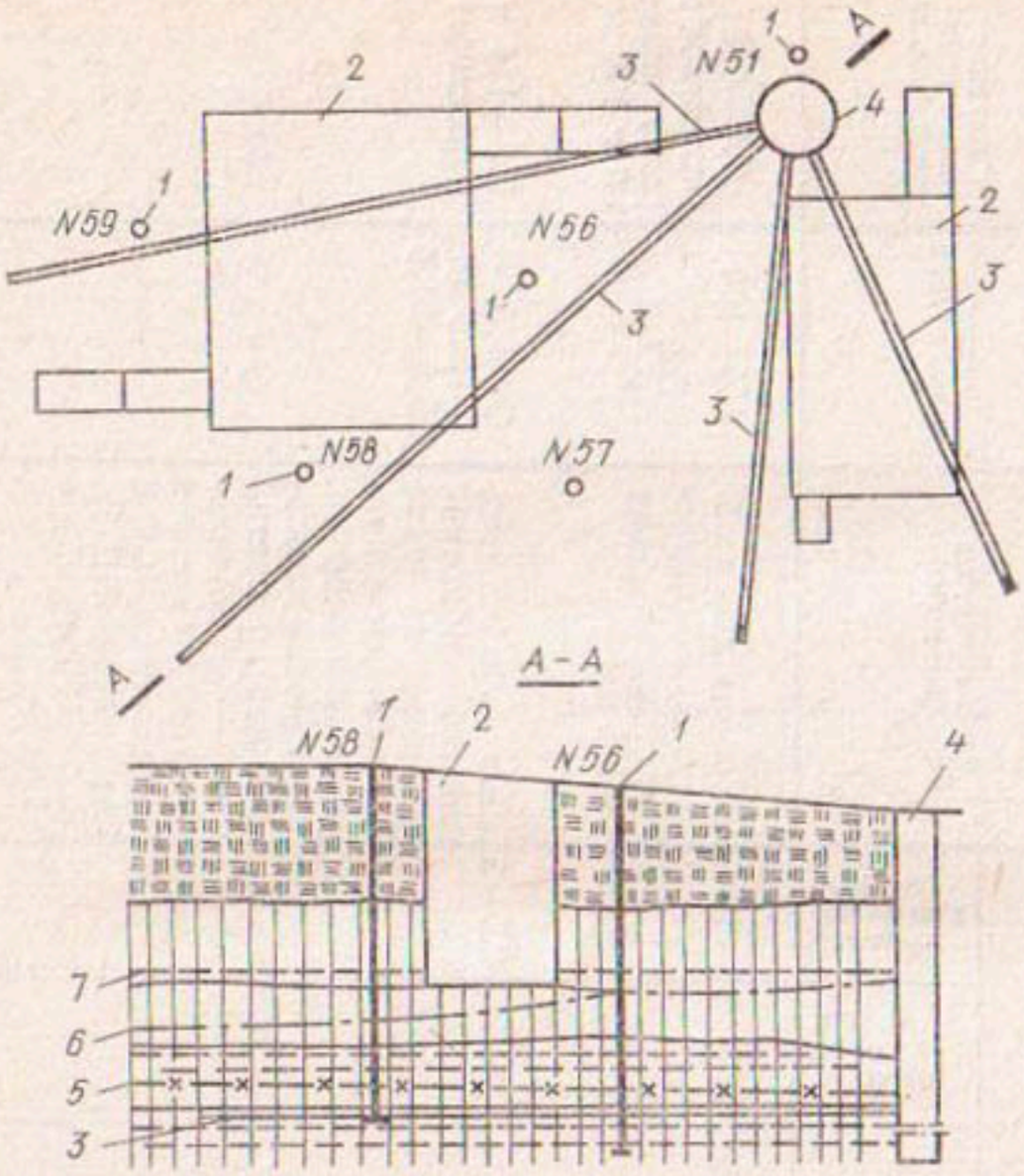


Рис. 1.30. Лучевой дренаж на промышленной площадке Баглейского коксохимического завода

1 — геологическая (изыскательная) скважина; 2 — защищаемое от подтопления хозяйственное помещение; 3 — горизонтальная лучевая дрена; 4 — шахтный колодец с насосной станцией; 5 — пониженный уровень грунтовых вод; 6 — естественный уровень грунтовых вод на 5 сентября 1977 г.; 7 — то же на 31 июля 1977 г.

оборудованы каркасно-проволочными фильтрами наружным диаметром 128 мм с навивкой проволоки с шагом 0,5 мм. Фильтры *2* скважин обмотаны 3 слоями нетканого стеклохолста марки ВВГ. В четвертой скважине установлены гибкие, витые дренажные трубки из жесткого поливинилхлорида внутренним диаметром 100 мм.

Пробная работа дренажа показала, что его дебит за 8 сут работы упал с 2,4 л/с до 1,3 л/с. Понижение уровня грунтовых вод составило в среднем 1,6 м, что на 1 м ниже пола подвалов. В настоящее время дренаж работает в автоматическом режиме и полностью обеспечивает инженерную защиту зданий от подтопления.

Таблица 1.4. Технические характеристики некоторых действующих лучевых дренажей*

Объект, год введения дренажа в эксплуатацию	Коэффициент фильтрации $K_ф$, м/сут	Размер шахты, м		Характеристика лучевых скважин				Характеристика фильтров	Расход воды, м³/сут	Снижение уровня грунтовых вод, м
		глубина	диаметр	число, шт.	длина, м	глубина заложения, м	заглубление под УГВ, м			
Шинный завод, главный корпус (Днепропетровск), 1980	0,84 (лессовидные суглинки)	14	3,5	5	40—90	11—12	5—6	Проволочные с обмоткой стеклохолстом d = =135 мм	150—190	0,2—0,8 (проектное); радиус влияния 100 м
Центральный горно-обогатительный комбинат, цех связи (Кривой Рог), 1974	1,2 (лессовидные суглинки)	8,4	2,5	3	52	6,5	2,5—3	Два луча с проволочной обмоткой (каркас из труб d=108 мм с продольными ребрами, проволока нержавеющая), третий луч — стеклопластиковый (6 слоев стеклосетки СФ-3 на смоле ЭД-5), $d_{нар}$=100 мм, $d_{вн}$= =92 мм	От 8,5— —13,5 до 28,5—34,6	1,3—1,4 м (проектное)
Лисаковский горно-обогати-	0,5—2,8 (мелкозернис-	13	4	4	26,2—44	10,5	5,7	Проволочные с обмоткой 3 слоями	43,2—223,2	1,68—1,74

тельный комбинат, корпус обогащения и газораспределительная станция (Кустанайская обл.), 1981	тые пески)							нетканого стеклохолста марки ВВГ, $d=120$ мм		
Михайловский горно-обогатительный комбинат, корпус химреагентов (Курская обл.), 1982	0,28 (плотные суглинки)	10	—	4	62—76,5	9,3	4—5	Витые поливинилхлоридные трубы $d=100$ мм	7,4—28,5	до 0,61
Баглейский коксохимический завод, 2 хозпомещения (Днепродзержинск), 1977	~1 (лессовидные суглинки)	9,4	3	4	25—41	6	2,5	Два проволочных $d=128$ м. Один с 3-слойной обмоткой из нетканого стекловолокна; другой — из гибких труб ПВХ $d=100$ мм с 3-слойной обмоткой из стекловолокна	113,3—206,3	Ниже уровня пола помещений на 1 м и более

Продолжение табл. 1.4

Объект, год введения дренажа в эксплуатацию	Коэффициент фильтрации $K_ф$, м/сут	Размер шахты, м		Характеристика лучевых скважин				Характеристика фильтров	Расход воды, м³/сут	Снижение уровня грунтовых вод, м
		глубина	диаметр	число, шт.	длина, м	глубина заложения, м	заглубление под УГВ, м			
472 микрорайон (Харьков), 1986	2,2—3,9 (мелкозернистые пески)	8	5	9	4,5—49,5	4,7—9	3—4	Из гибких витых ПВХ труб d=100 мм с покрытием из волокон полиэтилена (трубофильтры ТДПГ-100)	От 58,8—13,8 до 8,6—0; расход шахты № 2: 325,7—74	На расстоянии 20 м от шахты на 2,96
Завод прессовых узлов, обрубной и сталелитейный цеха (Днепропетровская обл.), 1984	~1 (лессовидные суглинки)	—	3	3—5	47—100	—	—	Каркасно-проволочные d=130 мм с покрытием из 3—4 слоев стекловолокна	—	—
Горно-обогатительный комбинат, корпус обогащения и газораспределительной станции, 1980	~1 (мелкозернистые пески)	13	4	4	26—44	10,5	5,7	Проволочные d=120 мм с покрытием из 3 слоев стеклохолста	43,2—223,2; общий дебит 4 дренажей 544,8	1,7

* По данным Р. А. Галича, В. Е. Анпилова, Б. Н. Фомина [5, 17, 46].

Еще один объект, где применен лучевой дренаж, — корпус обогащения и газораспределительная станция горно-обогатительного комбината, территория которого в отличие от предыдущих объектов сложена обводненными мелкозернистыми песками, лежащими на глинистом водоупоре [5]. Водосборный шахтный железобетонный колодец диаметром 4 м опущен на глубину 13 м от поверхности земли. В 1980 г. из шахтного колодца проложены 3 скважины длиной 26—32 м в сторону корпуса обогащения со складами мокрого концентрата, которые являются одним из главных источников подтопления.

Четвертая скважина длиной 44 м направлена в сторону корпуса сушки и газораспределительной станции. Лучевые скважины заложены на глубине 10,5 м от поверхности земли (5,7 м от уровня грунтовых вод) и оборудованы каркасно-проволочными фильтрами диаметром 120 мм с трехслойной обмоткой нетканым стеклохолстом марки ВВГ. Наряду с традиционными типами фильтров (проволочный) в лучевых скважинах были использованы также гибкие витые фильтры из поливинилхлоридных труб с защитным слоем из полиэтилена (ТДПГ-100), применение которых в дренажах городских территорий, а также в мелиорации показало их хорошие эксплуатационные качества.

Дебит отдельных скважин колебался от 43,2 до 223,2 м^3/сут, а общий дебит составил 544,8 м^3/сут воды. Снижение уровня грунтовых вод при работе дренажа — 1,7 м, т. е. на 1,2 м ниже подошвы фундаментов. В настоящее время дренаж работает в автоматическом режиме, вода откачивается периодически насосом марки НПВН-2-60/40.

Сводка сведений по некоторым наиболее крупным отечественным лучевым дренажам, построенным в последние годы, составленная в основном по данным Р. А. Галича (Укрниикоммунпроект, Харьков), дана в табл. 1.4.

Глава 2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДОЗАБОРОВ И ДРЕНАЖЕЙ

1. Общие положения

Гидрогеологические (фильтрационные) расчеты выполняются, во-первых, с целью определения притока подземных вод к водозаборным и дренажным сооружениям (их дебита) и, во-вторых, для определения понижения уровня подземных вод на дренируемой территории. Часто задача формулируется иначе. При проектировании водозаборов с заданной производительностью или дренажей с заданной нормой понижения уровня подземных вод в результате расчета определяют местоположение водозаборного или дренажного сооружения и его основные конструктивные характеристики (глубина заложения водоприемной части водозабора или дренажа, ее длина, диаметр, расстояние от контура питания и расчетного водоупора и др.).

Водозаборное и водопонизительное действие водозаборов и дренажей зависит от гидрогеологических условий, которые оцениваются следующими параметрами [9, 10, 19, 36]:

1. Коэффициент фильтрации грунтов, характеризующий их водопроницаемость, k, м/сут.

2. Мощность горизонта подземных вод определяется как геометрическая разность высотных отметок подошвы водоносного пласта и его кровли в напорном пласте, уровня подземных вод в безнапорном горизонте и дна водотока (водоема) в подрусловом водоносном пласте, T, м.

3. Водоотдача грунтов, то есть их способность при полном водонасыщении отдавать гравитационную влагу под действием силы тяжести, определяется как разность полной влагоемкости и максимальной молекулярной влагоемкости грунтов, μ.

4. Коэффициент уровнепроводности (для безнапорных пластов) или пьезопроводности (для напорных пластов) является комплексным параметром, характеризующим скорость развития депрессионной воронки a, м^2/сут.

5. Проводимость водоносного пласта является комплексным параметром, представляющим собой произве-

дение коэффициента фильтрации на мощность пласта, kT м²/сут.

6. Линейные плановые размеры области фильтрации, включающие ширину водоносного пласта, расстояние водозаборного или дренажного сооружения до контуров питания и стока потока подземных вод.

7. Инфильтрационное питание (или разгрузка) подземных вод (интенсивность фильтрации, модуль питания грунтового потока), представляющее собой величину расхода воды, поступающего в водоносный пласт извне и распределенного на его площади, м/сут.

Гидрогеологические параметры 3 и 4 применяются в случае расчетов сооружений при неустановившемся режиме фильтрации. Вместе с тем, в большинстве случаев проектирования горизонтальных и лучевых водозаборов берегового и подруслового типа гидрогеологические расчеты ведутся для условий стационарной фильтрации. Это связано, во-первых, с близостью области питания, т. е. с постоянством во времени притока воды и, во-вторых, с достаточной длительностью работы сооружений.

При расположении каптажных сооружений в удалении от области питания или стока (схема неограниченного в плане пласта) зона их влияния, расширяясь во времени, практически не достигает границ области фильтрации. При эксплуатации водозабора в течение очень длительного периода времени (теоретически бесконечного) происходит изменение дебита водозабора, радиуса его действия и понижение напоров подземных вод вокруг него [24, 44].

Аналогичная картина наблюдается и в условиях достаточной близости к водозабору плановых границ пласта, но при периодических откачках, т. е. в случае, когда время работы каптажного сооружения ограничено по тем или иным соображениям. Примерами могут служить мелиоративный дренаж, сезонное действие которого связано с вегетационной периодичностью, система строительного водопонижения в котлованах речных гидротехнических сооружений, зависящая от периодичности прохождения паводков, и др.

Развитие фильтрационных процессов во времени связано с гидрогеологическими условиями расположения водозабора и с параметрами самого сооружения. Так, неустановившийся характер движения подземных вод больше проявляется в слабопроницаемых водоносных

средах, когда уменьшение дебита и сработка уровней подземных вод во времени происходят медленнее, чем в пластах с большим коэффициентом фильтрации. В хорошо водопроницаемых породах период неустановившегося движения подземных вод может занимать относительно более короткий промежуток времени. К концу этого периода изменения дебита и напора могут оказаться мало ощутимыми для практики и тогда фильтрацию условно можно считать установившейся.

Из рассматриваемых нами каптажных и дренажных сооружений наиболее часто в условиях неустановившегося режима работают водораздельные водозаборы и дренажи, расположенные в значительном удалении от границ водоносного пласта или эксплуатируемые с периодической откачкой. Существенное значение имеет вопрос о фильтрационной неоднородности водоносного пласта [7]. По этому признаку могут быть выделены следующие типы водоносных пластов: однородные в плане и разрезе, неоднородные в плане, неоднородные в разрезе, неоднородные в плане и разрезе.

Плановая фильтрационная неоднородность водоносных пластов главным образом зависит от фильтрационных свойств грунтов, слагающих отдельные геоморфологические элементы территории. С этим связана, в частности, параллельность линий раздела зон с различными свойствами. Одновременно с этим неоднородность в плане отражает фациальные переходы одних литологических разностей грунтов в другие. Границы этих переходов чаще всего перпендикулярны урезу воды в реке.

Разнообразие плановой фильтрационной неоднородности может быть сведено к следующим основным видам (рис. 2.1):

а) направление движения подземных вод совпадает с простиранием слоев различной проницаемости. Этот вид фильтрационной изменчивости имеет большое значение для установления обоснованных осредненных значений фильтрационных параметров при гидрогеологических расчетах сооружений, расположенных в междуречьях;

б) направление движения подземных вод перпендикулярно простиранию слоев разной проницаемости. Этот вид фильтрационной изменчивости встречается при обосновании осредненных значений фильтрационных параметров для гидрогеологических расчетов сооружений,

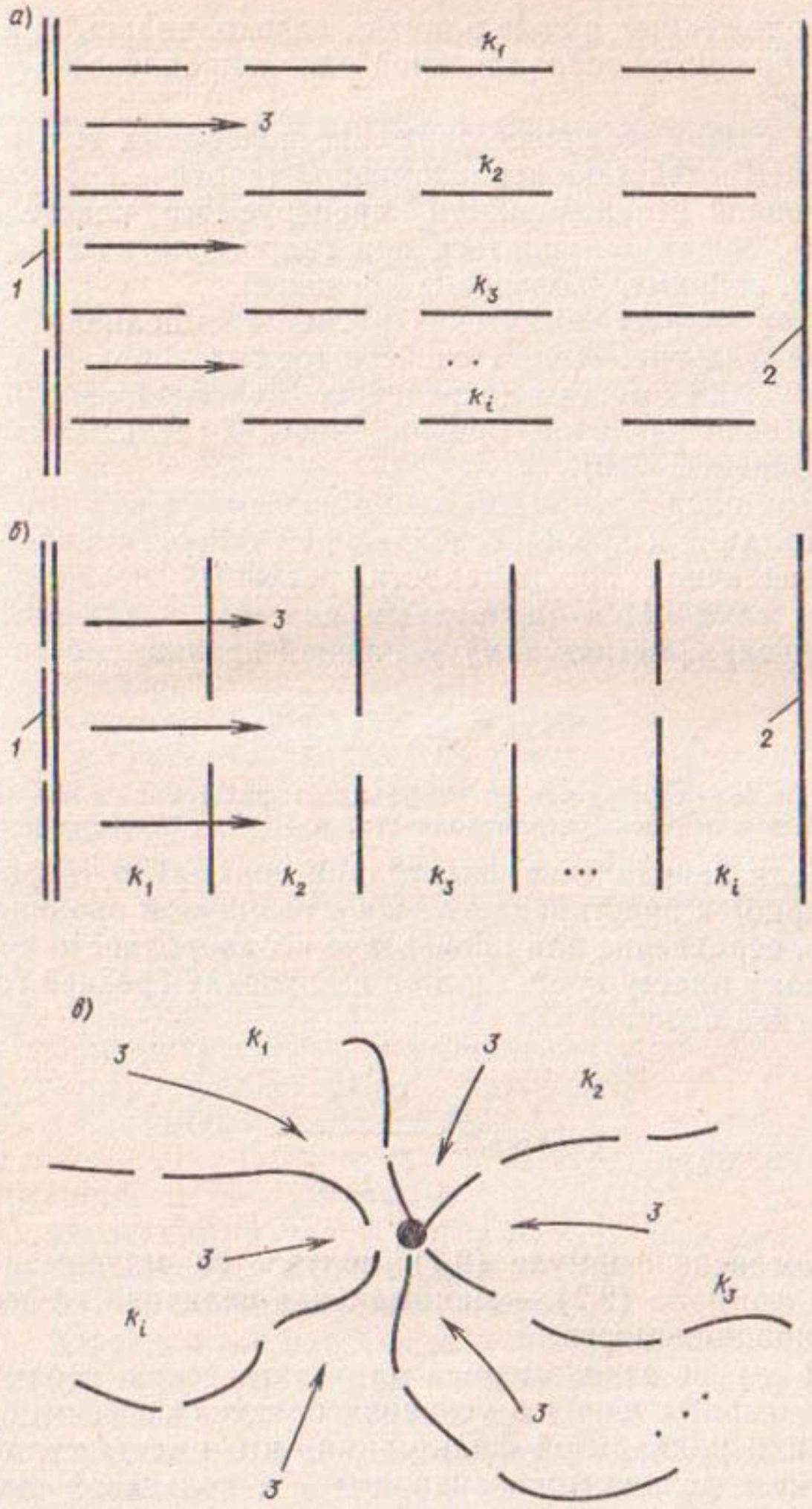


Рис. 2.1. Виды [а, б, в] плановой фильтрационной неоднородности

1 — граница питания пласта; 2 — непроницаемая граница пласта; 3 — линия тока

расположенных в зоне влияния водохранилищ, каналов, т. е. при плоскопараллельной однонаправленной фильтрации;

в) осесимметричное движение подземных вод, возникающее вследствие неравномерной (хаотической) фильтрационной неоднородности дренируемого пласта. Эта схема может применяться при гидрогеологических расчетах, например, кольцевых дренажей.

Для гидрогеологических расчетов выполняют осреднение фильтрационных свойств горных пород по следующим зависимостям (осреднение целесообразно проводить, если различие проницаемости отдельных зон не превышает 5—10).

При направлении движения подземных вод (от области питания к дрене), совпадающем с простиранием слоев различной проницаемости, реальный неоднородный пласт заменяется однородным пластом с эффективным (среднеарифметическим) значением проницаемости

$$k_{э.ар} = \sum_{1}^{n} k_i L_i \Big/ \sum_{1}^{n} L_i, \qquad (2.1)$$

где k_i и L_i — соответственно коэффициент фильтрации и ширина соответствующей зоны неоднородности; n — число неоднородных зон.

Если направление фильтрации нормально (перпендикулярно) к простиранию слоев с различной проницаемостью, осреднение или приведение неоднородности к однородному пласту производится по правилу средней гармонической оценки

$$k_{э.гар} = \frac{\sum_{1}^{k} L_i}{\sum_{1}^{n} L_i / k_i}. \qquad (2.2)$$

Согласно формуле (2.1) получается максимальная, а по формуле (2.2) — минимальная величина эффективной проницаемости.

В случае закономерной или хаотической неоднородности горных пород в условиях, близких к осесимметричной или радиальной фильтрации, что имеет место при прогнозе водопритока (например, к кольцевой дрене), осреднение фильтрационной неоднородности производится по правилу средней геометрической оценки

$$k_{э.геом} = \sqrt[n]{k_1 k_2 k_3 \ldots k_n}, \qquad (2.3)$$

где $k_1 k_2 k_n$ — коэффициенты фильтрации в точках опробования, определенные одним методом; n — число определений коэффициента фильтрации.

Отметим, что приведенные здесь способы осреднения и приведения водоносного пласта к однородному связаны следующим простым соотношением:

$$k_{\text{э.ар}} > k_{\text{э.геом}} > k_{\text{э.гар}}. \qquad (2.4)$$

В случае более сильного различия проницаемостей отдельных водоносных зон (более одного порядка) или заметного преобладания в плане горных пород определенной проницаемости замена неоднородного пласта однородным может привести к существенным ошибкам. В таких случаях необходимо использовать более точные способы учета неоднородности — аналоговое или цифровое моделирование.

По вертикальной фильтрационной неоднородности могут быть выделены следующие основные типы геолого-литологических разрезов [36]:

а) однородный пласт ограниченной мощности;

б) однородный безграничный водоносный пласт;

в) многослойный пласт с различными коэффициентами фильтрации (k_1, k_2, k_3...), соотношение между которыми не превышает 20, то есть $k_1/k_2 < 20$; $k_2/k_3 < 20$; $k_{i-1}/k_i < 20$. Этот пласт может приводиться к однородному по соответствующей методике (например, [7, 9, 44]);

г) двухслойный пласт ограниченной мощности, когда $k_2/k_1 > 20$ и гидравлическая связь между верхним и нижним слоями отсутствует. Эта схема соответствует напорному режиму фильтрации (в нижнем слое);

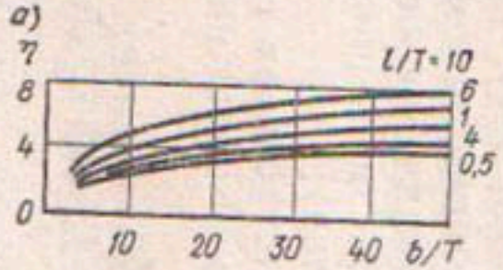
д) двухслойный пласт с $k_2/k_1 > 20$ и отсутствием гидравлической связи между пластами. Нижний пласт является напорным, безграничным;

е) двухслойный пласт, когда $k_2/k_1 < 20$, и имеет место гидравлическая связь между слоями. Дрена заложена в верхнем слабопроницаемом слое;

ж) двухслойный пласт со слоями, имеющими гидравлическую связь с дреной, расположенной в верхнем слабопроницаемом слое (нижний слой безграничный);

з) двухслойный пласт ограниченной мощности с гидравлической связью между слоями и дреной, заложенной в нижнем слое. В отличие от схем «е» и «ж» здесь пласт может приводиться к однородному так же, как и в схеме по п. «в».

Таблица 2.1. Основные формулы для определения дебита и понижения уровня подземных вод



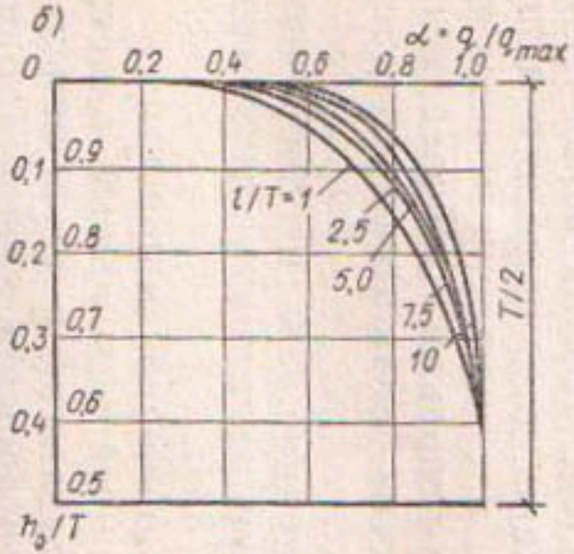
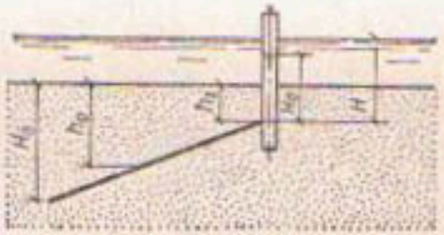


Рис. 2.2. Расчетные коэффициенты для определения дебита горизонтального водозабора ограниченной длины

а — кривые коэффициента η; б — кривые коэффициента $\alpha = q/q_{max}$. h_0 — глубина заложения водоприемной части горизонтального водозабора

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения, автор
А. Горизонтальные и наклонные водозаборные скважины ограниченной длины		
1. Подрусловая скважина под водотоком (водоемом) в пласте неограниченной мощности	Одиночная скважина $$Q = \frac{2\pi k l (H - H_0)}{\ln \frac{3lh_0}{r_a\left(l + \sqrt{l^2 + 16h_0^2}\right)}}.$$	При $h_0 \geqslant 1{,}36\, r_0$ П. Я. Полубаринова-Кочина [24][1]

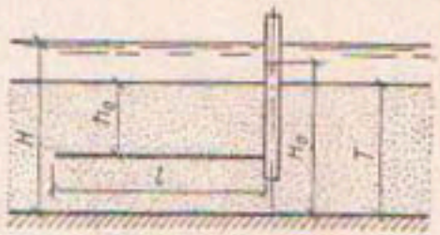


Наклонная скважина

$$Q = \frac{2\pi k l (H - H_0)}{\ln\left(\frac{l}{1{,}36\, r_0} - f\right)},$$

$$f = 0{,}5 \ln \frac{\sqrt{l^2 + 16 h_0 h_2} + 8 h_c (h_0 - h_1)\frac{1}{l} + l}{\sqrt{l^2 + 16 h_0 h_1} + 8 h_0 (h_0 - h_1)\frac{1}{l} - l}$$

2. То же, в пласте ограниченной мощности



$$Q = \frac{2\pi k l (H - H_0)}{\ln \dfrac{3 l h_0 T \left[l + \sqrt{l^2 + 16 (T - h_0)^2}\right]}{r_0 (T - h_0)\left(l + \sqrt{l^2 + 16 T^2}\right) \cdot \left(l + \sqrt{l^2 + 16 h_0^2}\right)}}$$

При $0{,}8 \geqslant h_0/T \geqslant 0{,}2$ $h_0 \geqslant 20 r_0$ $T - h_0 \geqslant 2 r_0$; Г. А. Разумов[2]

3. Береговая скважина вблизи водотока (водоема) — полуограниченный водоносный пласт с боковым прямолинейным контуром питания

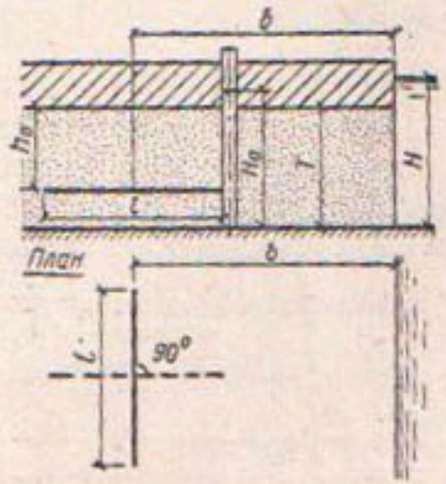
$$Q = \frac{2\pi k (H - H_0)\, l\alpha}{f}.$$

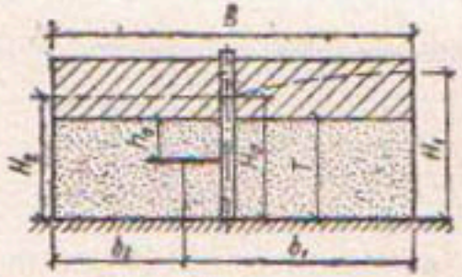
При $0{,}8 \geqslant h_0/T \geqslant 0{,}2$ $l/T \geqslant 0{,}1$; Г. А. Разумов[2]

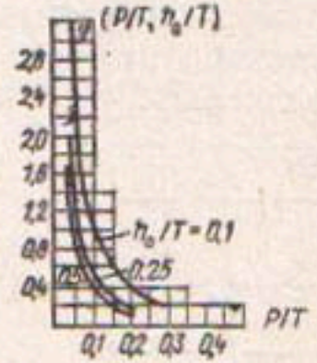
Скважина, перпендикулярная контуру питания

$$f = \ln \frac{0{,}74 l}{r_0} V + 2\eta \ln \frac{l + \sqrt{l^2 + 4T^2}}{2T} V;$$

$$V = \sqrt{\frac{4s - l}{4s + l}}.$$

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения, автор
 4. Скважина вблизи контуров питания и разгрузки горизонта подземных вод	Скважина, параллельная контуру питания $$f = \ln \frac{3l_в}{r_0\left(l + \sqrt{l^2 + 16e^2}\right)} + 2\eta \ln \frac{\left(l + \sqrt{l^2 + 4T^2}\right)\sqrt{4e^2 + T^2}}{T\left(l + \sqrt{l^2 + 16e^2 + 4T^2}\right)}.$$ Коэффициенты α и η определяются по рис. 2.2 $$Q = \frac{k(H - H_0)\,l}{f_в + f_0},$$ где $f_в$ — внешнее фильтрационное сопротивление; f_0 — внутреннее фильтрационное сопротивление. $$f_0 = \frac{1}{2\pi}\left(\ln \frac{T}{5{,}4\pi r_0} + \frac{1}{2}\ln \frac{2}{1 - \cos \frac{2\pi h_0}{T}}\right)$$ $$f_0 = \frac{l}{F}\varphi\,(P/T,\ h_0/T)$$	При $l \geqslant 0{,}5\,B$ $e_1 > T$ $e_2 \geqslant T$ при $l \geqslant 2T$ при $l < 2T$; А. Я. Олейник [21]





$$P = \frac{l}{2\ln\dfrac{l}{1{,}36r_0}}.$$

Функция φ $(P/T, h_0/T)$ определяется по графикам рисунка, приложенного к данной схеме. Скважина, параллельная контурам питания и стока

$$f_в = \frac{l}{4\pi T}\ln\left[1+\frac{8B^2}{\pi^2 l^2}\left(1-\cos\frac{2\pi b_2}{B}\right)\right]+$$

$$+\frac{B}{\pi^2 T}\sqrt{2\left(1-\cos\frac{2\pi b_2}{B}\right)}\times$$

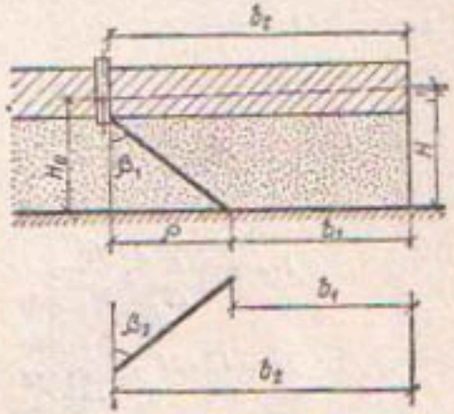
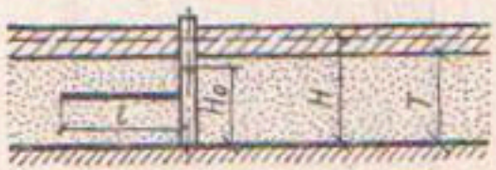
$$\times \operatorname{arctg}\frac{\pi l}{2B\sqrt{2\left(1-\cos\dfrac{2\pi b_2}{B}\right)}}.$$

Скважина, перпендикулярная контурам питания и стока

$$f_в = \left(\frac{l}{4\pi T}+\frac{B}{\pi^2 T}\right)\ln\left(\frac{2B}{\pi}\sin\frac{\pi b_2}{B}+\frac{l}{2}\cos\frac{\pi b_2}{B}\right)-$$

$$-\left(\frac{B}{\pi^2 T}\operatorname{tg}\frac{\pi b_2}{B}-\frac{l}{4\pi T}\right)\times\ln\left(\frac{2B}{\pi}\sin\frac{\pi b_2}{B}-\right.$$

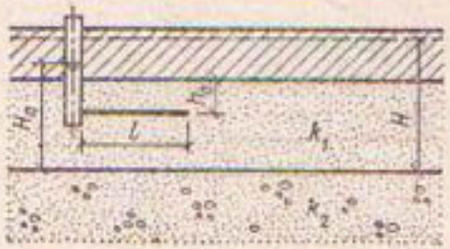
$$\left.-\frac{l}{2}\cos\frac{\pi b_2}{B}\right)-\frac{l}{2\pi T}\ln\frac{l}{2}.$$

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
5. Береговая наклонная скважина в полуограниченном (в плане) пласте с боковым прямолинейным контуром питания 	$Q=\frac{\pi kT\,(H-H_0)}{\rho\sin\beta_2}\,\xi\,[E_i(-\nu_2)-E_i(-\nu_1)]$. Здесь $\xi=\frac{r_0(1-\cos\beta_1)}{2\cos\beta_1}$; $\nu_1=\ln\frac{2b_1}{r_0}$; $\nu_2=\ln\frac{2(b_1+\rho\sin\beta_2)}{r_0}$; $E_i\nu$ — интегральная показательная функция. Скважина, параллельная контуру питания ($\beta_2=0$) $Q=\frac{2\pi kT\,(H-H_0)}{\ln\frac{4b(1-\cos\beta_1)}{\cos\beta_1}}$	В. П. Табаков [4]
6. Скважина, расположенная в удалении от области питания и стока (неограниченный в плане пласт), режим фильтрации неустановившийся 	$Q=\frac{4\pi kT\,(H-H_0)}{f}$. Здесь $f=2\ln\tau_0+E_i(-\lambda^2)+\frac{2\sqrt{\pi}}{\lambda}\Phi(\lambda)-\frac{1}{\lambda^2}(0{,}24+e^{-\lambda^2})\frac{1}{\lambda}E_i\left(-\frac{r_0^2}{4}\right)-\frac{0{,}45}{\lambda}+2{,}45$;	При $4at/l^2\geqslant 1$; С. Н. Бузинов, И. Д. Умрихин[3]

$$\lambda = \frac{l}{T};\ \tau_0 = \frac{2\sqrt{at}}{l^2};\ \bar{r}_0 = \frac{r_0}{T};$$

$\Phi(\lambda) = erf(\lambda)$ — интеграл вероятности[8]

7. Скважина в двухслойном пласте



$$Q = \frac{2\pi k_\delta l\,(H - H_0)}{\ln \dfrac{l^2}{2r_0 h_0}};\quad k_\delta = k_1/\Phi_1;$$

где коэффициент $\Phi_1 = f(\nu,\ h_0/T,\ l/T)$ определяется по рис. 2.3.

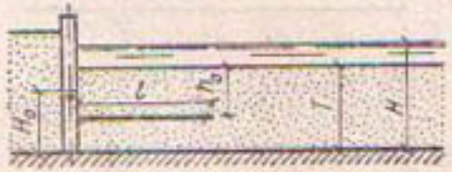
Коэффициент неоднородности грунта

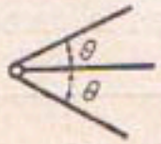
$$\nu = (k_1 - k_2)/(k_1 + k_2)$$

В. Н. Насберг [4]

Радиальные системы водозаборных скважин (лучевые водозаборы)

8. Подрусловые скважины под водотоком (водоемом)





$$Q_N = \frac{2\pi k l\,(H - H_0)\,N}{\ln V_0 \sum_{n=1}^{j} \ln\left(1 + \dfrac{16T^2}{l^2 \sin n\Theta}\right)};$$

При $0{,}8 \geqslant h_0/T \geqslant 0{,}2$
$h_0 \geqslant 20 r_0$
$T - h_0 \geqslant 2r_0$
$\Theta \geqslant 22{,}5°$

$$V_0 = \frac{3h_0 T l\left[l + \sqrt{l^2 + 16\,(T - h_0)^2}\right]}{r_0\,(T - h_0)\left(l + \sqrt{l^2 + 16T^2}\right)\left(l + \sqrt{l^2 + 16h_0^2}\right)};$$

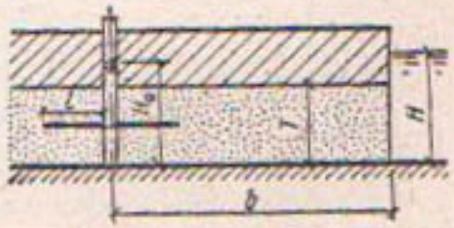
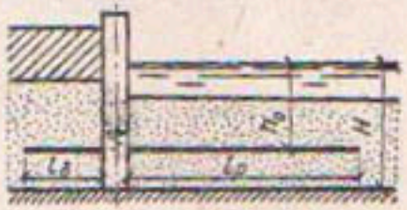
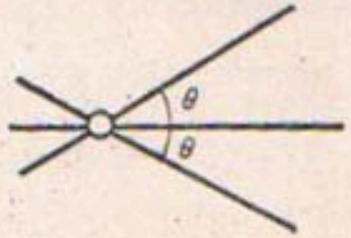
$$j = \frac{N-1}{2};\ N = 3,\ 5,\ 7,\ 9\ldots;$$

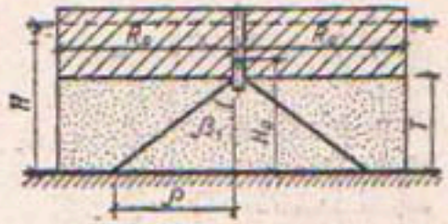
При $l/T > 3$;

$$n = 1,\ 2,\ 3\ldots$$

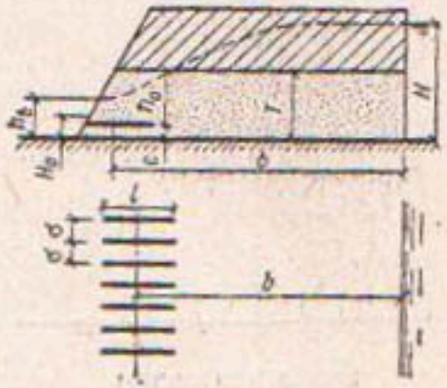
Г. А. Разумов [4][4]

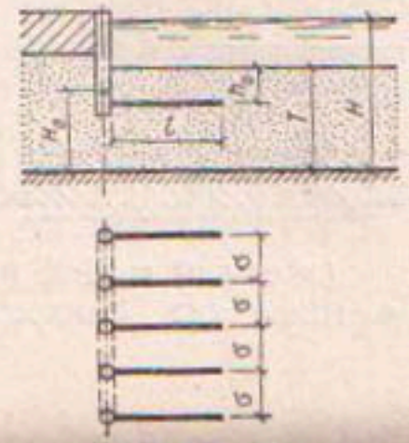
Продолжение табл. 2.1

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
9. Береговые скважины вблизи водотока (водоема) — полуограниченный пласт с боковым прямолинейным контуром питания 	$$Q_N = \frac{2\pi k (H-H_0) l}{\ln V_r + 2\eta \ln V_T} \alpha\gamma N;$$ $$V_r = \frac{lV}{1{,}36 r_0};\ V_T = \frac{l+\sqrt{l^2+4T^2}}{2T} V;$$ $$V = \sqrt{\frac{4b-l}{4b+l}}.$$ Расчетные коэффициенты α, η и γ определяются по графикам (см. рис. 2.2, 2.4)	При $0{,}8 \geqslant h_0/T \geqslant 0{,}2$ $l/T \geqslant 1$ $в/T \leqslant 50$; Г. А. Разумов[6]
10. Комбинированные системы с подрусловыми и береговыми скважинами  	$$Q_N = 2\pi k (H - H_0) \times$$ $$\times \left[\frac{l_p N_p}{\ln V + \sum_{n=1} \ln\left(1 - \frac{16T^2}{l^2 \sin^2 n\Theta}\right)} + \right.$$ $$\left. + \frac{l_\delta \cdot N_\delta \alpha\gamma}{\ln V_r + 2\eta \ln V_T} \right].$$ Функции V_0, V_r, V_T определяются по формулам пп. 8 и 9 данной табл. l_p, N_p, l_δ, N_δ — длина и число соответственно	Те же, что в пп. 8 и 9; Г. А. Разумов [4]

11. Наклонные скважины в пласте круговой формы (в плане) 	подрусловых и береговых лучевых скважин; γ определяется по графикам (см. рис. 2.4), как системы с числом лучей $N=2N_\delta$ $$Q_N=\frac{2\pi kTN(H-H_0)R_0}{(N-1)\rho}\cdot\sqrt[N-1]{\frac{R_0}{Nr_0}}E_i(-U_0),$$ где $U_0=\frac{1}{N-1}\ln\frac{R_0^N}{N\xi\rho^{N-1}}$. ξ определяется по формуле п. 5 данной таблицы	В. П. Табаков [4]

Прямолинейные ряды, ярусные и комбинированные системы скважин

12. Ряд параллельных скважин в полуограниченном пласте с боковым прямолинейным контуром питания 	$$Q_N=\frac{2\pi k(H-H_0)l\alpha N}{\ln V_r+2\eta\left(\ln V_\tau+\sum_{n=1}^{N}\ln V_{n\sigma}\right)}.$$ Функции V_r и V_τ определяются по формулам п. 9 данной таблицы; коэффициенты α и η — по графикам (см. рис. 2.2) $$V_{n\sigma}=\frac{l+\sqrt{l^2+4(n\sigma)^2}}{2n\sigma}\times$$ $$\times\sqrt{\frac{2b-l+\sqrt{(2b-l)^2+4(n\sigma)^2}}{2b+l+\sqrt{(2b+l^2)+4(n\sigma)^2}}}.$$	Те же, что в п. 9 Г. А. Разумов[5]

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
	При большом числе скважин $N \geqslant N_{кр}$ (где критерий $N_{кр}$ определяется по табл. 2.3) $$Q_N = \frac{2\pi k (H - H_0)\, l\alpha H}{\ln V_r + 2\eta V_T + 2\eta_\sigma (1+\eta) \ln V_\sigma}$$ Здесь $V_\sigma = V_{n\sigma}$ при $n=1$, коэффициент η_δ определяется по графикам (см. рис. 2.2), где вместо T принимается σ	При $N \geqslant N_{кр}$
13. Ряд параллельных скважин, расположенных под дном водотока (водоема) 	$$Q = \frac{2\pi k l (H - H_0) N}{\ln \dfrac{3lh_0T}{r_0 (T - h_0)\left(l + \sqrt{l^2 + 16T^2}\right)} + 2F_{\sigma n}};$$ $$F_{n\sigma} = \sum_{n=1}^{N} \frac{\left(l + \sqrt{l^2 + 4n^2\sigma^2}\right)}{n\sigma\left[l + \sqrt{l^2 + 4(n\sigma)^2 + 16h_0^2}\right]} \times$$	Те же, что в п. 2; Г. А. Разумов [6]

$$\times \frac{\left[l+\sqrt{l^2+4(n\sigma)^2+16(T-h_0)^2}\right]}{\left[l+\sqrt{l^2+4(n\sigma)^2+4T^2}\right]} \times$$

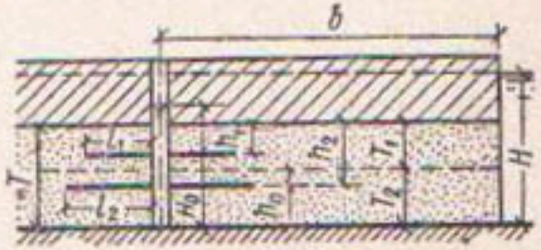
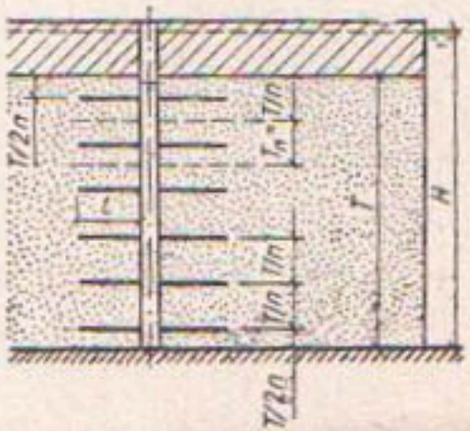
$$\times \frac{\sqrt{\left(n^2\sigma^2+4h_0^2\right)\left(\sigma^2n^2+4T^2\right)}}{\sqrt{(n\sigma^2+4(T-h_0)^2}}$$

При большом числе скважин

$$Q_N = \frac{2\pi kl(H-H_0)N}{\dfrac{3lh_0T}{r_0(T-h_0)\left(l+\sqrt{l^2+16T^2}\right)}+2\eta_\sigma \ln V_\sigma}, \qquad \text{При } N \geqslant N_{кр}$$

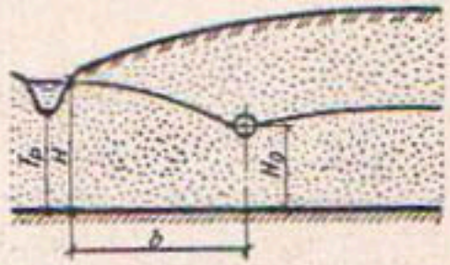
где $V_\sigma = V_{n\sigma}$ при $n=1$

Продолжение табл. 2.1

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
14. Радиальная двухъярусная система в пласте с прямолинейным контуром питания 	$$Q_N = \frac{2\pi k (H - H_0)}{\frac{1}{M_1}\ln V_{r_1} + \frac{1}{M_2}\ln V_{r_2} + \frac{2\eta_1}{M_1}\ln V_{T_1} \frac{2\eta_2}{M_2}\ln V_{T_2}},$$ где $M_1 = \alpha_1 l_1 N_1 \gamma$; $M_2 = \alpha_2 l_2 N_2 \gamma$. Коэффициенты α_1, η, γ определяются по графикам (см. рис. 2.2, 2.4) для каждого яруса при T_1 и T_2, учитывая, что $T = (h_1 + h_2)/2$, а также имея в виду, что для 2-го яруса α_2 определяется при $h_0 = h_2 - T_1$	Те же, что в п. 9 (по отношению к T/n); Г. А. Разумов [4]
15. Многоярусная радиальная система в однородном пласте большой мощности с прямолинейным контуром питания 	Дебит одного из n ярусов с равным числом скважин одинаковой длины: $$Q_N = \frac{2\pi kl (H - H_0) N\gamma}{\ln V_r + 2\eta \ln V_T},$$ где функции V_r и V_T определяются по формулам п. 9 при $T = T_n$; коэффициенты η и γ — по графикам (см. рис. 2.2, 2.4), принимая, что мощность T_n пласта (для каждого яруса) равна T/n	Те же, что в п. 9 (по отношению к T/n); Г. А. Разумов [4]

Б. Горизонтальные водозаборные дрены неограниченной длины

16. Горизонтальный береговой водозабор в безнапорном водоносном пласте с односторонним притоком



Приток к 1 м длины водозабора

$$Q = kl\,\frac{H^2 - H_0^2}{2\,(b + \Phi + \Delta b)}\,,$$

где Φ — фильтрационное сопротивление, связанное с гидродинамическим несовершенством водозабора; Δb — гидравлическое сопротивление на несовершенство контура питания, учитывающее полноту врезки водотока (водоема) в водоносный пласт

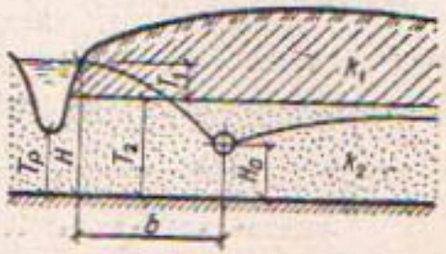
$$\Phi = -\frac{H_0}{\pi}\,\ln\sin\frac{\pi d}{2\,(H_0 + d)};\quad d = 0{,}56P,$$

где P — периметр смоченной части водозабора. Для однородного пласта $\Delta s = 0{,}44\,T_р$. При наличии на дне реки слабопроницаемого слоя с k_0 и T_0, обусловленного заилением русла $\Delta b =$

$$= \sqrt{\frac{kT_0\,(T_р - T_0)}{k_0}} + 0{,}44\,T_р$$

При $l/b \geqslant 5$;
Н. Н. Лапшин [26][7]

17. То же, в 2-слойном пласте



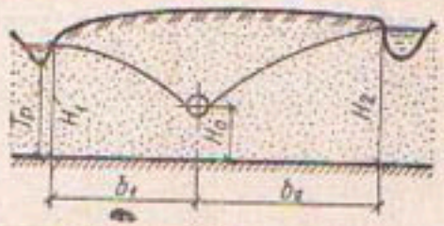
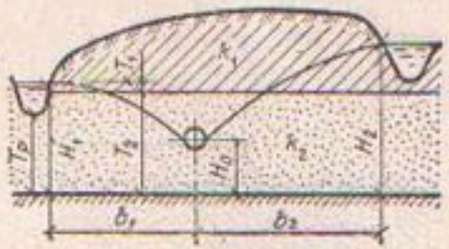
$$Q = (k_1T_1 + k_2T_2)\,\frac{H^2 - H_0^2}{2\,(T_1 + T_2)\,(b + \Phi_1 + \Delta b)}\,,$$

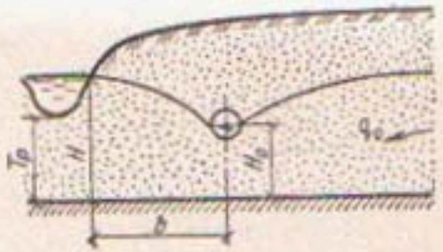
$$\Phi = \frac{T_1k_1 + T_2k_2}{\pi k_2}\,\ln\sin\frac{\pi d}{2\,(H_0 + d)}\,,$$

$$\Delta b = \sqrt{\frac{k_2\,(T_р - T_2)\,T_2}{k_1}} + 0{,}44\,T_р$$

При $T_р > T_2$;
Н. Н. Лапшин [26][7]

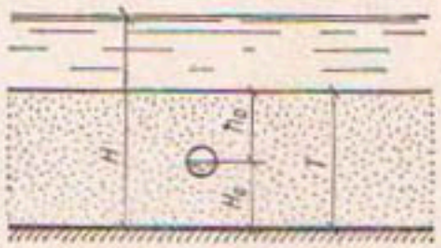
Продолжение табл. 2.1

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
18. То же, в однослойном полосообразном в плане водоносном пласте с двухсторонним притоком 	$Q = \dfrac{kl}{2\left(1 + \Phi \dfrac{b_1 + b_2}{b_1 \cdot b_2}\right)} - \left(\dfrac{H_1^2 - H_0^2}{b_1} + \dfrac{H_2^2 - H_0^2}{b_2}\right).$	Н. Н. Лапшин [26][7]
19. То же, в 2-слойном пласте 	$Q = \dfrac{(k_1 T_1 + k_2 T_2)\, l}{2\,(T_1 + T_2)\left(1 + \Phi \dfrac{b_1 + b_2}{b_1 b_2}\right)} - \left(\dfrac{H_1^2 - H_0^2}{b_1} + \dfrac{H_2 - H_0^2}{b_2}\right).$	[26]
20. Горизонтальный береговой водозабор в однослойном пласте с боковым притоком грунтовых вод	Гидравлическое сопротивление на несовершенство границ области питания учитывается введением вместо действительных расстояний от границ питания b_1 и b_2 величин $b_1 + \Delta b$, и $b_2 + \Delta b_2$, где Δb_1 и b_2 определяется по зависимости, приведенной в п. 16, 17 $Q = kl \dfrac{H^2 - H_0^2}{2\,(b + \Phi + \Delta b)} + \dfrac{q_0 l}{1 + 0{,}5\,\Phi/b}$;	



$q_0 = kJTB$, где J — гидравлический уклон потока грунтовых вод; B — ширина потока.

21. Горизонтальный подрусловый водозабор под дном водотока (водоема)

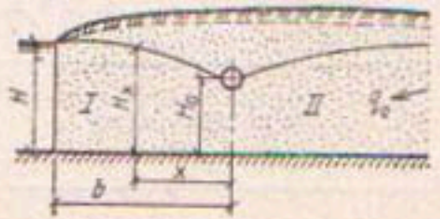


$$Q = 4\pi kl \frac{H - H_0}{\ln\left[\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{8} \cdot \frac{4h_0 - d}{T}\right) \operatorname{ctg} \frac{\pi d}{8T}\right]}$$

[26, 27]

Понижение уровня подземных вод при действии горизонтального дренажа

22. Горизонтальная береговая дрена в однослойном безнапорном водоносном пласте с боковым притоком грунтовых вод



Приток к 1 м дрены

$$\Phi = \frac{k\left(H^2 - H_0^2\right) + 2q_0 B}{2\left(b + \Phi_{\text{в.д}}\right)}.$$

При $l/b \geqslant 5$

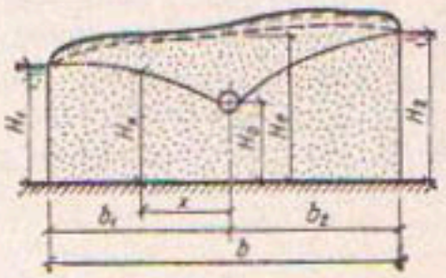
Для зоны I

$$H_x = \sqrt{H_c^2 + \left(H^2 - H_c^2\right)\frac{x}{b}},$$

[1, 35, 36]

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
	где $H_e = \sqrt{H_0^2 + 2\frac{Q}{k}\Phi_{н.д}}$; $\Phi_{н.д} = 0{,}73 H_0 \lg \frac{2H_0}{\pi d}$. Для зоны II $H_x = H_0 + \left[\frac{1-\alpha_1}{1+\alpha_1}(H_1 - H_0)\right] + \left[\frac{\left(1+\frac{\alpha_1}{\alpha_x}\right) q_0 x}{(1+\alpha_1 k) H_0}\right]$, где $\alpha_1 = \frac{1}{1+\frac{H_0}{b}A}$; $\alpha_x = \frac{1}{1+\frac{H_0}{x}A}$; $A = 1{,}47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi d}{2H_0}}$.	

23. То же, с двухсторонним питанием пласта



$$Q = \frac{k\left(H_e^2 - H_0^2\right)}{2\left(\frac{b_1 b_2}{b} + \Phi_{\text{н.д}}\right)}; \quad H_e = H_1 \frac{b_2}{b} + H_2 \frac{b_1}{b};$$

$$\Phi_{\text{н.д}} = 0{,}73\ H_0 \lg \frac{2H_c}{\pi d}.$$

Для зоны I

$$H_x = \sqrt{H_л^2 + (H_1^2 - H_м^2)\ \frac{x}{b_1}};$$

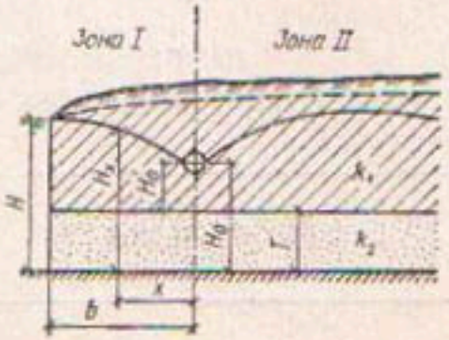
$$H_л = \sqrt{H_0^2 + 2\frac{Q}{k}\Phi_{\text{н.д}}}.$$

Для зоны II

$$H_x = \sqrt{H_л^2 + \left(H_2^2 - H_л^2\right)\frac{x}{b_2}}.$$

То же

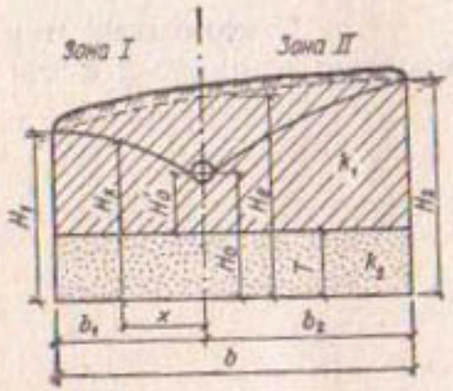
24. То же, в 2-слойном пласте с односторонним притоком

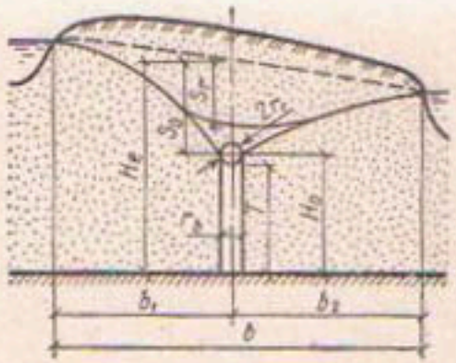


$$Q = k_2 T \frac{H - H_0}{b + \Phi_{\text{н.д.}}}, \text{ где } \Phi_{\text{н.д}} = 0{,}73 \frac{k_2 T}{k_1} \lg \frac{8H_0^1}{\pi d};$$

$$H_x = H_e + \frac{H_1 - H_e}{b} x, \text{ где } H_e = H_0 + \frac{Q}{k_2 T}\Phi_{\text{н.д}}$$

»

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
25. То же, в 2-слойном пласте с двухсторонним притоком 	$Q = \frac{k_2 T (H_e - H_0)}{b_1 b_2 / b + \Phi_{\text{н.д.}}}$, где $H_e = H_1 b_2 / b + H_2 b_1 / b$; $\Phi_{\text{н.д.}} = 0{,}73 \frac{k_2 T}{k_1} \lg \frac{8 H_0'}{\pi d}$. **Для зоны I** $H_x = H_л + \frac{H_1 - H_л}{b_1} x$, где $H_л = H_c + \frac{Q}{k_2 T} \Phi_{\text{н.д.}}$. Для зоны II $H_x = H_л + \frac{H_2 - H_л}{b_2} x$	[35, 36]
26. Комбинированная дрена в однородном безнапорном пласте с двухсторонним питанием, состоящая из горизонтальной дрены и вертикальных скважин — усилителей	**Симметричный поток** $Q_{\text{г(в)}} = \frac{\pi k \left(H_e^2 - H_0^2\right)}{4} \ln \frac{2\sigma + p\sigma + 2c}{2c} - \frac{2p\sigma}{4c + 8\sigma}$, где $p = \ln \frac{T}{2\pi r_{\text{г(в)}}} - 1$; $c = \frac{\pi b_1 b_2}{b}$	[35, 36]



Несимметричный поток

$$Q_{\Gamma} = \frac{\pi k \alpha \left(H_e^2 - H_0^2\right)}{4} \left(\ln \frac{2\alpha T + \alpha p T + \delta}{\delta} - \right.$$

$$\left. - \frac{2\alpha p T}{2\delta + \alpha p T}\right) + q\,(l - 2\alpha T),$$

где $p = \ln \dfrac{\beta T}{2\pi r_{\Gamma}} - 1$; $\delta = \pi b_1 b_2 / \beta b$;

$$\alpha = (4T + \sigma)/6T;\ \beta = 1/\alpha;$$

$$q = \frac{\pi k \left(H_e^2 - H_0^2\right)}{2T\left[\ln \dfrac{T}{\pi r_{\Gamma}} + \dfrac{\pi b_1 b_2}{b}\right]}.$$

Г. А. Разумов [34]

$$Q_{\text{в}} = \frac{\pi k \left(H_e^2 - H_0^2\right)}{4} \left(\ln \frac{2T + pT + c}{\delta} - \frac{2pT}{2\delta + pT}\right).$$

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения; автор
	где $\rho = \ln \frac{\alpha T}{2\pi r_в} - 1\Big)$; $\alpha = \frac{4T+\sigma}{6T}$; $\delta = \frac{\pi b_1 b_2}{\alpha b}$.	
	Построение депрессионной поверхности грунтовых вод производится по приведенным выше зависимостям при $Q = (Q_в + Q_г)/\sigma$.	
	Неустановившийся режим фильтрации	
	$$Q = \frac{8kh_c S_0}{\pi \ln \frac{\sigma}{2\pi r_в}} \left\{[1 + A(1{,}5 + \beta^2)]\, B - \right.$$	
	$$\left. - \frac{A}{\sqrt{\pi}} \left(\beta + \frac{1}{\beta}\right)\right\},$$	
	где $A = \frac{0{,}3}{\left(\ln \frac{\sigma}{2\pi r_в}\right)^3}$; $\beta = \frac{\pi \sqrt{\tau}}{\ln \frac{\sigma}{2\pi r_в}}$; $B = e^{\beta^2}\left[1 - \Phi(\beta)\right]$;	

$\Phi(\beta) = erf(\beta)$ — интеграл вероятности.

Понижение уровня подземных вод в середине длины участка горизонтальной дрены (между вертикальными скважинами — усилителями)

$$S_{ц} = 0{,}64\, S_0 [1 - F(\tau, \bar{y}, \bar{r}_в)], \text{ где } \tau = at/\sigma^2;$$

$$\bar{y} = y/\sigma;\ \bar{r}_в = r_в/\sigma;$$

S_0 — понижение уровня воды в скважине линейного ряда вертикальных скважин-усилителей $F(\tau, \bar{y}, \bar{r}_в)$ — рис. 2.5

---

[1] **Полубаринова-Кочина П. Я.** О наклонных и горизонтальных скважинах конечной длины. Прикладная механика и математика, т. XX, вып. 6, 1956.

[2] **Разумов Г. А.** Горизонтальные скважины конечной длины в водоносном пласте ограниченной мощности. Прикладная механика и техническая физика, 1961, № 5.

[3] **Бузинов С. Н., Умрихин И. Д.** Исследование пластов и скважин при упругом режиме фильтрации. — М.: Недра, 1964.

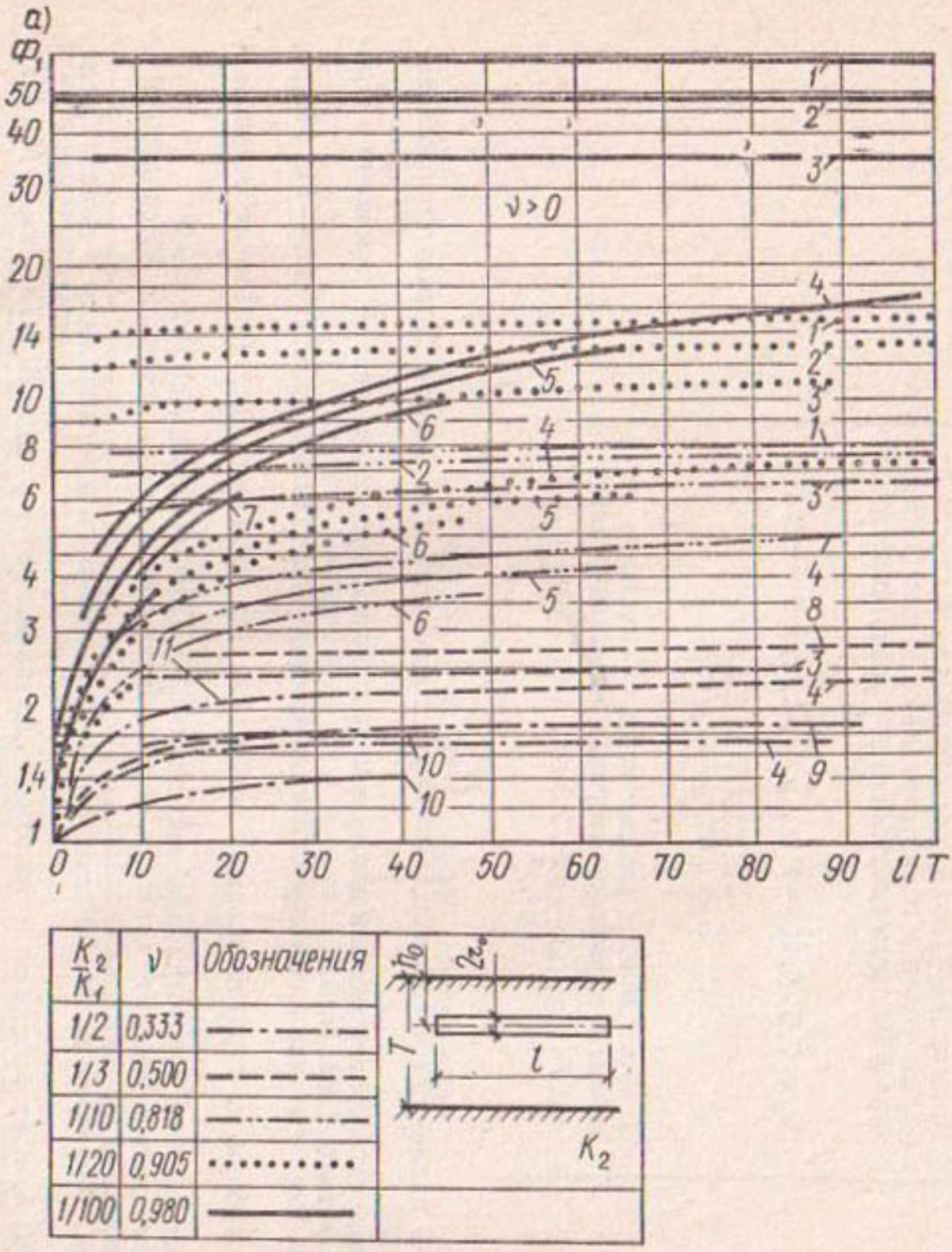
[4] **Разумов Г. А.** Лучевые водозаборы с горизонтальными фильтрами под дном реки. Водоснабжение и санитарная техника, 1962, № 12.

[5] **Разумов Г. А.** Фильтрационные расчеты дрен ограниченной длины. Тр. Гипроводхоза, № 1(30), 1968.

[6] **Разумов Г. А.** Горизонтальные скважины для каптажа подземных вод. Материалы семинара «Использование подземных вод». — Московский дом научно-техн. пропаганды, 1969.

[7] **Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Хохлатов Э. М.** «Расчет притока подземных вод к скважинам в долинах рек». Разведка и охрана недр, 1968, № 9.

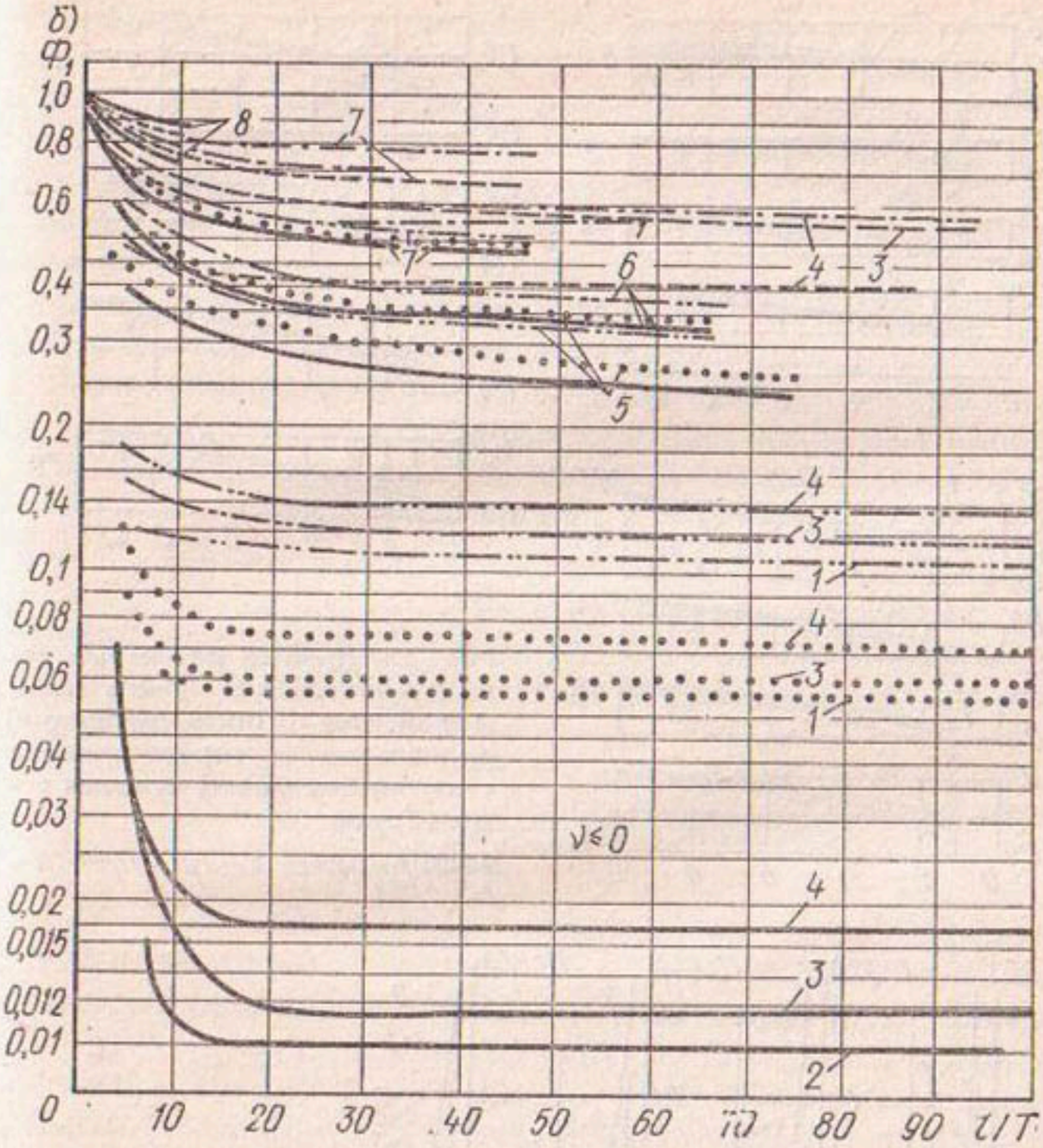
[8] **Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.** «Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов». — М.: Наука, 1980.



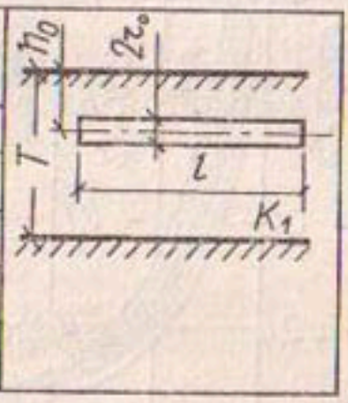
$\frac{K_2}{K_1}$	ν	Обозначения
1/2	0,333	
1/3	0,500	
1/10	0,818	
1/20	0,905	
1/100	0,980	

Рис. 2.3. Кривые для расчета горизонтальной скважины, расположенной в двухслойном водоносном пласте при коэффициенте неоднородности $\nu=(k_1-k_2)/(k_1+k_2)$

а) $\nu>0$: *1* — $h_0/T=2$; *2* — $h_0/T=1,5$; *3* — $h_0/T=1,1$; *4* — $h_0/T=1$; *5* — $h_0/T=0,8$; *6* — $h_0/T=0,4$; *7* — $h_0/T=0,2$; *8* — $h_0/T>1,5$; *9* — $h_0/T>1,1$; *10* — $h_0/T\leqslant 0,4$; *11* — $h_0/T=0,05$; *б)* $\nu\leqslant 0$: *1* — $h_0/T=2$; *2* — $h_0/T\geqslant 1,5$; *3* — $h_0/T=1,1$; *4* — $h_0/T=1$; *5* — $h_0/T=0,9$; *6* — $h_0/T=0,8$; *7* — $h_0/T=0,4$; *8* — $h_0/T=0,5$



$\frac{K_1}{K_2}$	ν	Обозначения
2	-0,333	— · — · —
3	-0,500	— — — —
10	-0,818	— ·· — ·· —
20	-0,905	·····
100	-0,980	———



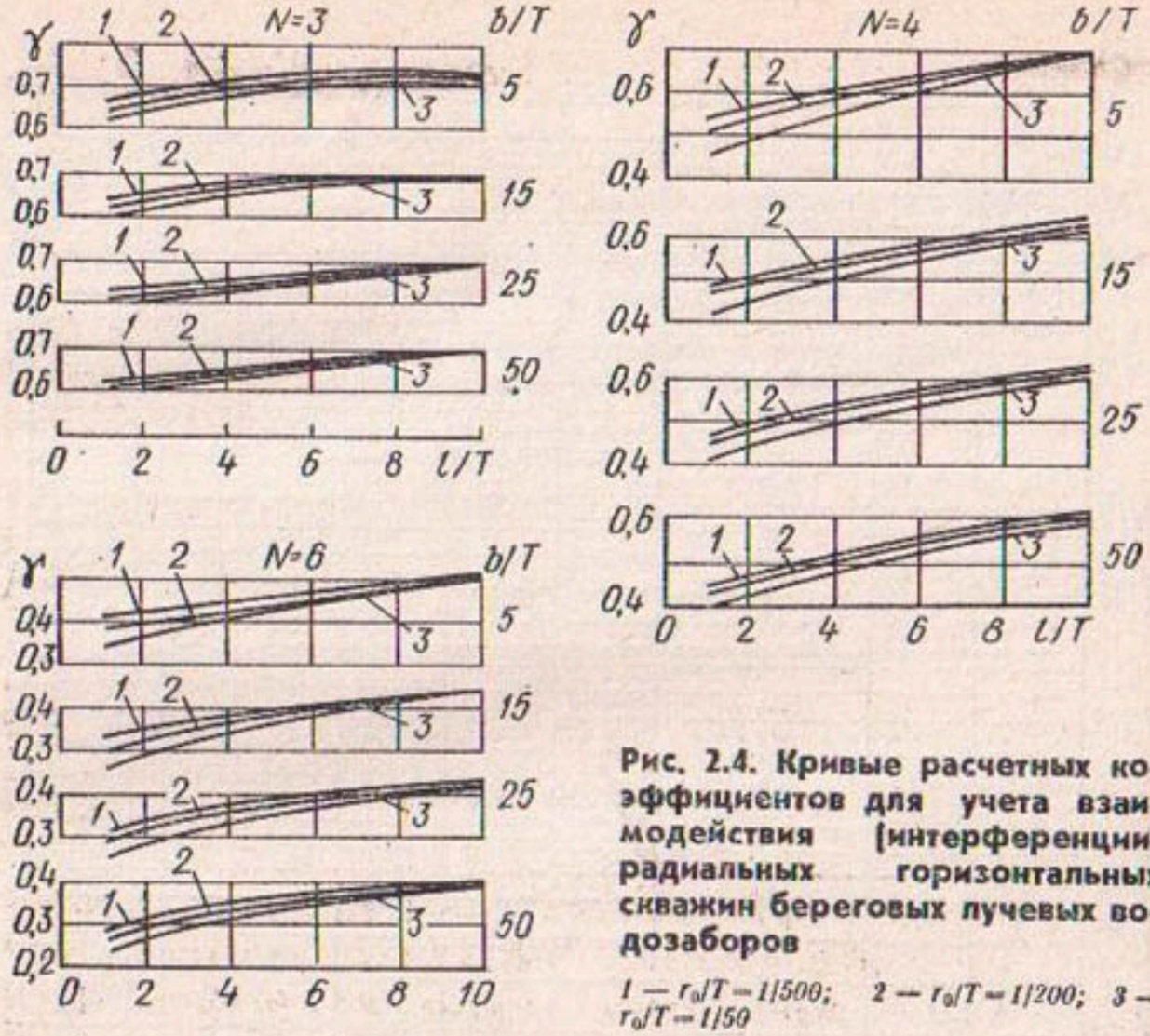


Рис. 2.4. Кривые расчетных коэффициентов для учета взаимодействия (интерференции) радиальных горизонтальных скважин береговых лучевых водозаборов

1 — $r_0/T = 1/500$; 2 — $r_0/T = 1/200$; 3 — $r_0/T = 1/50$

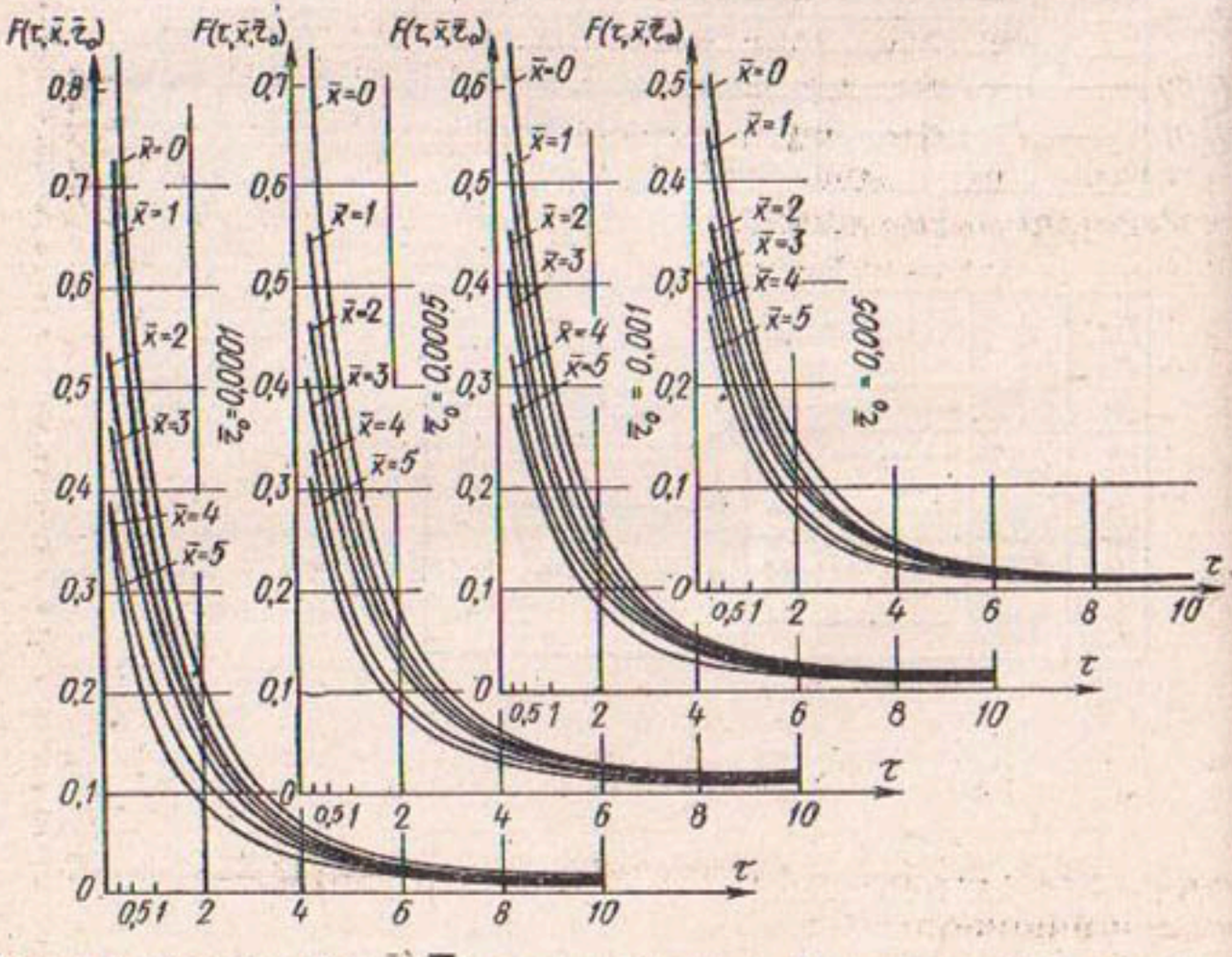


Рис. 2.5. Кривые $F(\tau, \bar{x}, \bar{r}_0)$ для расчета комбинированного дренажа

Для определения дебита и понижения уровня подземных вод при работе горизонтальных водозаборов и дренажей разработана методика фильтрационного расчета (табл. 2.1). Ряд расчетных зависимостей унифицирован, что создает определенные удобства при пользовании этой методикой. Расчетные графики к приведенным в таблице формулам, а также формулы для определения понижений напора подземных вод в различных точках пласта в удалении от водозабора для раздела А приведены в соответствующих пунктах настоящей главы. Теми формулами таблицы, которые даны для напорного режима, в случае безнапорного можно пользоваться, полагая в них $T=(H+H_0)/2$ и заменяя: $H_1=H_{1б}^2/2T$, $H_0=H_{0б}^2/2T$, $H_r=H_{rб}/2T$, где $H_{1б}, H_{0б}, H_{rб}$ — глубина воды от подошвы безнапорного пласта соответственно для статического уровня, уровня воды в водосборном колодце (шахте) и уровня грунтовых вод на расстоянии r от водозабора.

2. Горизонтальные линейные водозаборы

Береговые инфильтрационные горизонтальные водозаборы обычно имеют большую длину, измеряемую десятками и сотнями (иногда тысячами) метров. Поэтому учет концевых притоков, которые существенны при рассмотрении относительно коротких горизонтальных скважин (лучевых, параллельных) в данном случае чаще всего оказывается необязательным. При $l>(3—5)b$ для расчета производительности линейных горизонтальных водозаборов можно пользоваться формулами, представленными Н. Н. Лапшиным [26]. Для коротких водозаборов приводятся формулы автора (табл. 2.1, п. 3).

По другой методике [26] для расчета дебита горизонтальных водозаборов ограниченной длины с $l\leqslant(3\div5)\,b$ могут использоваться те же формулы пп. 16—20 табл. 2.1, но в них вместо b (или b_1 и b_2) необходимо подставить приведенное расстояние b^* (или b_1^* и b_2^*), вычисляемое по зависимости

$$b^*=\frac{l}{4\pi}\left[\ln(1+\xi^2)-\xi^2\ln(1+1/\xi^2)+4\xi\,\mathrm{arctg}\,\xi\right], \qquad (2.5)$$

где $\xi=2b/l$.

Производительность горизонтального подруслового водозабора небольшой длины при $l \leqslant 3$, заложенного под дном водотока (водоема) определяется по формуле (более полное выражение дано в пп. 1,2 табл. 2.1)

$$Q = \frac{4\pi k l (H - H_0)}{\ln \dfrac{3lh_0 T}{r_0 (T - h_0)\left(l + \sqrt{l^2 + 4T^2}\right)}}. \qquad (2.6)$$

При наличии большого слоя заиления дна водотока (водоема) гидравлическое несовершенство можно определять, вводя в приведенные расчетные зависимости вместо h_0 величину $h_0 + \Delta b$, где Δb — дополнительное сопротивление, которое определяется по формуле

$$\Delta b = \sqrt{kTT_0/k_0}. \qquad (2.7)$$

В другой постановке задачи требуется определять основные конструктивные параметры водозабора при заданной водоподаче потребителям (т. е. заданной производительности). В этом случае определение длины горизонтального водозабора $l_т$ для обеспечения требуемого расхода $Q_т$ ведется по формуле, которая справедлива при $l/b \geqslant 3 \div 5$:

$$l_т = Q_т\, l/Q, \qquad (2.8)$$

где $l_т$ — длина водозабора, которая обеспечивает получение расхода воды $Q_т$; l — длина водозабора, обеспечивающего расход Q.

При проектировании может возникнуть и обратная задача: определить расстояние $b_т$ от водотока (водоема) до водозабора, при котором обеспечивается подача требуемого расхода воды $Q_т$.

Для схемы пласта с односторонним питанием в такой постановке применима следующая зависимость

$$b_т = Qb/Q_т + (\Phi + \Delta b)(Q - Q_т)/Q_т. \qquad (2.9)$$

3. Лучевые водозаборы

Определение производительности лучевых водозаборов выполняется путем выполнения комплекса гидрогеологических (фильтрационных) и гидравлических расчетов. Эти расчеты проводятся при заданном понижении уровня воды в водосборном колодце, которое обычно ограничивается глубиной расположения радиальной системы горизонтальных скважин. Последняя, в свою очередь, определяется мощностью водоносного пласта (глубиной залегания водоупора).

Производительность лучевых водозаборов, кроме соответствующих гидрогеологических условий, зависит от величины и взаимного соотношения основных конструктивных параметров водозабора, таких как: понижение уровня воды в водосборной камере (т. е. глубина заложения лучевых дрен, так как целесообразно понижать уровень воды до оси лучей), длина, число, и диаметр горизонтальных радиальных скважин. Вместе с тем следует отметить, что влияние этих параметров на дебит водозабора вовсе неодинаково и зависит не только от их величины, но и взаимного соотношения.

На основе выполненных ранее теоретических и лабораторных исследований [4 и др.] могут быть высказаны следующие соображения по поводу значения тех или иных основных конструктивных параметров лучевых водозаборов:

1. Наибольший удельный водоприток на единицу длины водоприемной части водозабора обеспечивается при расположении радиальной системы горизонтальных скважин в середине полуограниченного водоносного пласта с его боковым питанием от водотока (водоема) и вблизи дна водотока (водоема) при питании водоносного пласта сверху. Вместе с тем расчеты показывают, что при соотношении глубины расположения подошвы, например напорного водоносного пласта, с его мощностью большем, чем 1,7 раза, увеличение удельного дебита лучевого водозабора с разными глубинами заложения горизонтальных скважин незначительно. Это обстоятельство особенно существенно для коротких скважин ($l/T<8$). Следует подчеркнуть, что речь идет именно об удельном дебите. В то же время величина понижения уровня в водосборной камере прямо пропорционально влияет на возрастание дебита водозабора. Поэтому при проектировании необходимо рассматривать разные варианты и выбирать оптимальное заглубление лучевых дрен.

2. Число лучей водозабора существенно влияет на его дебит, особенно при близком расположении от области питания пласта. Вместе с тем при большом числе лучей значительную роль начинает играть взаимовлияние (интерференция) горизонтальных скважин, которое выражается коэффициентом

$$\gamma = Q'_N/Q, \qquad (2.10)$$

где Q'_N — дебит одной из N скважин радиальной системы, опреде-

ленный с учетом влияния на нее других скважин; Q — дебит одиночной горизонтальной скважины, работающей отдельно от других скважин и имеющей одинаковую с ними длину, диаметр, глубину заложения и расположение в водоносном пласте.

Анализ интерференции радиальных береговых скважин (см. рис. 2.4) показывает следующее:

степень взаимодействия ниже для относительно более длинных скважин. Так, при увеличении длины береговых скважин в 10 раз коэффициент γ увеличивается от 0,45—0,65 до 0,93—0,99. При этом зависимость γ от l/T носит почти линейный характер. Для подрусловых скважин величины γ наиболее быстро изменяются в интервале изменения параметра l/T от 1 до 4;

для относительно коротких скважин степень взаимодействия снижается при уменьшении диаметра скважин. Так, для случая $l/T=1$ уменьшение диаметра в 10 раз приводит к увеличению γ от 0,4—0,46 до 0,45—0,51;

удаление радиальной системы горизонтальных скважин от области питания приводит к увеличению взаимодействия скважин. Например, в случае полуограниченного пласта с боковым питанием увеличение расстояния от прямолинейного контура в 10 раз приводит к уменьшению γ от 0,67—0,7 до 0,57—0,59 (при $l/T=10$).

Уменьшение числа лучей системы (или увеличение угла между ними) приводит к снижению степени взаимодействия. Например увеличение θ от 30 до 90° увеличивает γ при $l/T=1/50$ для двухлучевой системы от 0,66—0,94 до 0,79—0,97 и для трехлучевой системы от 0,46—0,9 до 0,55—0,98.

В связи с взаимодействием лучевых горизонтальных скважин вблизи водосборной шахты происходит «отжатие» фильтрационного потока. Поэтому фактически скважины полной своей длиной не работают. В результате численного теоретического и экспериментального анализа установлено, что по фильтрационным соображениям оптимальное число лучей радиальной системы равномерно расположенных горизонтальных скважин лежит в пределах $3 \leqslant N \leqslant 7$.

3. Значительно меньшую роль по сравнению с другими параметрами играет диаметр горизонтальной скважины. Например, для случая полуограниченного пласта с боковым питанием при увеличении радиуса скважины в 2 раза прирост ее дебита составляет всего 6—10 %. В случае расположения горизонтальной скважины под

дном водотока (водоема) увеличение ее диаметра в 2,5 раза также приводит к повышению производительности не более чем на 20 %. Следовательно, стремиться к чрезмерному увеличению диаметра горизонтальных скважин не следует.

4. Диаметр водосборной шахты также практически не влияет на дебит водозабора. Лишь при малых длинах лучей и при близком их расположении от границы питания изменение диаметра шахты от 1 до 7 дает увеличение дебита водозабора всего на 3 % (при $l/T \leqslant 10$).

Приведенные выше соображения о влиянии тех или иных параметров горизонтальных скважин на их производительность основаны на гидродинамическом анализе фильтрации к ним подземных вод. Вместе с тем при выборе конструкции скважин следует учитывать и другие факторы. Например, как уже упоминалось, с точки зрения фильтрации влияние длины скважины на ее дебит носит линейный характер, а диаметр не играет существенной роли. В то же время, если построить, например, радиальную систему, состоящую из небольшого числа чрезмерно длинных скважин малого диаметра, то нагрузка на каждую из них и гидравлические потери напора на трение по длине скважины могут оказаться очень большими, что значительно снизит ее пропускную способность. Точно так же максимальное заглубление скважин в пласт (до его подошвы) не обеспечивает максимального удельного дебита. В то же время известно, что от глубины заложения скважин, прямо влияющей на возможное понижение напора (т. е. на действующий напор), непосредственно зависит полная производительность водозабора.

Следовательно, во всех случаях для выбора оптимальных параметров скважины необходимо учитывать не только фильтрационные, но и гидравлические, инженерно-технические и технико-экономические факторы. Поэтому при проектировании систем горизонтальных скважин, варьируют величины их основных конструктивных параметров. Только такое сопоставление вариантов с проведением комплексных фильтрационных, гидравлических и технико-экономических расчетов позволит обоснованно назначить оптимальные параметры водозабора.

Фильтрационный расчет лучевых водозаборов с применением унифицированной методики, учитывающей

формулы пп. 8—10 табл. 2.1, может выполняться по следующей общей зависимости [26]

$$Q = 2\pi kTS_0\left(\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_п}\right), \qquad (2.11)$$

где $R_б$ и $R_п$ — фильтрационные сопротивления радиальной системы соответственно береговых и подрусловых горизонтальных скважин.

Дебит берегового лучевого водозабора, размещаемого у водотока (или водоема) (табл. 2.1, схема 9) можно определять по формуле (2.11) при $R_п \to \infty$ $(1/R_п = 0)$. В этом случае

$$R_б = \left(\ln V_r + 2\eta \ln \frac{0{,}5}{W}\right)\frac{T}{\gamma l N_б}; \qquad (2.12)$$

$$V_r = \frac{lV}{1{,}36r_0}; \quad W = \frac{T}{l + \sqrt{l^2 + 4T^2}}, \qquad (2.13)$$

где $N_б$ — число лучей водозабора, расположенных равномерно по кругу; функция V определяется по формуле п. 3 табл. 2.1.

Расчетные коэффициенты η и γ берутся по графикам (см. рис. 2.2 и 2.4). При значительном удалении оси водосборного колодца от реки ($b > 50\ T$) фильтрационное сопротивление $R_б$ может быть оценено также по формуле

$$R_б = \ln\frac{2b}{r_{пр}}; \quad r_{пр} = \frac{l}{\sqrt[N]{4}}\left(\frac{T}{2\pi r_0 \sin\frac{\pi h_0}{T}}\right)^{-\frac{T}{2Nl}}, \qquad (2.14)$$

где h_0 — заглубление луча под уровень грунтовых вод.

Если горизонтальные скважины берегового лучевого водозабора размещены неравномерно по периметру водосборного колодца и все ориентированы в одну сторону, то в формулах (2.13) и (2.14) под b следует принимать среднее расстояние от реки до центра лучей, т. е.

$$b = \frac{1}{N_б}\sum_{j=1}^{N_б} b_j, \qquad (2.15)$$

где b_j — расстояние от центра j-го луча до реки.

Дебит подруслового водозабора с водосборным колодцем, расположенным на берегу (схема 8, табл. 2.1), определяется по формуле (2.11) при $R_б \to \infty$, то есть $1/R_б = 0$. В этом случае фильтрационное сопротивление $R_п$ находится по формуле

$$R_{\text{п}} = \frac{T}{lN_{\text{п}}}(V_0 + V_{\text{п}}). \qquad (2.16)$$

Здесь функция V_0 определяется по формуле п. 8 табл. 2.1; $N_{\text{п}}$ — число лучей под руслом реки водотока (водоема); h_0 — заглубление лучей под русло.

Функция $V_{\text{п}}$ для случаев, когда $l/T \geqslant 3$ выражается в следующем виде*

$$V_{\text{п}} = \frac{N_{\text{п}} + 2}{3} \ln\left\{1 + \left[\frac{4T}{(l - 0{,}57T)\sin\theta}\right]^2\right\}, \qquad (2.17)$$

где θ — угол между лучами.

Для двухлучевого водозабора ($N_{\text{п}} = 2$)

$$V_{\text{п}} = \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{16T^2}{l^2 \sin^2\theta}\right). \qquad (2.18)$$

При определении дебита комбинированного водозабора (с береговыми и подрусловыми скважинами) коэффициент γ также берется по графикам рис. 2.4, как для системы с двойным числом лучей $2N_6$, т. е. неполная схема береговых лучей приводится к условной полной системе лучей, расположенных равномерно по всему кругу.

Если в соответствии с местными гидрогеологическими и производственными условиями запроектированы лучевые скважины различной длины l_j и с разными углами θ_j между лучами и эта разница не превышает 20 %, то для применения приведенных ниже формул необходимо разные длины и углы привести к средним значениям по зависимостям:

$$l = \sum_{j=1}^{N} \frac{l_j}{N}; \quad \theta = 360°/N, \qquad (2.19)$$

где l и θ — соответственно осредненные длины горизонтальных радиальных скважин и угол между ними; j — порядковый номер луча.

Общий способ фильтрационного расчета систем взаимодействующих лучевых водозаборов, расположенных на расстоянии один от другого $r > 5T$ при $l/T = 1$—3 и $r > 10T$ при $l/T = 5$—9, сводится к использованию формул для систем вертикальных скважин [26, 27].

При этом общая формула для расчета будет иметь вид

---

* В табл. 2.1 (п. 8) выражение (2.17) дано в более точной постановке.

$$Q_{\text{сум}} = 2\pi kTS \Big/ \left(\alpha_0 R_0 + \sum_{i=1}^{n} \alpha_i R_i \right), \qquad (2.20)$$

где $Q_{\text{сум}}$ — суммарный расход всех взаимодействующих лучевых водозаборов; S — понижение уровня в водозаборе (под влиянием данного водозабора и взаимодействующих с ним водозаборов); $\alpha_0 = Q_0/Q_{\text{сум}}$, $\alpha_i = Q_i/Q_{\text{сум}}$ — отношение расходов данного и взаимодействующих водозаборов к суммарному расходу; R_0 и R_i — безразмерные фильтрационные сопротивления; $R_0 = R_6 R_п/(R_6 + R_п)$ — сопротивление данного водозабора; R_i — находится по соотношению

$$R_i = \ln \frac{p_i}{r_i}, \qquad (2.21)$$

где r_i — расстояние от данного водозабора до взаимодействующих; p_i — расстояние от исследуемого водозабора до зеркального отображения относительно реки соседних с ним взаимодействующих водозаборов; n — количество водозаборов, взаимодействующих с данным.

Фильтрационное несовершенство реки при расчетах лучевых водозаборов, как и в п. 2 настоящей главы, может быть учтено с помощью метода «дополнительного слоя». При этом вместо действительного расстояния b от реки до водозабора, а также величин h_0 и T (см. табл. 2.1) в соответствующих формулах подставляются величины:

$$b' = b + \Delta b; \quad h_0' = h_0 + \Delta b; \quad T' = T + \Delta b, \qquad (2.22)$$

где Δb — дополнительное расстояние, определяемое в зависимости от степени кольматации и заиленности речного русла.

В отличие от горизонтальных линейных водозаборов, во внутренней полости которых имеет место безнапорный или слабонапорный гидравлический режим, лучевые горизонтальные дрены конечной длины почти всегда имеют напорный режим, что сопровождается значительными по величине гидравлическими потерями на трение по их длине. Дополнительные к фильтрационным гидравлические потери напора должны быть как можно меньше (во всяком случае существенно меньше общего расчетного понижения уровня подземных вод S в водозаборе). Этого можно достигнуть обеспечением достаточно высокой пропускной способности горизонтальных скважин за счет увеличения ее диаметра. Если по техническим и производственным условиям это сделать невозможно, то производительность водозабора следует снизить, для чего необходимо выполнить гадравлический расчет. Он включает в себя корректировку производи-

тельности Q водозабора, которая должна быть учтена в соответствии с величиной гидравлических потерь напора на трение по длине лучевых скважин:

$$h_w = \left(2 + \frac{\lambda l}{6r_0}\right)\frac{v^2}{2g}\ ;\quad v = \frac{Q}{\pi r_0^2 N}\ , \qquad (2.23)$$

где v — скорость течения воды в горизонтальных лучевых скважинах, м/с (расход Q — в м³/с); λ — гидравлический коэффициент трения (для труб диаметром 50—300 мм можно принимать $\lambda = 0{,}08$—$0{,}1$); $g = 9{,}81$ м/с².

Скорректированная на величину гидравлических потерь напора производительность лучевого водозабора определяется по приведенным выше формулам для дебита $Q_к$ при действующем напоре, равном $S - h_w$.

Пример расчета берегового лучевого водозабора. В напорном водоносном пласте мощностью $T = 5$ м на расстоянии $b = 75$ м от берега водохранилища проектируется лучевой водозабор берегового типа. Коэффициент фильтрации водоносных пород $k = 50$ м/сут. Величина максимально возможного понижения уровня воды в водосборном колодце водозабора $S = 9{,}5$ м. Из производственных соображений радиус горизонтальных скважин принят $r_0 = 0{,}1$ м, число лучей $N_б = 4$, длина лучей $l = 30$ м. Требуется определить производительность лучевого водозабора.

Расчет фильтрационного сопротивления $R_б$ ведем по формуле (2.12). В данном случае

$$V = \frac{(4 \cdot 75 - 30)}{(4 \cdot 75 + 30)} = 0{,}9;\quad V_r = \frac{(30 \cdot 0{,}9)}{(1{,}36 \cdot 0{,}1)} = 199;$$

$$\frac{1}{W} = \frac{\left(30 + \sqrt{30^2 + 4{,}5^2}\right)}{2{,}5} = 5{,}6.$$

Кроме того, по графикам (см. рис. 2.2 и 2.4) при $l/T = 30/5 = 6$ и $b/T = 75/5 = 15$ имеем $\gamma = 0{,}57$; $\eta = 4{,}5$.

Подставляя найденные значения параметров в формулу (2.12), получим

$$R_б = (\ln 199 + 2 \cdot 4{,}5 \cdot \ln 5{,}6)\frac{5}{30 \cdot 0{,}57 \cdot 4} = 1{,}51.$$

По соотношению (2.11) при $1/R_п = 0$ найдем производительность лучевого водозабора

$$Q = (2\pi 50 \cdot 5 \cdot 9{,}5)/1{,}5 = 9900 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Определим теперь гидравлические потери напора в лучевых скважинах. По соотношению (2.23) имеем:

$$v = \frac{9900}{86400\pi\, 0{,}1^2 \cdot 4} = 0{,}91 \text{ м/с};$$

$$h_w = \left(2 + 0{,}1\,\frac{30}{6 \cdot 0{,}1}\right)\frac{0{,}91^2}{2 \cdot 9 \cdot 81} = 0{,}25 \text{ м}.$$

Гидравлические потери в трубах в данном случае относительно невелики (2—3 % от понижения уровня воды в водосборном колодце S). Поэтому корректировку расхода Q, учитывающую эти потери, можно не производить.

Пример расчета подруслового лучевого водозабора. Проектируется лучевой водозабор в подрусловом водоносном пласте мощностью $T=6$ м, коэффициент фильтрации $k=25$ м/сут. Максимально возможное понижение уровня в водосборном колодце $S=6$ м. Радиус горизонтальных скважин $r_0=0{,}1$ м, число лучей $N=5$, $\theta=36°$, длина лучей 30 м, заглубление лучей под дно реки $h_0=3$ м.

По формуле п. 8 табл. 2.1 имеем

$$V_0 = \ln \frac{3 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 30\left[30 + \sqrt{30^2 + 16\,(6-3)^2}\right]}{0{,}1\,(6-3)\left(30 + \sqrt{30^2 + 16 \cdot 6^2}\right)\left(30 + \sqrt{30^2 + 16 \cdot 3^2}\right)} = 4{,}4;$$

по соотношению (2.17) получим

$$V_\text{п} = \frac{5+2}{3}\ln\left\{1 + \left[\frac{4 \cdot 6}{(30 - 0{,}5 \cdot 6)\sin 36°}\right]^2\right\} = 2{,}8.$$

В соответствии с равенством (2.16) получим

$$R_\text{п} = (4{,}4 + 2{,}8)\,\frac{6}{30 \cdot 5} = 0{,}29.$$

Применяя теперь общую расчетную зависимость (2.11) при $1/R_6=0$, найдем $Q=2\pi 25 \cdot 6 \cdot 6/0{,}29 = 19\,500$ м³/сут.

Гидравлические потери напора в трубах определяем по (2.23):

$$v = \frac{19\,500}{86\,400\pi\, 0{,}1^2 \cdot 5} = 1{,}4; \quad h_w = \left(2 + \frac{0{,}1 \cdot 30}{6 \cdot 0{,}1}\right)\frac{1 \cdot 4^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}6 \text{ м}.$$

Скорректированное значение величины производительности водозабора получим по формуле (2.11), под-

ставив в нее вместо S понижение уровня, уменьшенное на величину гидравлических потерь $S—h_w$:

$$Q = 2\pi 25 \cdot 6\,(6 - 0{,}6)/0{,}29 = 17\,500 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Как видим, в данном случае учет гидравлических потерь напора по длине лучевых горизонтальных скважин в отличие от условий предыдущего примера дает более существенное снижение производительности водозабора.

4. Горизонтальные линейные дренажи

В отличие от расчетов водозаборов в данном случае главной задачей является определение не производительности, а водопонизительной способности дренажных сооружений. Поэтому гидрогеологические расчеты дренажа сводятся к определению величины понижения уровня подземных вод на том или ином расстоянии от сооружения. Вместе с тем необходимо определение и дебита дренажа, вследствие чего расчет становится более комплексным. Некоторые расчетные формулы для определения дебита однолинейного горизонтального берегового дренажа и понижения уровня воды на заданном расстоянии от него приведены в пп. 22—26 табл. 2.1. Они характеризуют приток к 1 м длины горизонтальной линейной дрены неограниченной длины при установившемся режиме безнапорной фильтрации и понижение уровня подземных вод в любой точке территории, защищаемой дренажем.

Более подробно методика расчета дренажей дана в [35, 36].

Как и в случае горизонтальных линейных водозаборов, приведенные формулы справедливы при достаточно большой длине дрен ($l > 2b$). В случае коротких дрен следует учитывать концевые притоки подземных вод к их торцам. Для таких дрен, заложенных в условиях однородного водоносного пласта, расход фильтрационного потока может быть определен по формуле п. 3. (см. табл. 2.1).

Понижение уровня подземных вод в любой точке $M\,(x, y, z)$ может быть определено по следующей зависимости*:

---

* Вывод формулы (2.24) и ее анализ выполнен В. В. Бондаренко.

$$S_{x,y,z} = \frac{Q}{4\pi kl} \sum_{n=0}^{\infty} [F(I_1) + F(I_2) + F(I_3) + F(I_4)]; \quad (2.24)$$

$$F(I_i) = \ln \frac{\left[y + l/2 + \sqrt{(y+l/2)^2 + (x+b)^2 + I_i^2}\right]}{\left[y - l/2 + \sqrt{(y-l/2)^2 + (x+b)^2 + I_i^2}\right]} \cdots \rightarrow$$

$$\cdots \rightarrow \frac{\left[y - l/2 + \sqrt{(y-l/2)^2 + (x-b)^2 + I_i^2}\right]}{\left[y + l/2 + \sqrt{(y+l/2)^2 + (x-b)^2 + I_i^2}\right]};$$

$$I_1 = z + h + 2mn; \quad I_2 = z - h + 2m(n+1);$$

$$I_3 = z - h - 2mn; \quad I_4 = z + h - 2m(n+1).$$

Расчеты по формуле (2.24) можно вести с применением малых ЭВМ («Электроника, СМ-4», «Искра 226» и др.). Для случая $x = -(b+5)$ м, $y = 0$, $z = 2{,}5$ м, $h = -2{,}5$ м, $T = 5$ м, $H = 5$ м, $k = 1$ м/сут, $r = 0{,}1$ м была определена величина S_x для разных значений l и b. Результаты расчетов по формуле (2.24) и их сопоставление с определением S_x по зависимости п. 22 (см. табл. 2.1) для дрены неограниченной длины приведены на графиках рис. 2.6. Как видно, при $l < 100$ м следует пользоваться формулой (2.24). Анализ показывает, что эффективность перехвата потока подземных вод и понижения

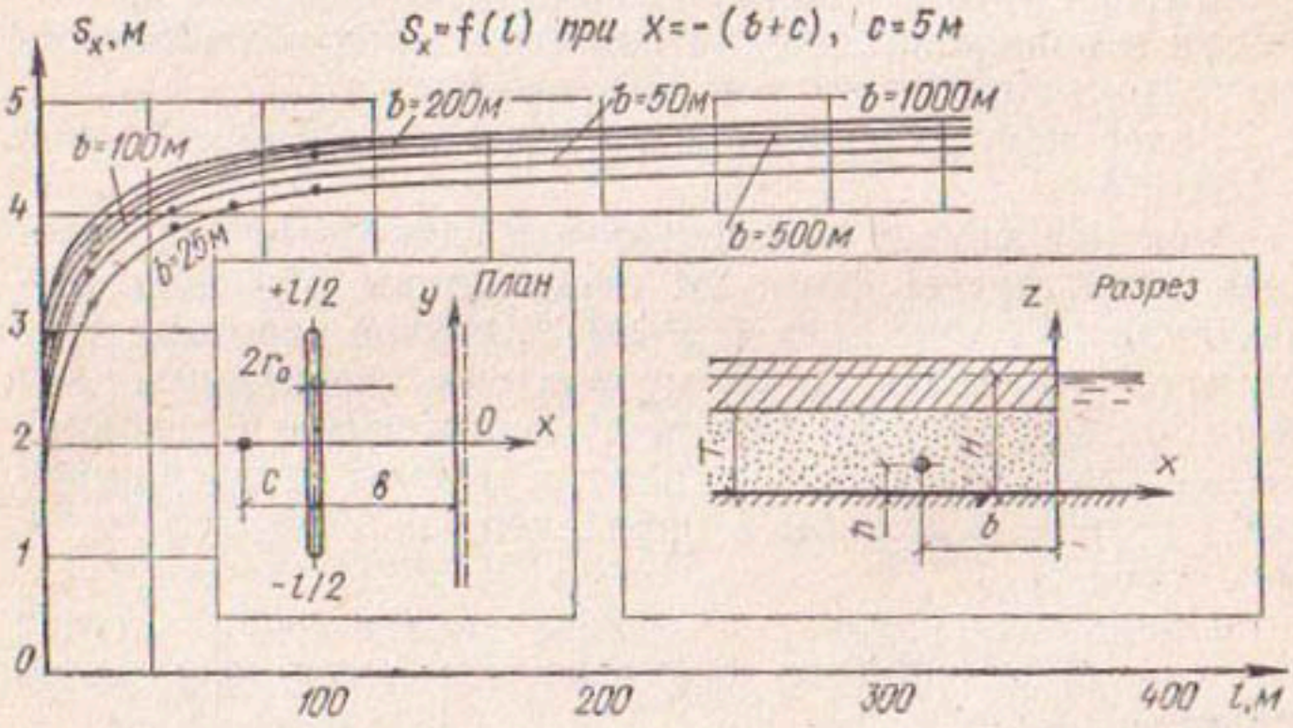


Рис. 2.6. Кривые понижения уровня подземных вод в любой точке x дренируемого полуограниченного пласта от действия одиночной горизонтальной дрены конечной длины l

их уровня в точках оси x резко уменьшается при увеличении длины дрены более, чем на 20 м в каждую сторону. Этот вывод имеет технико-экономическое значение и дает возможность выбирать оптимальную длину дренажа.

5. Лучевые дренажи

Расчет лучевого дренажа осуществляется путем его приведения, в зависимости от планового расположения лучей к одному из трех его видов: горизонтальному кольцевому дренажу, горизонтальному линейному, вертикальному. К горизонтальному кольцевому дренажу приводятся схемы расположения лучей, которые изображены на рис. 1.24 *в, е, ж, з*; к вертикальному — на рис. 1.24 *б, г, д* (см. гл. 1).

Расчет водопонизительного действия лучевого дренажа, приведенного к горизонтальному кольцевому дренажу, охватывающему все защищаемое от подтопления сооружение, выполняется по известной методике [1, 35, 36]. Приведение дренажей к горизонтальному кольцевому возможно, если расстояние («просвет») между концами лучей составляет $c \leqslant 0{,}15\,l$. Если дрены-усилители, направленные от защищаемого сооружения, имеют длину $l_y \leqslant 0{,}25\,l$, то лучевой дренаж приводится к горизонтальному кольцевому (см. рис. 1.24 *е, ж, з*). В противном случае, эти схемы приводятся к схемам вертикального дренажа — см. [35, 36].

Отдельно действующие лучевые дренажи с равномерно расположенными лучами (см. рис. 1.22, 23), применяющиеся для дренирования отдельных сооружений (или их частей), а также разгрузки куполов грунтовых вод, рассчитываются как одиночные лучевые дренажи. 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.

Все общие положения, относящиеся к расчетам лучевых водозаборов (см. п. 3 настоящей главы), могут быть учтены и при гидрогеологическом расчетном обосновании лучевых дренажей.

Для установившегося движения подземных вод де-

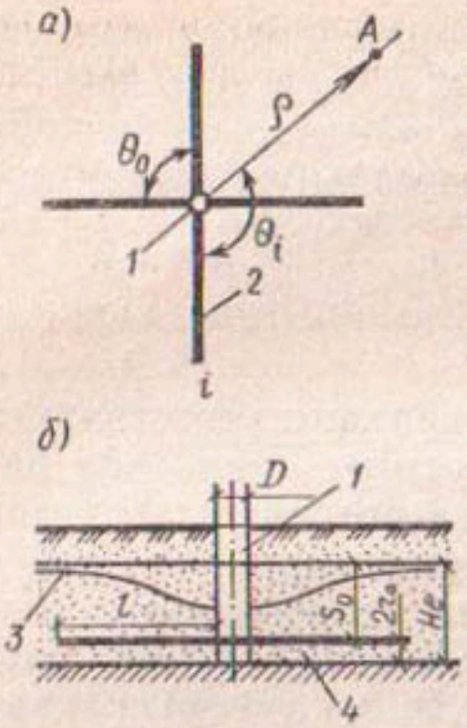


Рис. 2.7. Одиночный лучевой дренаж с равномерно расположенными по кругу лучами

а — план; б — разрез: 1 — водосборный колодец; 2 — лучевые скважины; 3 — депрессионная поверхность подземных вод; 4 — водоупор

бит одиночного лучевого дренажа с равномерно расположенными в плане лучами (рис. 2.7) может быть определен по формуле п. 9 табл. 2.1.

При неустановившемся режиме фильтрации дебит лучевого дренажа может быть найден так:

$$Q = \frac{4\pi k S_0 H_e N}{(N \ln \tau + 1{,}6\overline{H}_e)}, \tag{2.25}$$

$$\tau = at/H_e^2, \quad \overline{H}_e = H_e/l, \tag{2.26}$$

где a — коэффициент уровнепроводности.

Для расчета лучевого дренажа, работающего в режиме постоянного понижения уровня, приведенными формулами можно пользоваться в случае, если $t \geqslant 10\, r_э^2/a$, где $r_э$ — радиус эквивалентного «большого колодца».

Радиус эквивалентного по дебиту и понижению «большого колодца», к которому можно привести радиальную систему горизонтальных скважин для схемы равномерного расположения лучей определяется по формуле

$$r_э = 0{,}4\,(l + D) + 0{,}1 H_e \lg \frac{N r_0}{H_e}, \tag{2.27}$$

где D — диаметр водосборного колодца.

Понижение уровня грунтовых вод за пределами лу-

чей (на расстоянии $r \geqslant 1{,}75\,l$ от оси водосборного колодца) определяется по соответствующим формулам для вертикального дренажа [35, 36 и др.].

Расчет водопонизительного действия в пределах лучевых скважин на расстоянии от водосборного колодца $r \leqslant 2H_e$ для т.А, расположенной на биссектрисе угла между двумя любыми лучами, при неустановившемся режиме фильтрации (см. рис. 2.6) осуществляется по формулам:

$$S_A = \frac{Q}{4\pi klN} \sum_{j=1}^{N} F_s(\tau); \tag{2.28}$$

$$F_s(\tau) = \alpha E_i\left(-\frac{\alpha^2+\beta^2}{4\tau}\right) - \delta E_i\left(-\frac{\delta^2+\beta^2}{4\tau}\right) + \\ + 2l/H_e - 2\beta\left(\operatorname{arctg}\frac{\alpha}{\beta} - \operatorname{arctg}\frac{\delta}{\beta}\right). \tag{2.29}$$

Здесь $\tau = at/H_e^2$; E_i — обозначение функции (табл. 2.2) (2.30)

$$\alpha = (r\cos\theta_j - 0{,}5D)/H_e; \quad \beta = r\sin\theta_j/H_e; \quad \delta = (r\cos\theta_j - l)/H_e, \tag{2.31}$$

где r — расстояние от вертикальной оси водосборного колодца лучевого дренажа до т. A, в которой определяется понижение уровня грунтовых вод S_A; θ_j — в данном случае угол между j-той лучевой скважиной и радиусом-вектором r.

В частном случае четырехлучевого (крестообразного) дренажа функция ΣF_s для точки, расположенной на расстоянии $r = l$ определяется по формуле

$$\sum_{j=1}^{4} F_s(\tau) = 8l/H_e + 2\delta_1 E_i\left(-\frac{\beta_1^2+\delta^2}{4\tau}\right) + \\ + 2\delta_2 E_i\left(-\frac{\beta_1^2+\delta_2^2}{4\tau}\right) + 4\beta_1\left(\operatorname{arctg}\frac{\delta_2}{\beta_1} - \operatorname{arctg}\frac{\delta_1}{\beta_1}\right), \tag{2.32}$$

где $\beta_1 = 0{,}76\,(l/H_e)$; $\delta_1 = 0{,}29\,(l/H_e)$; $\delta_2 = 1{,}71\,(l/H_e)$. (2.33)

Для двухлучевого горизонтального дренажа (см. схему рис. 1.24, *в*) при тех же условиях $\theta_1 = \theta_2 = 90°$ и $r = l$ можно пользоваться формулой

$$\sum_{j=1}^{2} F_s(\tau) = 4l/H_e + 2\delta_1 E_i\left(-\frac{\beta_1^2}{4\tau}\right) - 2\delta_2 E_i\left(-\frac{\beta_1^2+\delta_2^2}{4\tau}\right) +$$

$$+4\beta_1\left(\operatorname{arctg}\frac{\delta_1}{\beta_1}-\frac{\pi}{4}\right). \qquad (2.34)$$

Лучевые дренажи с неравномерно расположенными лучами (см. схемы рис. 1.24 *г, д, з*), приводимые к вертикальному дренажу, рассчитываются по известной методике [35].

При этом в соответствующих формулах под расходом откачиваемой воды Q должен пониматься расход лучевого дренажа, эквивалентного по дебиту и понижению уровня воды вертикальному «большому колодцу».

Таблица 2.2. Значения функции $-E_i(-\chi)$

χ	$-E_i(-\chi)$	χ	$-E_i(-\chi)$	χ	$-E_i(-\chi)$
0,00		0,95	0,2387	3,6	0,0062
0,01	4,0100	1,0	0,2194	3,7	0,005448
0,02	3,3547	1,1	0,1860	3,8	0,00482
0,03	2,9591	1,2	0,1584	3,9	0,004267
0,04	2,6813	1,3	0,1355	4,0	0,003779
0,05	2,4679	1,4	0,1162	4,1	0,003349
0,06	2,2953	1,5	0,1000	4,2	0,002969
0,07	2,1508	1,6	0,0863	4,3	0,002653
0,08	2,0269	1,7	0,07465	4,4	0,002336
0,09	1,9187	1,8	0,06471	4,5	0,00207
0,10	1,8229	1,9	0,05620	4,6	0,00184
0,15	1,4645	2,0	0,0489	4,7	0,00164
0,20	1,2270	2,1	0,04261	4,8	0,00145
0,25	1,0443	2,2	0,03720	4,9	0,00129
0,30	0,9057	2,3	0,0320	5,0	0,00115
0,35	0,7942	2,4	0,02844	6,0	0,00036
0,40	0,7024	2,5	0,02491	7,0	0,000116
0,45	0,6253	2,6	0,02185	8,0	0,000037
0,50	0,5598	2,7	0,01918	9,0	0,000012
0,55	0,5034	2,8	0,01686	10,0	0,00000
0,60	0,4544	2,9	0,01482	—	0,000
0,65	0,4115	3,0	0,01304	—	—
0,70	0,3738	3,1	0,01149	—	—
0,75	0,3403	3,2	0,01013	—	—
0,80	0,3106	3,3	0,00894	—	—
0,85	0,2840	3,4	0,007889	—	—
0,90	0,2601	3,5	0,00697	—	—

Примечания. 1. При $x<0{,}1$ можно считать $-E_i(-x)=\ln\frac{1}{x}-0{,}58$. 2. $-E_i(-\chi)=\int\limits_{\chi}^{\infty}\frac{e^{-x}}{x}\,dx$ — интегральная экспоненциальная функция.



Рис. 2.8. Приведение трехлучевого водозабора к «большому колодцу»

1 — водосборный колодец; 2 — лучевые дрены

Вертикальная ось расчетного «большого колодца» помещается в геометрическом центре лучевого дренажа. Эта точка определяется как центр тяжести многоугольника, вершинами которого служат середины лучей (рис. 2.8).

Радиус эквивалентного «большого колодца» для расчета лучевого дренажа с неравномерно расположенными лучами может быть приближенно определен по зависимости

$$r_э = R_0/10^{\alpha}; \quad \alpha = 2{,}73kH_e S_0/Q, \tag{2.35}$$

где R_0 — радиус действия дренажа.

Взаимодействие группы лучевых дренажей (см. схемы рис. 1.24 *б, г, д, з*) учитывается формулами:

$$Q_n = \frac{4\pi kH_e S_0 n}{F/n + \sum_{k=1}^{n} E_i\left(-r_к^2/4at\right)}; \tag{2.36}$$

$$F = N \ln \tau + 1{,}6H_e/l, \tag{2.37}$$

где Q_n — суммарный расход дренажных вод, откачиваемых лучевыми дренажами (с учетом их взаимодействия); n — число лучевых дренажей, $r_к$ — расстояние от лучевого дренажа с номером «к» до дренажа с понижением уровня воды в нем S_0.

В частном случае расположения лучевых дренажей по углам квадрата их взаимодействие может учитываться формулами:

$$Q_4 = 2\pi kH_e S_0/\ln \frac{R_1^4}{11{,}3r_э \sigma^3}; \tag{2.38}$$

$$R_1 = R_л + 1{,}4\sigma; \quad R_л = r_э + 1{,}5\sqrt{at}, \tag{2.39}$$

где $\sigma = 1/2$ расстояния между осями водосборных колодцев лучевых дренажей.

Для двух взаимодействующих лучевых дренажей дебит равен:

$$Q_2 = 2\pi kH_e S_0/\ln \frac{R_c^2}{2\sigma r_э}, \tag{2.40}$$

где $R_c = R_л + \sigma$. (2.41)

Понижение уровня грунтовых вод в зоне действия группы лучевых дренажей за пределами лучей определяется по соответствующим формулам для взаимодействующих вертикальных скважин [35].

Пример расчета лучевого дренажа на промплощадке Баглейского коксохимического завода (см. рис. 1.30). Для этих условий $k=0{,}6$ м/сут; $\mu=0{,}06$; $H_e=15{,}5$ м; $S_0=2$ м; $l_1=29$ м; $l_2=27{,}5$ м; $l_3=42$ м; $l_4=42$ м; $\theta_1=82°$; $\theta_2=52°$; $\theta_3=8°$; $\theta_4=340°$. Расчет ведем для т. 57, расположенной на расстоянии $r=16$ м от оси водосборного колодца, для времени $t=3$ сут.

Вычисляем $H_{ср}=(2H_e-S)/2=14{,}5$ м; $a=(kH_{ср})/\mu=(0{,}6\cdot14{,}5)/0{,}05=145$ м²/сут. По формуле (2.26) имеем $\tau=(at)/H_e^2=(14{,}5\cdot3)/15{,}5^2=1{,}8$; $H_e=(H_e\cdot N)/\Sigma l_j=15{,}5\cdot8/(29+27{,}5+42+42)=0{,}44N=2N_0=8$, где N_0 — фактическое число лучей, расположенных неравномерно по кругу (см. с. 119).

В соответствии с формулой (2.25) имеем

$$Q=\frac{4\pi kS_0H_eN_0}{N\ln\tau+1{,}6\bar{H}_e}=\frac{4\pi0{,}6\cdot2\cdot15{,}5\cdot4}{8\ln1{,}8+1{,}6\cdot0{,}44}=171{,}4\ \text{м}^3/\text{сут}.$$

По формуле (2.29) получим:

$$F_s(\tau)_1=0{,}14E_i\left(-\frac{0{,}14^2+1{,}02^2}{4\cdot1{,}8}\right)+1{,}7E_i\left(-\frac{1{,}7^2+1{,}02^2}{4\cdot1{,}8}\right)+$$

$$+2\frac{29}{15{,}5}-2\cdot1{,}02\left(\operatorname{arctg}\frac{0{,}14}{1{,}02}-\operatorname{arctg}\frac{1{,}7}{1{,}02}\right)=2{,}4.$$

Аналогично рассчитываются величины $F_s(\tau)_2=2{,}97$; $F_s(\tau)_3=7{,}27$; $F_s(\tau)_4=5{,}04$. Затем по формуле (2.28) определяется понижение в т. 57:

$$S_{57}=\frac{Q}{4\pi klN}[F_s(\tau)_1+F_s(\tau)_2+F_s(\tau)_3+F_s(\tau)_4]=$$

$$=\frac{171{,}4\,(2{,}4+2{,}97+7{,}27+5{,}04)}{4\cdot\pi\cdot0{,}6\cdot2\,(29{,}0+27{,}5+42{,}0+42{,}0)}=1{,}43\ \text{м}.$$

Опытные работы, проведенные на данном объекте институтом ВИОГЕМ в 1977 г., показали, что дебит лучевого дренажа составляет 206,3 м³/сут., а понижение в т. 57 около 1 м. Согласно расчетам по другой методике [5, 43], понижение в этой же точке равно 1,22 м. Как видно, сходимость расчетных и фактических величин весьма близкая.

6. Линейные ряды параллельных горизонтальных скважин

Задача гидрогеологического расчета параллельных горизонтальных скважин конечной длины рассматривается для однородного напорного или приведенного к нему безнапорного водоносного пласта ограниченной мощности с боковой прямолинейной границей питания. Такая расчетная схема описывает условия водопонижения или дренажа котлована, карьера или оползневого склона с применением установленных в откосах параллельных дрен. Фильтрационный приток к центральной скважине ряда определяется по формуле п. 12 (см. табл. 2.1). В случае, когда параллельных горизонтальных скважин достаточно много, то есть более некоторого критериального их числа $N_{кр}$, определяемого по табл. 2.3 ($N \geqslant N_{кр}$), формула дебита упрощается.

Таблица 2.3. Критериальное число параллельных горизонтальных скважин $N_{кр}$.

l/T	b/T								
	1	3	5	7	10	15	20	25	50
0,5	8	12	26	30	40	52	70	80	100
1	10	14	30	37	50	60	80	100	130
4	12	16	32	48	60	70	90	115	160
6	16	18	34	55	70	80	100	130	180
10	20	30	40	60	80	100	120	150	220

Понижение уровня подземных вод в точке, расположенной между дренами (т. М), с координатами $x = -(b + l/2)$; $y = \sigma/2$; под действием $2N$ параллельных горизонтальных скважин определяется по формулам:

$$S_M = \frac{Q}{4\pi k l \alpha}\left[(2\eta_\sigma + 1)\ln W_\sigma + 2(\eta_\sigma + 1)\sum_{n=1}^{N}\ln W_{n\sigma}\right], \quad (2.42)$$

где $$W_\sigma = \frac{\left(l + \sqrt{l^2 + \sigma^2 + T^2}\right)\left(4b + \sqrt{16b^2 + \sigma^2 + T^2}\right)}{\sqrt{\sigma^2 + T^2}\left[(2b + l) + \sqrt{(2b + l)^2 + \sigma^2 + T^2}\right]}.$$

$$W_{n\sigma} = \frac{\left[l + \sqrt{l^2 + (n\sigma)^2 + T^2}\right]\left[4b + \sqrt{16b^2 + (n\sigma)^2 + T^2}\right]}{\sqrt{(n\sigma)^2 + T^2}\left[2b + l + \sqrt{(2b + l)^2 + (n\sigma)^2 + T^2}\right]}. \quad (2.43)$$

Коэффициенты α и η_σ определяется по графикам (см. рис. 2.2) при b/σ и l/σ (т. е. вместо T принимается σ).

В случае большого («бесконечного») числа параллельных скважин, то есть $N \geqslant N_{кр}$ (см. табл. 2.3), понижение уровня подземных вод в т. М определяется по формуле

$$S_M = \frac{Q}{4\pi k l \alpha} [2\eta_\sigma (1 + \eta_\sigma) + 2\eta_\sigma + 1] \ln W_\sigma . \qquad (2.44)$$

Для определения высоты высачивания подземных вод на откос в середине расстояния между скважинами можно пользоваться и следующей частной формулой, объединяющей зависимости (2.42) и (2.44):

$$S_M = \frac{S_0 [\eta_\sigma (1 + \eta_\sigma) + \eta_\sigma + 0{,}5] \ln W_\sigma}{\ln V_r + 2\eta_\sigma \ln V_\tau + 2\eta_\sigma (1 + \eta_\sigma) \ln V_\sigma} . \qquad (2.45)$$

В расчете линейного ряда скважин, расположенных в безнапорном пласте, под мощностью пласта T нужно понимать осредненную мощность безнапорного потока $H_{ср}$, приближенно определяемую по уравнению

$$T = H_{ср} = \frac{H(b - 2H - 0{,}5l) + H_0(2H_0 + l)}{b + 0{,}5} . \qquad (2.46)$$

Пример расчета дренажа откосов параллельными горизонтальными скважинами. Карьер расположен в безнапорном водоносном пласте с прямолинейным контуром питания. Откос карьера дренируется системой из 180 горизонтальных скважин, заложенных перпендикулярно контуру карьера на высоте $c = 1{,}5$ м от подошвы пласта. Скважины соединены напорным трубопроводом, откуда вода откачивается насосами. Напор над осью скважин равен 0,5 м.

Исходные данные: $b = 200$ м, $k = 20$ м/сут., $H = 25$ м, $H_0 = 1{,}5 + 0{,}5 = 2$ м, $\sigma = 10$ м, $l = 30$ м, $r_0 = 100$ мм, расчетное число дрен $N = 180/2 = 90$.

По формуле (2.46) осредненная мощность безнапорного потока грунтовых вод $T = H_{ср} = 16$ м. Согласно табл. 2.3 при $b/T = 12{,}5$ и $l/T = 1{,}87$ — $N_{кр} = 57 < N$; при $b/\sigma = 20$ и $l/\sigma = 3$ — $N_{кр} = 87 < N$. Следовательно, расчет можно вести по формулам для бесконечного ряда скважин. При $b/T = 0{,}9$; $l/T = 1{,}87$; $b/\sigma = 20$; $l/\sigma = 3$ по графикам на рис. 2.2 коэффициент $\alpha = 0{,}65$; $\eta_\sigma = 4$; $\eta = 3{,}5$. По формуле (2.13) $V_r = 212$; $V = 2{,}22$. По формуле п. 12 табл. 2.1 $V_\sigma = 3{,}17$.

Фильтрационный приток к каждой из взаимодействующих скважин линейного ряда $Q=0{,}012$ м³/с. Общий расход воды, откачиваемой из всех скважин, равен 2,25 м³/с. По формуле (2.45) $S_м=18{,}3$ м. Следовательно, высота высачивания воды на откос относительно оси горизонтальной скважины (см. схему 12, табл. 2.1): $h_\sigma=H-S_м-c=25-18{,}3-1{,}5=5{,}2$ м.

Таким образом, проектируемая система дренажа способна снизить действующий напор грунтовых вод на 79—94 %.

Дебит линейного ряда подрусловых параллельных горизонтальных скважин может определяться по формуле п. 13 табл. 2.1, где расчетное число скважин $N_0=(N-1)/2$.

Анализ функции $F_{\sigma n}$ показывает, что чем меньше расстояние между горизонтальными скважинами в линейном ряде, тем больше величина фильтрационного сопротивления и соответственно меньше дебит всего водозабора. Причина этого — увеличение взаимовлияния (интерференции) скважин, вследствие чего приток к каждой из них снижается. Например, при одинаковой длине скважин их сближение в 2 раза приводит к увеличению $F_{\sigma n}$ более чем на 30 % (при относительной глубине заложения скважин $h_0/\sigma=2$).

Следует отметить, что в случае близкого расположения скважины к дну водотока (водоема) эффект интерференции резко снижается, и длина скважин начинает играть значительно большую роль, чем при глубоком их заложении. Так, при одинаковой длине скважин и глубине их заложения $h_0/\sigma=0{,}5$ их сближение в 2 раза увеличивает $F_{\sigma n}$ всего на 4 %, а при $h_0/\sigma=0{,}1$ в водоносных пластах большой мощности ($T\geqslant 26$) приводит даже к уменьшению $F_{\sigma n}$.

В случае малого числа скважин при неглубоком их заложении уменьшение $F_{\sigma n}$ с уменьшением длины скважин особенно велико и достигает 70 % (например, при $h_0/\sigma=0{,}1$, $T/\sigma=2$ и $N=2$).

По формуле п. 13 табл. 2.1 определяется только дебит линейного ряда подрусловых горизонтальных параллельных скважин. Предполагается, что соединяющая их горизонтальная водосборная галерея служит лишь коллектором для отвода воды, ее водоприемная функция несоизмеримо мала по сравнению с каптажной способностью горизонтальных скважин (этот недоучет идет в запас рас-

чета производительности водозабора в целом). Однако могут быть случаи, когда учет водоприемной (дренажной) роли водозаборного трубопровода актуален. Так, для получения наибольшего дебита эксплуатацию водозабора целесообразно вести с максимальным понижением уровня воды в водосборном колодце, откуда ведется откачка. В этом случае основную часть подруслового потока воды перехватывает линейный ряд параллельных горизонтальных скважин. При этом галерейная часть водозабора, кроме водосборной и коллекторной, выполняет функцию перехвата части берегового потока подземных вод, текущих к реке или водохранилищу. Для приближенной оценки величины береговой части притока к подрусловому инфильтрационному водозабору можно воспользоваться эмпирической формулой Д. Мукхерджи (ФРГ), основанной на суммировании берегового и речного притоков к водозабору [4]. В соответствии с этой формулой береговой приток (по отношению к суммарному дебиту водозабора) может быть выражен следующим образом:

$$\beta = Q_б/Q = \frac{20S_0^{0,9}}{20S_0^{0,9} + 117k^{0,08}S_0^{0,83}}, \qquad (2.47)$$

где $Q_б$ — часть дебита водозабора, обусловленного береговым притоком к нему подземных вод, м³/ч; S_0 — понижение уровня воды в водосборном колодце, м.

Общий дебит галерейного инфильтрационного водозабора, усиленного горизонтальными параллельными скважинами, с учетом перехвата притока воды от реки и со стороны берега может быть определен по соотношению

$$Q_0 = Q/(1-\beta), \qquad (2.48)$$

где Q определяется по формуле п. 13 табл. 2.1; β — по формуле (2.47).

Пример расчета подруслового водозабора. Для водоснабжения запроектирован инфильтрационный водозабор, состоящий из 12 горизонтальных параллельных скважин длиной по 20 м, диаметром 200 мм, заложенных на глубине 5 м от дна реки. Галерейная часть водозабора служит для перехвата берегового потока подземных вод. Мощность подруслового водоносного пласта 10 м, коэффициент фильтрации 50 м/сут., глубина воды в реке (меженный уровень) — 2 м, понижение уровня воды $S = H - H_0 = 12 - 6 = 6$ м.

Для выбора оптимального варианта расположения горизонтальных скважин, стоимость сооружения которых составляет основную часть капиталовложений в строительство всего водозабора, зададим несколько расстояний между скважинами: 5, 10 и 20 м. Таким образом, исходные данные: $k=50$ м/сут.$=0{,}00058$ м/с; $T=10$ м; $H=10+2=12$ м; $H_0=6$ м; $l=20$ м; $r_0=0{,}1$ м; $h_0=5$ м; $\sigma=5$, 10 и 20 м; $N=12$.

В соответствии с формулой п. 13 табл. 2.1 имеем*:

$$Q=\frac{2\pi\cdot 0{,}00058\cdot 6\cdot 20\cdot 12}{\ln\dfrac{3\cdot 20\cdot 5}{0{,}1\,(10-5)\left(20+\sqrt{20^2+16\cdot 10^2}\right)}+2F_{\sigma n}}=$$

$$=0{,}324\,(0{,}315);\quad 0{,}535\,(0{,}495)\text{ и }0{,}733\,(0{,}630)\ \text{м}^3/\text{с}$$

соответственно при $\sigma=5$; 10 и 20 м $F_{\sigma n}=2$; 12; 0,84 и 0,32.

Как видно, сближение скважин существенно снижает дебит всего линейного ряда скважин, что объясняется увеличением их взаимовлияния (интерференции). По формуле (2.47) получим

$$\beta=\frac{20{,}6^{0.9}}{20{,}6^{0.9}+117\cdot 0{,}00058^{0.08}\cdot 6^{0.83}}=$$

$$=\frac{20{,}5}{20\cdot 5+117\cdot 0{,}55\cdot 4{,}47}=0{,}258.$$

Окончательно суммарная производительность водозабора в соответствии с (2.48) равна:

$Q_0=Q/(1-\beta)=0{,}437\,(0{,}425)$; 0,720 (0,667) и 0,988 (0,835) м³/с.

Оптимальные расстояния между скважинами должны быть выбраны путем проведения гидравлических и технико-экономических расчетов по известной методике [26].

Глава 3. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ДРЕНАЖЕЙ

1. Открытый способ строительства

Линейные горизонтальные и лучевые водозаборы и дренажи с большой длиной водозахватной

* В скобках приведены скорректированные величины Q, полученные с учетом гидравлических потерь напора в скважинах h_w, определенных по формуле (2.23).

части строятся открытым способом с предварительным вскрытием траншей в следующих случаях.

1. При заложении горизонтальных сооружений на глубине, не превышающей 5—8 м (при более глубоком заложении затруднено применение землеройных механизмов и средств водоотлива для защиты от притекающих в траншею подземных вод).

2. На территориях незастроенных, а также свободных от подземных коммуникаций (в стесненных условиях застройки при занятости подземного пространства коммуникациями открытый способ строительства затруднен необходимостью «подвески» или даже перекладки подземных трубопроводов и кабелей).

Вскрытие траншей при строительстве горизонтальных водозаборов и дренажей выполняют многоковшовыми (в том числе роторными) и одноковшовыми экскаваторами с прямой и обратной лопатами. Реже применяются ковши грейферного типа и драглайны, которые более применимы для вскрытия котлов прямоугольной и круглой формы в плане*.

Существенной особенностью строительства водозаборов и дренажей является то, что они, как правило, закладываются в условиях водонасыщенных грунтов. Это значительно усложняет ведение строительных работ и требует обязательного крепления откосов или их значительного уположения даже для тех грунтов, которые в сухом состоянии обрушению не подвержены и в которых откосы могут держаться почти вертикальными.

Почти всегда в таких условиях применяют открытый водоотлив или глубинное водопонижение. Открытый водоотлив, наиболее экономичный и простой способ осушения, применяется для грунтов с коэффициентом фильтрации менее 2—5 м/сут. и при глубине заложения водозабора не более 3—6 м.

Строительство горизонтальных водозаборов и дренажей с использованием открытого водоотлива ведется методом укладки труб и фильтрующего гравийно-песчаного материала на «полке». Этот метод предусматривает предварительное устройство водоотводной пионерной канавы,

---

* Технология и организация землеройных работ по устройству траншей и котлованов для укладки водозахватной и водоотводной части горизонтальных водозаборов и дренажей подробно изложена в нормативно-справочной и научно-технической литературе, например [40], и здесь не освещается.

по которой осуществляется сток воды, фильтрующейся из грунта.

Линейные траншейные выработки ведутся вверх по уклону дрены с таким расчетом, что уклон траншеи оказывается противоположным направлению движения экскаватора. В начале траншеи (вблизи съезда) устраивается водоприемный зумпф для сбора фильтрующейся и стекающей по уклону воды.

При открытом водоотливе в неустойчивых (в частности, плывунных) грунтах иногда приходится осуществлять дренажную пригрузку нижней части откосов и дна траншеи крупнозернистым песком и мелким гравием, что защищает откосы от оплывания и предотвращает суффозионный размыв и вынос мелких частиц грунта. Зумпфы для сбора и откачки воды выполняются в виде прямоугольной или круглой выработки, где в грунт устанавливается отрезок перфорированной трубы длиной 0,5—1,5 м с песчано-гравийной обсыпкой.

При выборе средства защиты траншеи (котлована) от притока подземных вод следует учитывать, что при открытом водоотливе осушение достигается откачкой минимального количества воды, хотя объем земляных работ несколько увеличивается за счет выборки лишнего количества грунта под пионерные водоотводные траншеи, водосборники и зумпфы.

Более надежным, хотя и дорогим способом строительного осушения грунтов является глубинное водопонижение с помощью иглофильтров и водопонизительных скважин. Иглофильтровый способ применяется преимущественно в однородных грунтах с коэффициентом фильтрации 1—50 м/сут. При использовании, например, установок типа ЛИУ достигается понижение уровня подземных вод на глубину 4—5 м от оси насоса. В случае необходимости более глубокого понижения может применяться ярусное водопонижение с использованием 2 (или даже 3) ступеней иглофильтров.

В слабопроницаемых грунтах с коэффициентом фильтрации 0,05—2 м/сут. и низкой водоотдачей для усиления эффекта водопонижения применяется вакуумный способ. При этом в зоне трубчатого фильтра в грунте развивается вакуум (до 5 м вод. ст. и более) с помощью откачки воды из соединяющего фильтры коллектора эжектором.

При глубине понижения уровня подземных вод на 6—7 м используются установки вакуумного водопонижения

типа УВВ при иглофильтрах с песчано-гравийной обсыпкой. В этих установках для создания устойчивого вакуума применяется водовоздушный эжектор, который ведет откачку, главным образом, воздуха, выделяющегося из водовоздушной смеси.

При глубине понижения уровня подземных вод на 10—12 м используются эжекторные иглофильтры, состоящие из двух колонн труб; к наружной подсоединяется водоприемный фильтр, к водоподъемной внутренней — эжектор, представляющий собой насадку и диффузор.

Обычные открытые (соединенные с атмосферой) водопонизительные скважины применяются в виде отдельно стоящих скважин или их групп, в частности, линейных рядов. Водопонизительные скважины более эффективны, чем иглофильтры, в случае больших водопритоков к траншеям (котлованам), а также необходимости понижения уровня подземных вод более чем на 4—5 м. Они экономичнее и удобнее, особенно при необходимости осушения траншей (котлованов) большой протяженности и площади, а также в стесненных условиях плотно застроенных территорий, когда применение иглофильтрового водопонижения иногда затруднительно.

Водопонизительные скважины оборудуются глубинными центробежными насосами, в частности, с погружными электродвигателями, водоподъемными трубами и фильтрами различной конструкции при необходимости с песчано-гравийной обсыпкой.

В условиях небольшой мощности и при неглубоком залегании водоприемной части водозаборов и дренажей открытый способ строительства может применяться без водоотлива и водопонижения методами подводной разработки грунта и укладки элементов сооружения под уровень грунтовых вод. Таким образом, возможно сооружение каменно-щебеночных, стоечно-свайных, ряжевых и других типов горизонтальных водозаборов и дренажей. Открытый способ строительства без водопонижения дает наибольший экономический эффект в гидрогеологических условиях, характеризующихся наличием хорошо проницаемых и достаточно однородных грунтов с большими водопритоками, когда качество укладки слоев песчано-гравийного фильтра не так существенно, как, например, в слабопроницаемых грунтах.

Одним из интересных технических решений, разработанных на стадии рабочих чертежей институтом «Союз-

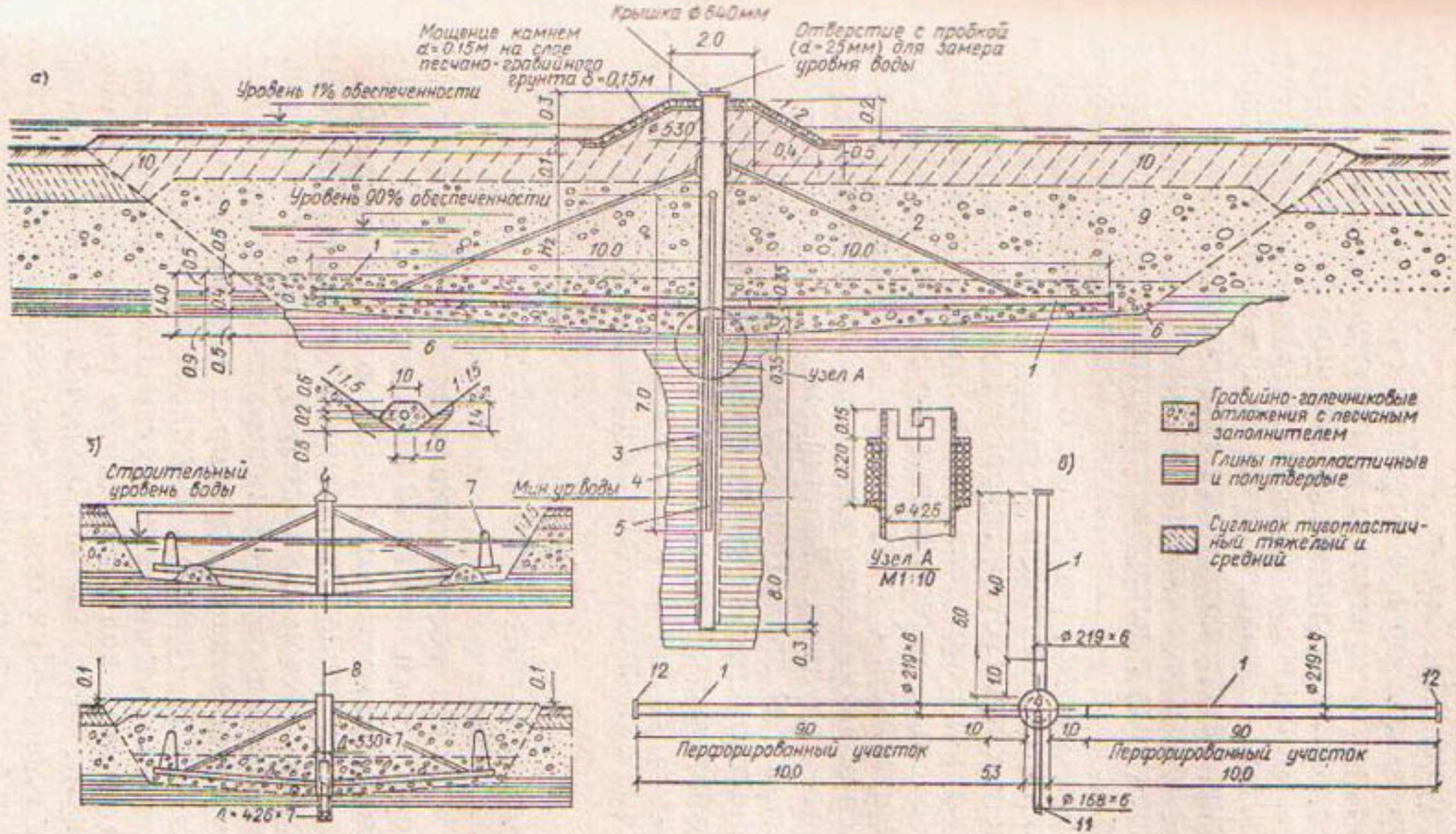


Рис. 3.1. Открытый способ укладки фильтровых труб лучевого инфильтрационного водозабора под воду

а — конструкция лучевого водозабора; б — последовательность строительства; в — блок лучевых фильтров (план): 1 — фильтровая перфорированная труба; 2 — монтажные подкосы; 3 — скважина d=500 мм (бурение без обсадки); 4 — эксплуатационная колонна (водоприемный стакан); 5 — водоподъемная труба d=168 мм; 6 — отсыпка сортированным гравием; 7 — стропа с разметкой; 8 — штанга бурового станка; 9 — обратная засыпка песчано-гравийным грунтом; 10 — обратная засыпка суглинком; 11 — водовод к насосной станции; 12 — заглушка

водоканалпроект» для водоснабжения Батырбайского нефтяного месторождения, является подрусловый лучевой водозабор, строящийся открытым способом прямо под водой (рис. 3.1).

Лучевой водозабор представляет собой собранный на берегу блок, который состоит из горизонтальных трубчатых 2- и 3-лучевых фильтров длиной по 10 и 4 м, диаметром 219 мм и центральной водоподъемной трубы диаметром 530 мм. Согласно проекту производства работ, сначала вскрывается котлован до заданной глубины и выполняется уположение откосов и зачистка его дна. Затем опускают под воду в котлован смонтированный ранее лучевой водозабор и устанавливают его в проектное положение на отсыпанный гравийный банкет (подушки). После выверки и закрепления установки производится засыпка лучевых дрен, отсортированных гравием, размеры фракций которого определяются в зависимости от механического состава естественного грунта и входных отверстий перфорации фильтровых труб. После этого осуществляется обратная засыпка котлована местным песчано-гравийным грунтом. Завершающая операция — это бурение скважины диаметром 500 мм и глубиной 8 м, которое осуществляется через центральную вертикальную трубу водозаборного блока. Затем в скважину опускается водоподъемная труба и насос для откачки воды или оборудование для водоподъема сифонным способом.

2. Устройство водосборных камер

На сооружение водосборных камер лучевых водозаборов и дренажей приходится от 70 до 90 % всей стоимости строительных работ в зависимости от их глубины и диаметра. Водосборные камеры береговых и подрусловых лучевых водозаборов возводятся на предварительно спланированной поверхности земли и, если это нужно, с подсыпкой территории или даже с образованием островков (мысов). Верхние отметки поверхности таких подсыпок должны превышать максимальный расчетный уровень воды в водотоке (например, 1 % обеспеченности) не менее чем на 0,5 м, а также с учетом накатывания волны. При сооружении водозабора водораздельного типа такое же превышение должно быть обеспечено над расчетным уровнем подземных вод.

Опускные колодцы строят из монолитного или сборного железобетона [23, 48 и др.]. В качестве опалубки монолитных конструкций применяют сборно-переставную инвентарную опалубку, тонкостенные железобетонные плиты-оболочки, металлическую либо деревянную стационарную опалубку. При строительстве опускных колодцев из сборного железобетона используют омоноличиваемые на месте вертикальные панели (при большом диаметре колодцев) или горизонтальные кольца высотой 1—2,5 м (при небольшом диаметре колодцев). Установку сборных железобетонных элементов выполняют с помощью помещенных внутри или снаружи колодца кондуктора и подмостей.

Наружную поверхность гидроизолируют до опускания сооружений. Металлическую гидроизоляцию устанавливают внутри колодцев. Торкрет-гидроизоляцию наносят по очищенной и промытой поверхности стены слоями с применением цемента марки не ниже 400 по захваткам полосами шириной 1,5—2 м.

Для облегчения и интенсификации опускания колодцев (кессонов) применяют тиксотропные рубашки, которые представляют собой слой глинистого раствора, разделяющего наружную поверхность колодца и грунт, что значительно снижает боковое сопротивление опусканию сооружения. Тиксотропный глинистый раствор (суспензию) подают в наружную полость, образуемую уступом ножевой части вокруг колодца.

Качество глинистых растворов и самой глины, применяемой для создания тиксотропной рубашки, должно удовлетворять требованиям устойчивости грунтовых стенок вокруг колодца в период его опускания, а также последующего тампонажа полости рубашки.

Эффективным средством, уменьшающим трение опускного колодца о грунт, служит гидравлический или гидропневматический (вода со сжатым воздухом) подмыв грунта. Подача за стены колодца напорной воды и сжатого воздуха уменьшает трение на 20—25 %. Однако этот метод недопустим, если в пределах призмы обрушения имеются постоянные подземные коммуникации и сооружения. Подающие воду или сжатый воздух нагнетательные трубы размещают либо внутри стен колодца, либо на его внутренней поверхности. Длина секций подмывных труб составляет 12—18 м. Напор воды и давление сжатого воздуха, которые подают за стены колодца, должны

быть в 2,5 раза больше гидростатического напора (уровня) подземных вод.

Разработку грунта в опускном колодце ведут насухо или из-под воды с помощью различных землеройных машин, в основном экскаваторов. Наибольшее распространение имеют экскаваторы с грейферными рабочими органами. Тип и емкость грейфера подбирают в зависимости от разрабатываемого грунта. Разрабатывают грунт во избежание перекоса колодца равномерно по всей площади его дна, с оставлением расчетных зон опирания (бермы шириной 1—1,5 м).

В песчаных грунтах большой водопроницаемости, а также при опускании колодцев для подрусловых водозаборов, расположенных в пределах акватории водотока (водоема), разработку грунта чаще всего выполняют из-под воды без водоотлива и водопонижения. В этих случаях уровень воды внутри колодца поддерживается не ниже уровня воды за стенками колодца (или уровня грунтовых вод). Выполнение этого требования предотвращает наплыв грунта из-под ножа колодца, который заглубляется в грунт на 0,5—1 м.

Большое распространение в сильно водонасыщенных грунтах получил метод разработки грунта с применением гидромеханизации. При этом для подъема пульпы используют как гидроэлеваторы (при глубине до 1,5 м), так и землесосы. Размывают грунт гидромониторами. При гидромеханическом способе грунт разрабатывают от приямка под всасывающим органом землесоса или гидроэлеватора, расположенного в середине площади дна колодца, с постепенным перемещением струи гидромонитора к периферии, где у ножа оставляют расчетные опорные зоны. Разработку выполняют слоями по 5—10 см, общая глубина выемки по всей площади дна колодца на каждую посадку не превышает 0,5 м.

Для устройства водосборных камер глубиной до 40 м после специального обоснования применяют кессонный способ погружения, который в ряде случаев оказывается более эффективным и экономически оправданным. Это относится к условиям плывунных и разнозернистых грунтов с включением валунов и других крупнообломочных горных пород. Кессонная камера, расположенная в нижней части колодца, имеет рабочую часть, где производится разработка грунта, шлюзовые аппараты для выравнивания давления, воздухосборники и воздуховоды.

Рабочее давление и объем сжатого воздуха в кессонной камере должны обеспечивать оптимальный режим работы, соответствующий принятому способу разработки грунта. Объем и давление воздуха должны также удовлетворять требованиям техники безопасности, регламентирующим обмен воздуха в опускаемом колодце, и создавать условия, которые не допускают наплыва грунта из-под ножа колодца.

Разрабатывают грунт в кессоне методом гидромеханизации или насухо с применением землеройных механизмов и ручного труда. При этом в любом случае принимаются меры по предотвращению прорывов воздуха из рабочей камеры.

Одним из удачных примеров применения кессонного способа строительства водосборных камер лучевых водозаборов может служить устройство шахтных колодцев лучевых водозаборов в междуречье Храми — Дебеда, построенных для водоснабжения г. Рустави [4]. Железобетонные шахты круглого сечения внутренним диаметром 5,2 и глубиной по 22 м с помощью кессона были пройдены в аллювиальных галечных грунтах (коэффициент фильтрации 190 м/сут.). Использование кессона позволило избежать дорогостоящего и трудноосуществляемого в данных условиях водоотлива и водопонижения. Скорость проходки кессона с ручной разработкой грунта на забое составляла 0,4—1,1 м/сут.

Для интенсификации погружения опускного колодца (кессона) кроме уменьшения сил трения его наружной поверхности о грунт с помощью подмыва или тиксотропной рубашки, применяют также пригрузку самой конструкции колодца или его утяжеление. Оба приема повышают давление ножевой части колодца на грунт и ускоряют проходку ствола. Для осуществления этого мероприятия используют дополнительные грузы, которые устанавливают сверху на опускаемый блок. Находит также применение метод задавливания конструкции в грунт с помощью домкратов. Так, при устройстве лучевого дренажа на промплощадке Обрубного и Сталелитейного цехов завода прессовых узлов была применена задавливающая гидравлическая установка, изготовленная на этом же заводе.

Это устройство было выполнено в виде системы гидравлических домкратов, установленных на упорной балке, которая передвигается на рамках по ригелям опорной

рамы. Установка прикрепляется к грунтовым анкерам, выполненным в виде кустов свай. Задавливающее усилие, создаваемое домкратом, достигает 400 т (4000 кН). С помощью такой установки трестом «Укргидроспецфундаментстрой» было сооружено 2 круглых железобетонных колодца диаметром 3 м, толщиной стенки 200 мм и высотой каждого кольца 2 м. Максимальная проектная глубина колодцев, которые могут быть построены таким способом — 35 м.

После задавливания очередного кольца упорную балку с домкратами откатывали, освобождая место для монтажа следующего кольца и его стыковки с предыдущим. Затем упорная балка снова наезжала на колодец, и задавливание продолжалось. Одновременно с помощью грейфера вынимали грунт из внутренней полости колодца.

Значительный эффект дает применение вибропогружения железобетонных оболочек, которые могут быть выполнены тонкостенными, поскольку необходимость в утяжелении за счет собственного веса отсутствует. Для погружения тонких железобетонных и стальных колец при сооружении мостовых опор, которые набирают из секций высотой 5—8 и диаметром 2—6 м, используют низкочастотные вибраторы. Применение принудительного вибропогружения по сравнению с обычным опускным способом устройства водосборных колодцев уменьшает сроки и стоимость строительства в 2—3 раза.

Сооружение водосборных камер лучевых водозаборов и дренажей методом опускного колодца и кессона имеет ряд недостатков, связанных как с опасностью перекосов, заклинивания и зависания колодцев, так и со сложностью организации землеройных работ в забое. В настоящее время существует ряд методов возведения шахтных стволов, которые предусматривают их устройство сразу на всю заданную глубину.

Наиболее современным, эффективным и достаточно опробированным является метод возведения подземных сооружений с применением «стены в грунте» [23, 37, 45]. Он осуществляется путем вскрытия траншеи, стенки которой удерживает глинистый раствор. Под его защитой в траншее устанавливают арматурные каркасы, заливаемые бетонной смесью. После вибрирования бетона, его схватывания и достижения проектной прочности осуществляется выемка грунта из образовавшейся внутренней полости и бетонирование днища.

Аналогично устраивают шахтный ствол по методу кольцевых траншейных прорезей (применяется Всесоюзным объединением Гидроспецстрой Минэнерго СССР): кольцевая траншея под устройство стены сооружается с помощью станков ударно-канатного или другого вида бурения. Все остальные операции по бетонированию под глинистым раствором, разработке грунта внутри контура стен осуществляют по методу «стена в грунте».

Несколько отличается от предыдущего метод «секущихся свай», также применеиный Гидроспецстроем. Здесь устройство шахты осуществляют путем установки буронабивных свай в два этапа. Вначале с шагом меньшим диаметра скважины возводится кольцевой ряд свай, промежутки между которыми затем перекрываются новыми сваями. В результате образуется глухая водонепроницаемая стенка. Взаимное перекрытие свай составляет около 0,3—0,5 м, что гарантирует прочность и непроницаемость стыка между сваями. Все остальные операции выполняются аналогично.

Метод траншейных буронабивных стенок был успешно опробован при устройстве лучевого дренажа для строительного водопонижения в котловане Киевской ГЭС [4, 41]. Здесь в условиях водообильных крупно- и среднезернистых песчаных отложений р. Днепра с уровнем подземных вод на глубине 2—3 м от поверхности земли была установлена кольцевая круглая буронабивная стенка глубиной 25 м, диаметром 5,5 м и толщиной 0,6 м.

Бурение скважин велось ударным способом с удалением породы из забоя эрлифтом и самовсасывающим насосом и защитой стенок от обрушения глинистым раствором из бентонитовой глины плотностью около 1,1 м/см^3. Затем выполнялось бетонирование траншеи с подачей в нее цементно-песчаного раствора. Прочность бетонной крепи на 80-е сутки достигла 250—320 кг/см^2.

Далее с помощью подъемного крана с бадьями была разработана внутренняя полость шахты и через каждые 2 м по высоте установлены железобетонные кольца жесткости, а также выполнено бетонирование днища. Работы по разработке грунта в шахте велись насухо под защитой уже начавшегося глубинного скважинного водопонижения. Сооружение шахты продолжалось 4 месяца, стоимость возведения 1 м длины ствола составила 690 руб.

Особое место занимает устройство шахтных колодцев малых лучевых водозаборов для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ [18]. В этой области широкое распространение получили станки КШК (копатели шахтных колодцев), рабочий орган которых представляет собой шнекообразное винтовое устройство, позволяющее копать колодцы диаметром 1 м. Одновременно с разработкой грунта и подъемом его на поверхность земли ведется опускание железобетонных секций колодцев высотой 1—1,5 м.

3. Проходка горизонтальных радиальных скважин лучевых водозаборов методом продавливания

При устройстве радиальных систем горизонтальных скважин большинства построенных в СССР и за рубежом лучевых водозаборов и дренажей применен метод продавливания в водоносный пласт рабочей колонны труб [4, 26, 28, 30 и др.]. Осуществляется метод с помощью спаренных гидравлических домкратов, установленных на направляющей раме. Усилия от домкратов передаются продавливаемой трубе через нажимную плиту (балку) и два хомута, зажимающих ее. Продавливание выполняется звеньями труб, установленных между домкратами. Последовательность операций при проходке скважин таким методом следующая (рис. 3.2):

укладка звена продавливаемой трубы в направляющую раму и его прикрепление к торцу ранее задавленного звена;

продавливание уложенного звена в грунт на расстояние, равное длине хода штоков домкратов;

перемещение штоков и хомутов в исходное положение с последующим зажимом продавливаемой трубы хомутами;

смещение продавливаемого звена трубы еще на один ход;

возвращение штоков домкратов и хомутов в исходное положение, укладка нажимного патрубка и зажим патрубка хомутами;

смещение продавливаемого звена трубы на длину хода штоков домкратов; укладка последующего звена продавливаемой трубы в направляющую раму и его прикрепление к торцу предыдущего звена с повторением

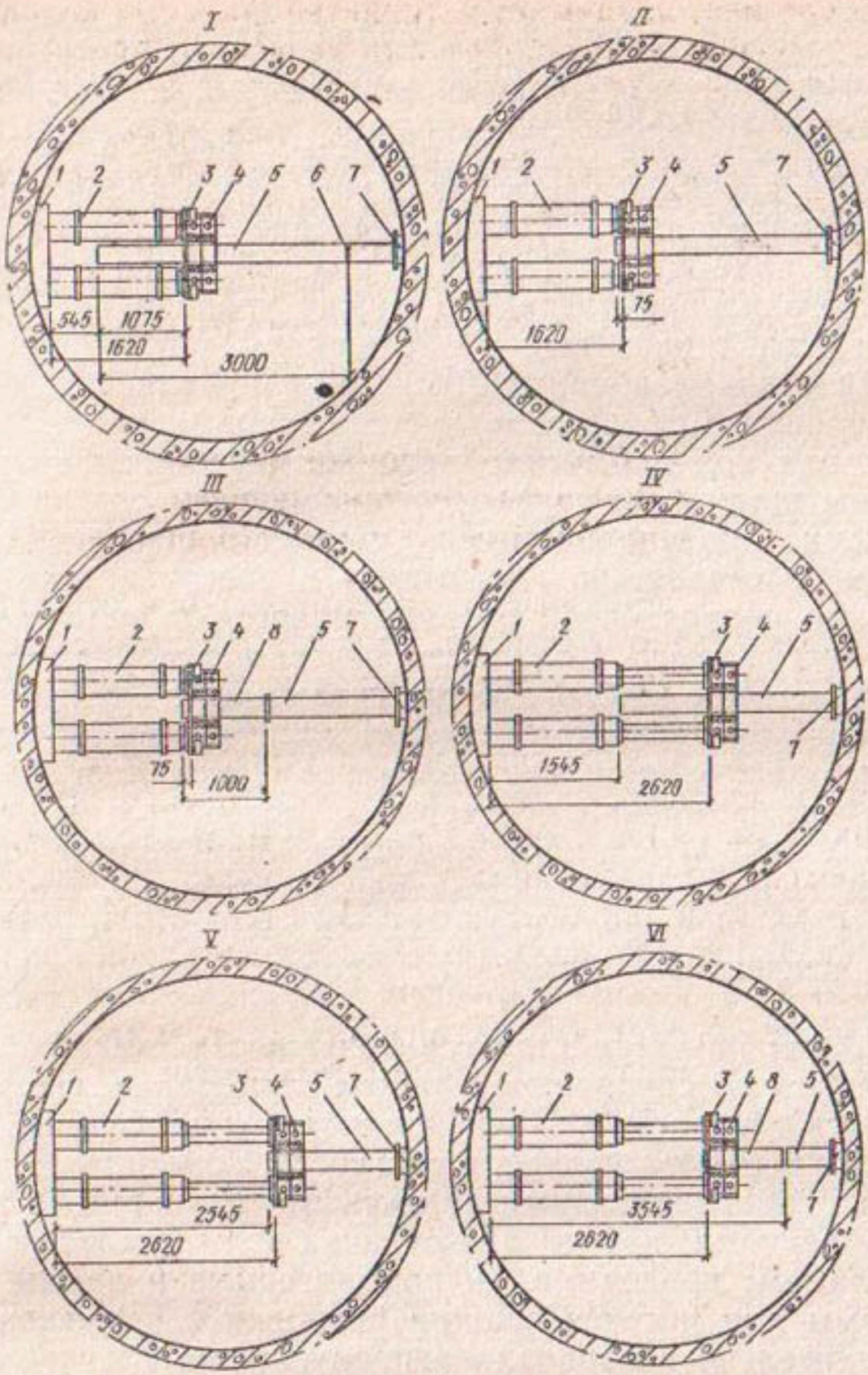


Рис. 3.2. Последовательность рабочих операций при продавливании фильтровых труб в грунт из шахты лучевого водозабора (дренажа)

1 — упорный брус; 2 — домкрат; 3 — нажимная плита; 4 — хомут; 5 — звено продавливаемой трубы; 6 — торец предыдущего из продавливаемых звеньев трубы; 7 — направляющий патрубок (кондуктор); 8 — нажимной вспомогательный патрубок

всех операций. Реакция продавливания передается противоположной стороне шахты посредством деревянного упорного бруса (балки).

В большинстве случаев проходку ведут с выбором грунта в забойной части скважины, что в значительной мере снижает лобовое сопротивление продавливанию. Грунт в виде шлама (пульпы) под действием гидростатического напора (перепада между уровнем грунтовых вод и осью горизонтальной скважины) поступает из пласта в шламозаборные отверстия направляющей буровой головки, которой оборудуется первое звено труб. Далее шлам под действием того же давления по специальным шламовым трубам, установленным соосно с основными продавливаемыми, стекает в шахту. После отстоя он оседает на дно, откуда в процессе проходки скважин периодически разрабатывается и подается на поверхность земли. Количество песчано-гравийной смеси, поступающей с каждого метра скважины, в зависимости от гранулометрического состава грунтов, способа проходки, конструкции направляющей головки и размера ее шламозаборных отверстий, колеблется в пределах 50—600 л/м длины проходки. Чем больше отбирается грунта через направляющую головку, т. е., чем больше по размеру и числу шламозаборные отверстия, тем интенсивнее проходит процесс продавливания труб.

Работы по устройству горизонтальных скважин выполняются со специальной рабочей площадки, где монтируется оборудование, необходимое для продавливания, а также вспомогательное, в частности: домкратная установка с направляющими нажимными и упорными приспособлениями; насосы для откачки воды, поступающей со шламом; приводные, гидромониторные и другие механизмы для интенсификации проходки с применением дополнительно к продавливающему вращательного воздействия на грунт, вращательно-поступательного, ударного, виброударного, вибрационного, гидромониторного и др.; монтажная лестница, грузоподъемное, вентиляционное и другое вспомогательное оборудование.

Рабочая площадка выполняется из металлических или деревянных рамных (балочных) конструкций с настилом, имеющим отверстия для слива в отстойник шлама и откачки из него воды. Рабочая площадка может быть выполнена поворотной, что позволяет вести продав-

ливание без перестановки монтажного оборудования путем поворота площадки от одного луча к другому.

Монтажные работы в шахте выполняют с применением грузоподъемного оборудования, установленного на поверхности земли над оголовком шахты (подъемные краны, лебедки) и средств малой механизации (тали, лебедки, блоки) на рабочей площадке. При большой глубине шахты материалы и оборудование подают по специальному вертикальному монтажному коробу либо устанавливают лифтовое устройство.

Для продавливания труб используют гидравлические реверсивные домкраты (с прямым и обратным ходом штока), создающие усилие от 100 до 500 т на один цилиндр, с ходом от 500 до 1500 мм. При строительстве большинства крупных лучевых водозаборов в СССР применены домкраты марки ГД 170/1150.

Звенья продавливаемых горизонтальных труб соединяют посредством сварки, резьбы или захватов (щеколд). Длина звеньев может колебаться от 1 до 2,5 м.

Проходку горизонтальных скважин выполняют двумя основными способами: продавливанием в грунт самих фильтровых труб или установкой их в предварительно продавленные в грунт обсадные трубы.

Проходку горизонтальных скважин продавливанием в грунт фильтров (рис. 3.3, *а*) применяют преимущественно в разнозернистых песчано-галечных грунтах крупностью $0{,}5 \leqslant D_{60\%} \leqslant 50$ мм и с коэффициентом неоднородности $\eta \geqslant 2$. При этом фильтровые трубы подбираются с учетом их прочности, которая должна быть достаточной для восприятия усилий от домкратов. В связи с этим требованием скважность фильтра должна быть возможно меньшей (не более 20 %). При подборе фильтров достаточной прочности (рис. 3.3, *б*), где малопрочный пористый материал заключен в кольцевом пространстве перфорированных труб, данный метод может применяться и в однородных песчаных грунтах, в том числе мелкозернистых и маловодообильных (пористый материал может быть также многослойным). Эта конструкция напоминает кожуховые фильтры, используемые в обычных вертикальных скважинах.

Проходку горизонтальных скважин с использованием обсадных труб (рис. 3.3, *в*) осуществляют в мелкозернистых песчаных, супесчаных и суглинистых грунтах, а также в случае фильтрационной неоднородности грун-

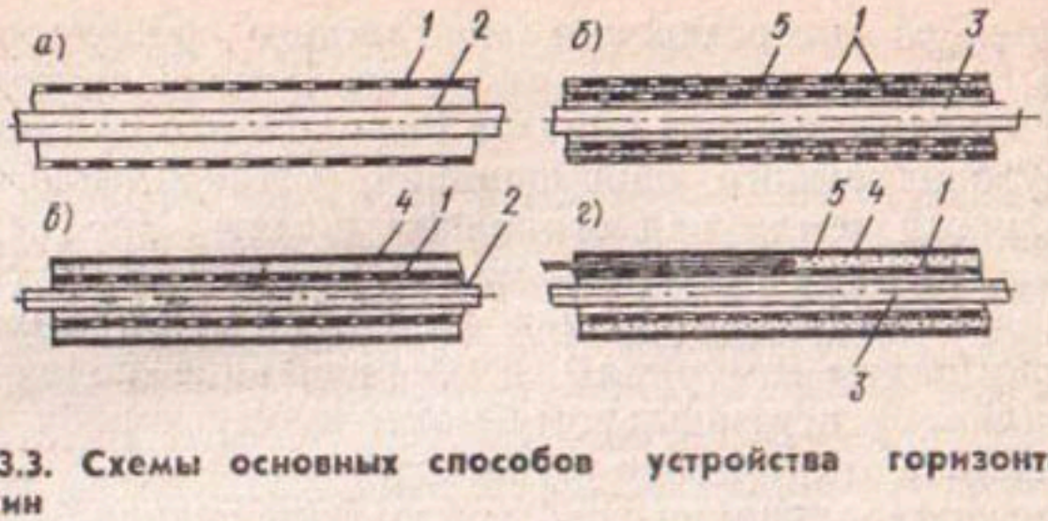


Рис. 3.3. Схемы основных способов устройства горизонтальных скважин

а — продавливание фильтровых труб; б — продавливание фильтровых труб с кольцевым мелкозернистым заполнителем; в — проходка скважин с обсадкой; г — то же, с устройством песчано-гравийного фильтра методом намыва: 1 — фильтровые трубы; 2 — шламовая труба; 3 — гидромониторная труба; 4 — обсадная труба; 5 — песчано-гравийный фильтр (или связный пористый материал)

тов по длине луча. После обсадки скважины и установки фильтров обсадные трубы извлекаются. Этот способ дает возможность в зависимости от состава грунта использовать разнообразные фильтры: тонкостенные стальные, в том числе с противокоррозионным покрытием, пластмассовые, асбестоцементные, гончарные, песчано-гравийные, из пористых материалов и т. д.

Одной из модификаций метода является устройство песчано-гравийного фильтра путем намыва песчано-гравийной массы в кольцевое пространство между обсадной и фильтровой трубами (см. рис. 3.3, *г*). Однако его недостатком является большая сложность работ, связанная с возможным возникновением трудностей по извлечению обсадных труб.

Для отвода грунта от забоя горизонтальной скважины, как уже указывалось, одновременно с фильтровыми и обсадными трубами на период проходки устанавливается шламовая труба, по которой грунт с водой выносится в шахтный колодец, откуда в последующем удаляется.

Уплотнение кольцевого пространства между шламовой и задавливаемой трубами осуществляется с помощью специального сальника (рис. 3.4), состоящего из набора резиновых колец прямоугольного или круглого сечения, расположенных между сжимающими их металлическими фланцами, которые стягиваются болтами. По мере сработки сальника болты подтягиваются, и достигается уплотнение. Возможно использование уп-

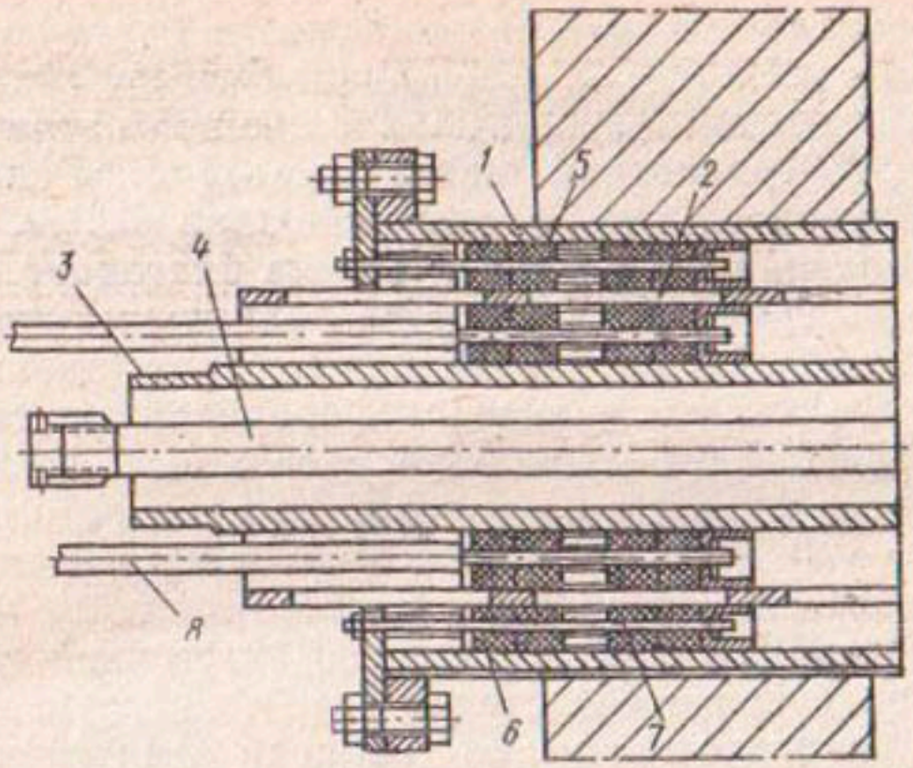


Рис. 3.4. Уплотняющее устройство между фильтровой и шламовой трубами при проходке горизонтальных скважин лучевого водозабора

1 — направляющий патрубок; 2 — фильтровая труба; 3 — шламовая труба; 4 — промывная труба; 5 — уплотняющий сальник между патрубком и фильтровой трубой; 6 — то же, между фильтровой и шламовой трубами; 7 — стягивающие болты; 8 — удерживающие тяги

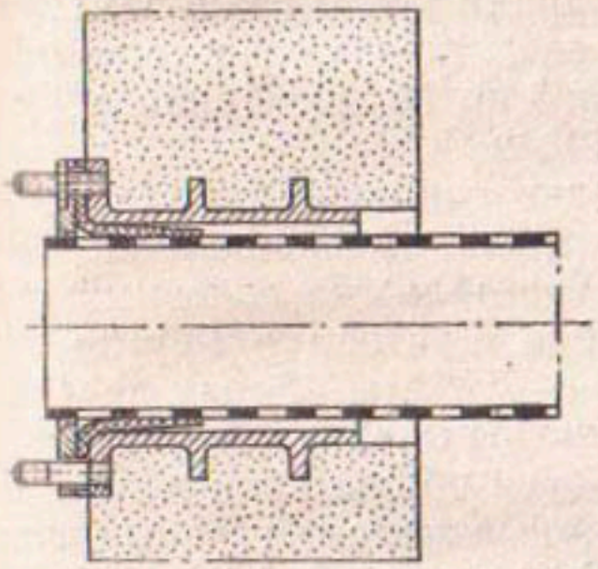


Рис. 3.5. Конструкция уплотнения между продавливаемыми трубами в виде эластичной резиновой манжеты

лотнителя в виде резиновой манжеты («фартука»), которая прижимается к продавливаемым трубам грунтом и гидростатическим напором грунтовой воды, а также вследствие эластичности самого материала — высококачественной резины (рис. 3.5). Однако такая конструкция работает только в одном направлении (в сторону продавливаемых труб) и поэтому применяется при использовании метода продавливания без обсадных труб, когда уплотняющий сальник вытягивается лишь по направлению продавливания.

В начале проходки скважин снимают заглушку со встроенного в стенку шахты направляющего патрубка,

вставляют в него направляющую буровую головку с первым звеном труб и под давлением протыкают лист железа, которым закрыт направляющий патрубок снаружи.

Американский метод (метод Л. Реннея) проходки горизонтальных лучевых скважин без их обсадки получил широкое распространение благодаря своей простоте и доступности. Устройство радиальных дрен осуществляется путем продавливания в грунт звеньев фильтров, выполненных в виде перфорированных труб диаметром 100—500 мм с толщиной стенки от 5 до 20 мм. Скважность фильтров из условия их прочности ограничивается 15—20 %. Перфорация труб принимается круглой или щелевой. Последнюю лучше выполнять методом фрезерования (менее желательно автогенной или другой резкой с зачисткой стенок труб), круглую — сверлением. Для предотвращения забивки фильтровых отверстий мелкими частицами грунта им придается конусность с расширением внутрь трубы. Минимальная ширина прорезей при щелевой перфорации и минимальный диаметр отверстий при круглой перфорации кроме гранулометрического состава грунтов определяется также толщиной стенки трубы и колеблется от 3 до 10 мм. Длина прорезей обычно составляет 30—150 мм.

Примером удачной проходки горизонтальных скважин лучевых водозаборов методом продавливания без обсадки трубами является строительство головных водозаборных сооружений города Рустави в Грузии [4]. Здесь, в междуречье Храми — Дебеда, вблизи деревни Диди Муганло, по проекту института «Грузгипроводхоз» построено 7 лучевых водозаборов общей производительностью 1,8 м³/с воды. Водосборные железобетонные шахты внутренним диаметром 5,2 м и глубиной 22 м оборудованы 7—10 горизонтальными лучевыми дренами каждая, диаметр лучевых скважин — 200 мм.

Лучевые водозаборы заложены в аллювиальных галечниковых грунтах, коэффициент фильтрации которых согласно изысканиям составляет ориентировочно 190 м/сут. Гранулометрический состав грунтов характеризуется крупностью фракций $D_{10\%}$ =0,25—2,5 мм и $D_{60\%}$ = =20—50 мм, фракций крупностью более 100 мм содержится 10—17 %.

Строительство лучевых водозаборов осуществлено Спецуправлением № 571 Мостотреста Министерства транспортного строительства СССР. Первый водозабор,

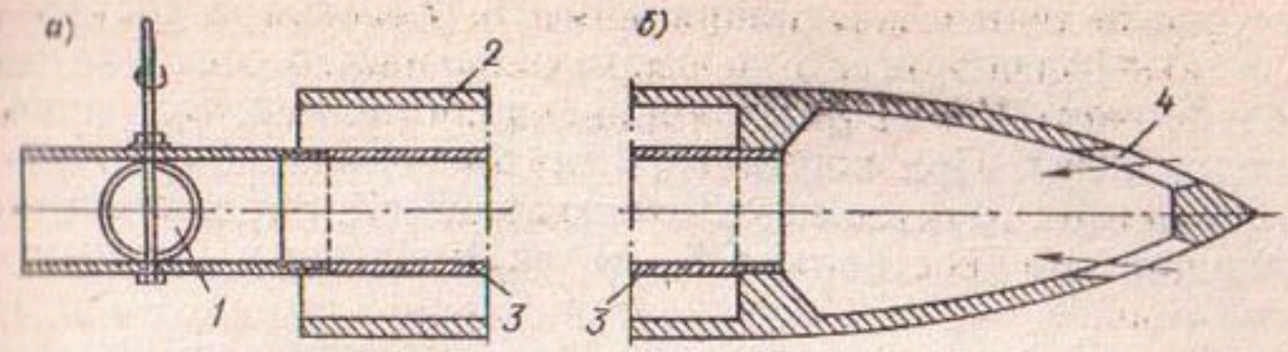


Рис. 3.6. Тарельчатый затвор

а — запорное устройство в торце шламовой трубы (в шахте); б — буровая головка с тремя шламозаборными отверстиями: 1 — тарельчатый затвор; 2 — фильтровая труба; 3 — шламовая труба; 4 — шламозаборные отверстия

расположенный на левом берегу р. Храми, был построен еще в 1965 г. При его сооружении было пройдено 5 лучевых горизонтальных скважин общей длиной 84,2 м. Максимальная длина проходки составила 21,5, минимальная — 7,2 м. На двух лучевых направлениях продавить трубы не удалось, так как на первых же метрах проходки они были повреждены и заглушены. Пришлось дополнительно устроить три луча через резервные гнезда второго яруса общей длиной 49,2 м (13,5; 20,5; 15,2). Общая длина 5 лучей водозабора составила 133,4 м.

При проходке лучевых дрен второго водозабора за три с половиной месяца было продавлено 7 лучевых фильтров общей длиной 142,5 м, т. е. проходку удалось осуществить в два с лишним раза быстрее, чем на первом водозаборе. Ускорение производства работ объясняется дальнейшим усовершенствованием конструкций буровых головок, запорных, сальниковых и других устройств, улучшением технологии работ, возросшим опытом строителей. Хороший результат дало применение буровой головки с затвором-шибером, установленным на шламовой трубе в шахте водозабора. (рис. 3.6). Отсутствие запорного устройства в самой буровой головке позволило увеличить пропускную способность ее внутренней полости, в связи с чем выход шлама резко возрос. Кроме того, упростилось наращивание лучевых фильтров. Однако при встрече луча с глинистыми прослоями такое устройство выходило из строя, буровая головка закупоривалась грунтом и ее приходилось очищать трудоемким способом. В этом случае целесообразно использовать гидромониторную трубу с затвором-клапаном, позволяющую легко очищать внутреннюю полость буровой головки. Длина

проходки лучевых скважин второго водозабора составила 10—40 м. Бригада по проходке скважин состояла из 4 рабочих IV—VI разр. (бригадир, сварщик, моторист, подсобный). При нормальной организации работ и благоприятных грунтовых условиях производительность продавливания составляла 5,5 м за 10-часовую рабочую смену.

Третий лучевой водозабор был сооружен на правом берегу р. Храми. За 2 месяца выполнена проходка 8 лучевых скважин (7 в нижнем ярусе). Лишь в одном случае произошел резкий изгиб направления проходки скважины вверх, и лучевая скважина примерно в 30 м от водосборной шахты вышла на поверхность земли под углом 50° к горизонтали. Авария была ликвидирована обратным извлечением труб и бетонированием головной части луча. После этого были завершены и работы по проходке лучевых горизонтальных скважин четвертого водозабора, с окончанием которых завершено строительство первой очереди головных сооружений водопровода Храми — Рустави. На этом водозаборе все лучевые дрены удалось проложить в первом ярусе.

При сооружении четвертого лучевого водозабора была достигнута самая большая для таких условий длина проходки — 48 м. Стоимость семи лучевых водозаборов составила около 2 млн. руб. (1,9 млн. руб. строительные работы; 25,9 тыс. руб. — монтажные работы; 120,3 тыс. руб. — стоимость оборудования).

Опыт строительства лучевых водозаборов в Грузинской ССР показывает, что устройство этих сооружений в крупнозернистых водообильных грунтах (даже с включениями валунов) методом Реннея может быть вполне успешным. Аналогичным способом построены почти все крупные отечественные лучевые водозаборы (в том числе, например, в Уфе). Однако, несмотря на простоту и надежность, американский метод проходки горизонтальных скважин не позволяет с максимальной точностью учитывать особенности геолого-литологических условий в створе каждого луча, что наиболее важно в случае повсеместно рапространенной плановой неоднородности грунтов. Кроме того, этот метод неприменим в мелкозернистых грунтах с малой степенью неоднородности. В таких условиях вокруг фильтровых труб при прокачке водозабора не образуется достаточно качественный естественный песчано-гравийный обратный фильтр.

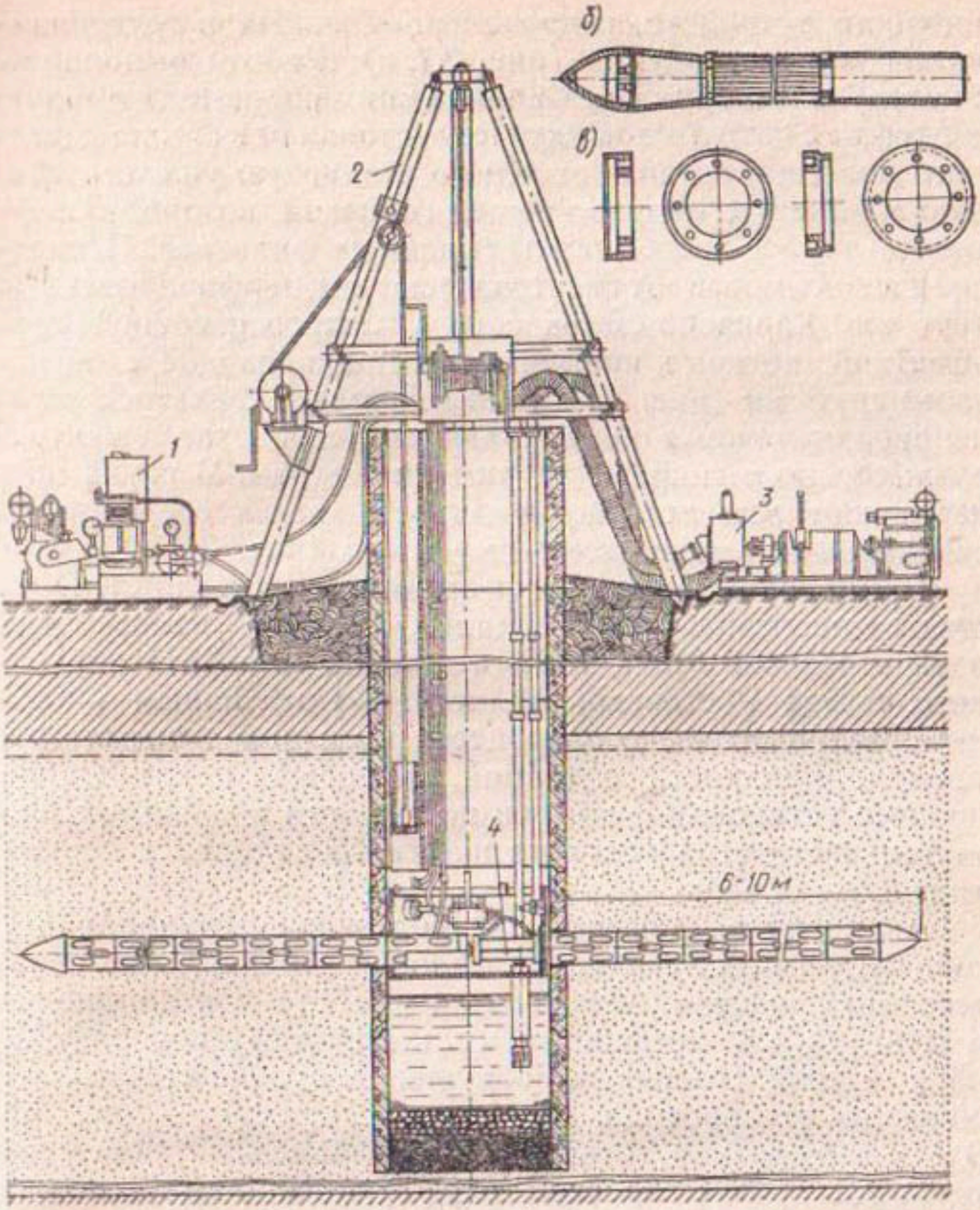


Рис. 3.7. Комплект механизмов для продавливания трубофильтров малых лучевых водозаборов

а — общий вид установки; б — направляющая головка при проходке с обсадными трубами и каркасно-стержневой фильтр; в — захваты-муфты: 1 — гидровентиляционная установка; 2 — грузоподъемное устройство; 3 — водоподъемник; 4 — гидравлический домкрат

Институтом «ЮжНИИГИМ» (Н. Я. Жуков, Ю. Г. Еременко) разработана инвентарная установка для прокладки трубчатых фильтров малых лучевых водозаборов методом продавливания [18]. Комплекс механизмов состоит из гидравлического домкрата, направляющего и

опорного устройств, гидровентиляционных и грузоподъемных приспособлений (рис. 3.7, *а*). Работа выполняется следующим образом. Сначала снимают металлическую заглушку с патрубка-кондуктора, стоящего в стенке шахтного колодца, вставляют в него резиновую уплотнительную манжету с направляющей головкой, которой оборудовано первое звено прокладываемых фильтров. Последние в зависимости от грунтов имеют вид перфорированных труб или каркасно-стержневых фильтров с проволочной обмоткой, которые применяются при проходке с обсадными трубами (рис. 3.7, б). Затем звенья фильтров устанавливают точно в направляющем устройстве и центрируют соосно с гидравлическим цилиндром. В грунт продавливают всю колонну фильтров, звенья соединяются специальными захватами — муфтами (рис. 3.7, *в*).

Применение указанных механизмов осуществлено на опытно-производственных малых лучевых водозаборах в зерносовхозе Манычский и колхозе им. XXII партийного съезда Ростовской области. По отдельным операциям технологического процесса проведен хронометраж продолжительности операций, который показал, что процесс установки фильтров по времени меньше продолжительности строительства шахтного колодца и составляет 2,5—3 смены.

Аналогичная домкратная установка для прокладки горизонтальных лучевых фильтров из вертикальных скважин без участия человека разработана и применена в Венгрии для устройства малых лучевых водозаборов на р. Дунай (головные сооружения будапештского городского водопровода на острове Маргет) — рис. 3.8. Здесь домкратная установка с барабаном — «пакетом» трубофильтров с щелевой перфорацией автоматически прокладывала в водоносный горизонт лучевые фильтры длиной до 30 м.

Швейцарский метод (метод. Г. Фельмана) применяется в самых разнообразных грунтах. В частности, в мелкозернистых и однородных грунтах с крупностью фракций грунта $D_{60\%}<0{,}05$ мм и коэффициентом неоднородности $\eta<2$. По этому методу в такой же последовательности, как и по американскому, вначале осуществляется продавливание обсадных труб (преимущественно на резьбе). Затем после извлечения из них шламовых, гидромониторных и других труб, устанавливают колонны трубчатых фильтров, которые подбирают так же как для

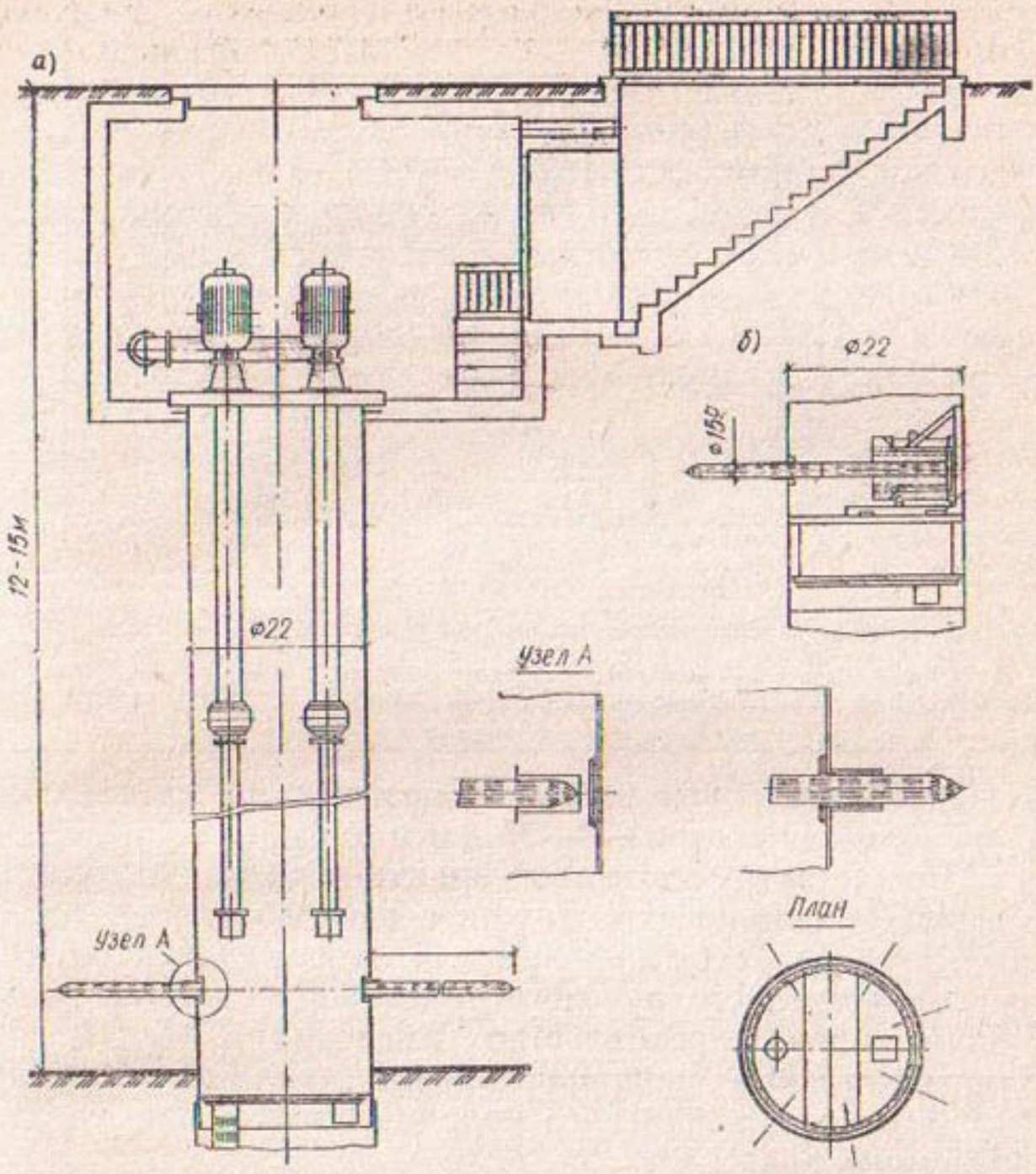


Рис. 3.8. Конструкция малого лучевого водозабора в Венгрии

а — конструкция лучевого водозабора; б — домкратная установка

горизонтальных водозаборов (дренажа) и вертикальных скважин (см. гл. I). При этом по длине луча могут быть установлены трубчатые фильтры, имеющие разные водоприемные и водозахватные характеристики, учитывающие изменение грунтовых условий по длине проходки лучевых скважин. После установки фильтровых труб, соединяемых на резьбе, сварке или муфтах, извлекают обсадные трубы (в дальнейшем они могут быть повторно использованы для проходки других лучевых скважин и водозаборов). Подобно фильтровым трубам в американском методе, обсадные трубы воспринимают значи-

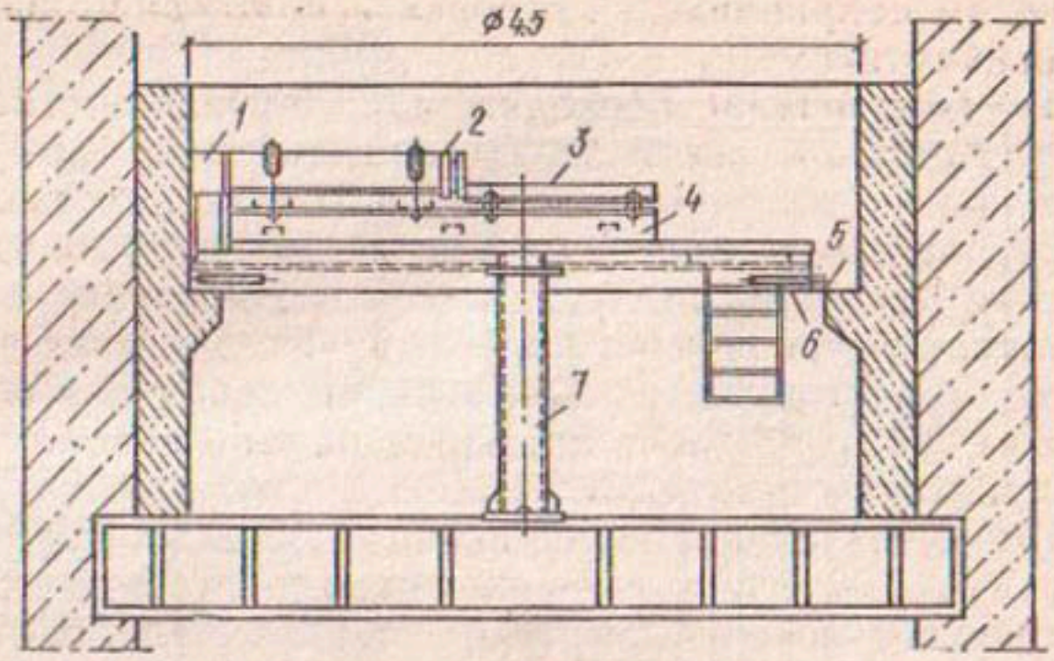


Рис. 3.9. Рабочая поворотная площадка лучевого водозабора

1 — опорный брус; 2 — домкрат; 3 — рама домкрата; 4 — опорная рама; 5 — направляющая; 6 — опорный каток; 7 — опорная пята

тельные фильтровые нагрузки, поэтому они имеют большую толщину стенок —8—15 мм и диаметр 150—450 мм.

Примером отечественной практики проходки горизонтальных радиальных скважин с использованием обсадных труб является прокладка 4 лучевых дрен опытно-производственного лучевого водозабора системы водопонижения на строительстве Киевской ГЭС [4, 41]. Горизонтальные скважины закладывали на глубине 11,5 м от верха шахтного колодца, на 5 м под уровень подземных вод.

Проходку вели в средне- и крупнозернистых однородных песках, составляющих аллювиальные отложения мощностью около 20 м. Вначале в грунт были продавлены обсадные трубы диаметром 219 мм с толщиной стенок 9 мм. Продавливание осуществляли двумя спаренными гидравлическими домкратами марки ГД 170/1150, установленными на поворотной рабочей площадке (рис. 3.9). Колонну обсадных труб набирали из отрезков труб длиной по 2 м, которые соединяли электросваркой. При извлечении обсадных труб их разрезали автогенной резкой, после чего концы отрезков труб зачищали и торцевали на токарном станке. Отвод шлама, поступавшего в шламозаборные отверстия направляющей буровой головки, осуществляли по колонне шламовых труб. Для интенсификации проходки гидроподмывом и управления

затвором направляющей головки использовали гидромониторную трубу.

В самом начале проходки для пробивки отверстия в буробетонной крепи шахты домкратами развивали давление до 10 т. На последующих стадиях проходки усилия продавливания возросли до 18—30 т, иногда достигали 45 т. При интенсивном размыве грунта в забое скважины и увеличении выноса шлама давление снижали до 20 т. С каждого метра длины скважины выносилось около 0,4 м³ песка при консистенции пульпы $^1/_6$—$^1/_2$ и ее расходе в среднем 4 л/с.

По завершении продавливания обсадных труб и извлечения колонн шламовых и гидромониторных труб во внутреннюю полость скважин устанавливали трубчатые фильтры с каркасом из стальных перфорированных патрубков диаметром 114 мм с щелями шириной 3 мм и длиной 100 мм. Трубчатые каркасы были обмотаны латунной проволочной сеткой галунного сечения. На одной из скважин была использована двухслойная обмотка винипластовой сеткой с ячейками внутреннего слоя 2,8 мм и внешнего — 1 мм.

Всего было оборудовано 4 лучевых скважины длиной 29,6; 9,6; 9,7 и 39,3 м. Длина обсадных труб при этом составляла соответственно 30,2; 9,9; 10,1; 39,7 м, а извлеченных труб 23,7; 9,4; 9,5; 38,3 м.

На устройство всех скважин бригадой из 4 человек было затрачено 4 месяца, скорость продавливания составляла 3,8 м в смену, скорость извлечения обсадных труб 2,1 м/ч. Стоимость проходки определена в размере 45 руб. на каждый метр длины.

Существуют различные модификации метода продавливания, разработанные в основном за рубежом, которые отличаются одна от другой как технологией проходки, так и применяемым оборудованием.

Западногерманский метод проходки горизонтальных скважин (метод фирмы «Пройсаг») является модифицированным методом Фельмана и отличается от него тем, что песчано-гравийный фильтр намывается гидромеханическим способом (см. рис. 3.3, *г*). Так, лучевые водозаборы городского водопровода Западного Берлина построены указанным методом путем продавливания в водоносный пласт обсадных труб диаметром 368 мм с толщиной стенки 9 мм и фильтровых труб диаметром 190 мм с толщиной стенки 4 мм и просечно-вытяжной перфора-

цией при скважности 25 %. Кольцевое пространство между трубами было заполнено гравийной массой толщиной 8,5 мм. Размер фракций гравийного фильтра составлял 2—4 мм, водоносный пласт представлен песчаными грунтами с $D_{55\%}$ =0,6 мм.

Метод предварительного или одновременного продавливания в водоносный пласт толстостенных обсадных труб разработан и применен в США Р. Небольсиным. Он имеет несколько вариантов и по технологии продавливания напоминает методы Рэннея и Фельмана. Аналогичный метод применен Г. Фалли в Австрии. Здесь в качестве направляющей буровой головки используют толстостенный стальной наконечник — нож диаметром 130 мм и фильтровые трубы скважностью 15—20 % и прорезями размером 5×40 мм.

В Венгрии применяют видоизмененный метод Рэннея, усиленный гидроподмывом. Основная часть лучевых водозаборов, построенная этим методом, находится в долине р. Дунай. Известен случай, когда для устранения скопления валунов перед направляющей головкой продавливаемых труб с поверхности земли была пробурена вертикальная скважина диаметром 219 мм, разрушившая в грунте уплотненную линзу.

В ГДР применяемый метод Рэннея изменен тем, что шламовая труба не соединена с направляющей головкой, а установлена в фильтровой трубе на роликах. Это позволяет перемещать ее в продольном направлении и тем самым регулировать поступление шлама. В грунт продавливают фильтровые трубы, сделанные из особой стали, которая не подвержена коррозии. Для обеспечения лучшего выноса мелких фракций грунта и образования естественного песчано-гравийного фильтра вокруг скважины в буровую головку периодически подают сжатый воздух под давлением 6—7 ати, что значительно интенсифицирует проходку.

4. Интенсификация проходки горизонтальных скважин лучевых водозаборов и дренажей

Метод продавливания является наиболее простым и не предусматривает использования специального оборудования (кроме домкратов). Однако в ряде условий он не обеспечивает достаточно интенсивную

и точную прокладку горизонтальных фильтров лучевых водозаборов и дренажей. Для интенсификации проходки скважин, разрушения плотных и крупных включений грунта перед направляющей головкой, поддержания большей точности прокладки труб, лучшего формирования естественного песчано-гравийного обратного фильтра, исключения засорения внутренней полости шламовых, фильтровых труб и направляющей головки применяются следующие способы:

гидроподмыв струей напорной воды, которая подается от высоконапорного насоса по установленной внутри колонны шламовых труб гидромониторной трубе;

подача сжатого воздуха от компрессора, что вместе с водой обеспечивает более интенсивное разрушение грунта перед направляющей буровой головкой и вынос шлама;

виброударное, вибрационное или ударное воздействие на колонну прокладываемых труб, действующее отдельно или совместно с их продавливанием в грунт;

вращение колонны прокладываемых в грунт труб или только направляющей буровой головки, что обеспечивает интенсификацию проходки и поддержание горизонтальности направления прокладки труб. Эти способы могут применяться не только в качестве дополняющих мероприятий, но и выполнять основную функцию, когда продавливание является лишь вспомогательным средством, а то и вообще отсутствует. Возможно также комплексирование этих мероприятий, при котором они могут сочетаться или даже использоваться все вместе, в том числе с продавливанием.

Гидромеханический способ проходки горизонтальных скважин основан на образовании в грунте перед направляющей головкой каверны или разуплотненной зоны, что снимает лобовое давление движению прокладываемых труб. Кроме этого, обтекая колонну труб по их наружной поверхности, стекающая к шахтному колодцу вода создает водяную «рубашку», которая выполняет роль смазки и существенно снижает боковое сопротивление трения труб о грунт.

В этом способе применяются направляющие буровые головки, работающие на принципе гидроподмыва и использования тяговой реактивной силы водяной струи, направленной в сторону, противоположную движению прокладываемых труб.

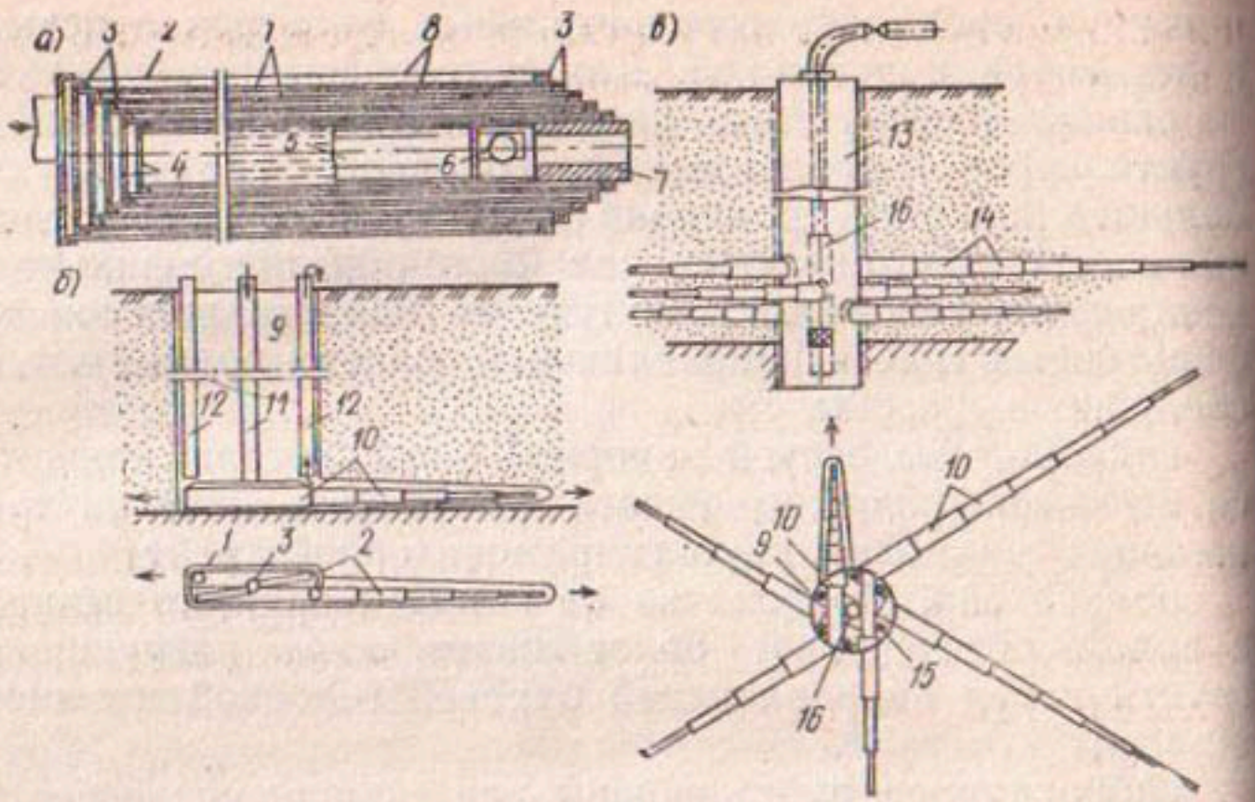


Рис. 3.10. Телескопический фильтр для гидромеханической прокладки в грунте

а — конструкция; б — схема сооружения линейной дрены с двумя телескопическими фильтрами; в — лучевой водозабор с телескопическими фильтрами: 1 — выдвижные секции; 2 — корпус; 3 — центрирующее кольцо; 4 — диафрагмы; 5 — эластичная подкладка с прорезями; 6 — клапан; 7 — насадка; 8 — ограничители выдвижения; 9 — секция траншеи, из которой ведется проходка; 10 — телескопические фильтры; 11 — труба для подачи рабочей воды и откачки подземной воды; 12 — пульпоотводящие трубы; 13 — корпус колодца в скважине; 14 — телескопические фильтры; 15 — трубы для подачи рабочей воды; 16 — насос

М. Ф. Хасиным предложена конструкция раздвижных телескопических трубчатых фильтров (рис. 3.10, *а*), которые погружаются в грунт гидромеханическим способом. Разработанная, изготовленная и испытанная институтом «Гидроспецпроект» Минэнерго СССР [47] установка состоит из комплекта перфорированных труб разного диаметра, вложенных одна в другую. Работа устройства обеспечивается действием напора подаваемой насосом воды, которая давит на кольцевые диафрагмы, установленные в торце каждой трубы и на гидронасадку с клапаном, завершающую передний конец внутренней трубы. Струя воды бьет из сопла гидронасадки, размывает грунт и возвращается обратно с наружной стороны колонны прокладываемых труб.

Внутренняя перфорированная поверхность фильтровых труб экранируется эластичной тканевой или пленочной прокладкой с прорезями, которая при гидропогруже-

нии давлением воды прижимается к отверстиям перфорации и закрывает их, предотвращая потери воды. После завершения работ по прокладке труб в процессе откачки поступающая из водоносного пласта вода отжимает экранирующую подкладку от внутренней поверхности перфорированных труб и через прорези в подкладке попадает во внутреннюю полость фильтров.

Во избежание отклонения прокладываемых труб от заданного направления при появлении недопустимо большого люфта труб относительно друг друга на их внутренней поверхности на расстоянии 10—15 см от их переднего конца устанавливаются ограничители выдвижения. Это позволяет обеспечивать большую продольную устойчивость колонны труб и точнее выдерживать направление их прокладки.

Испытание установки осуществлено на опытном образце с начальным диаметром телескопического фильтра 120 мм и семью выдвижными патрубками диаметром 100, 90, 80, 70, 60, 50 и 40 мм, длиной секции 1,5 м. Фильтры из алюминиевых труб с толщиной стенки 1,5—2 мм имели фрезерованную перфорацию с шириной щели 0,5—0,6 мм. Гидронасадка имела сопло диаметром 20 мм.

При давлении подаваемой от насоса воды 0,3—0,4 МПа и расходе ее 50 м³/ч развивалось тяговое усилие 300 Н. Это обеспечило погружение телескопического фильтра в песчаный откос на глубину 9,5 м за 3 мин. Скорость погружения составила 3,5 м/мин. Представляется возможным при тех же тяговых усилиях погружать в песчаные грунты телескопические фильтры длиной 20—30 м, составляя их из секций труб длиной по 2—3 м.

Технология устройства лучевого водозабора гидромеханическим способом из обычной буровой вертикальной скважины диаметром 1—1,5 м следующая (рис. 3.10, *б*): в нее опускают комплект сложенных телескопических фильтров с водоподающей гидромониторной трубой. Фильтры устанавливают попарно в несколько ярусов и одновременно раздвигают в двух противоположных направлениях. Гидромониторная труба снабжена золотником, позволяющим выполнять операции гидропогружения в определенной последовательности.

Прокладка телескопических фильтров осуществляется через специальные окна в стенках вертикальной скважины и через эти же окна поступает в скважину шлам,

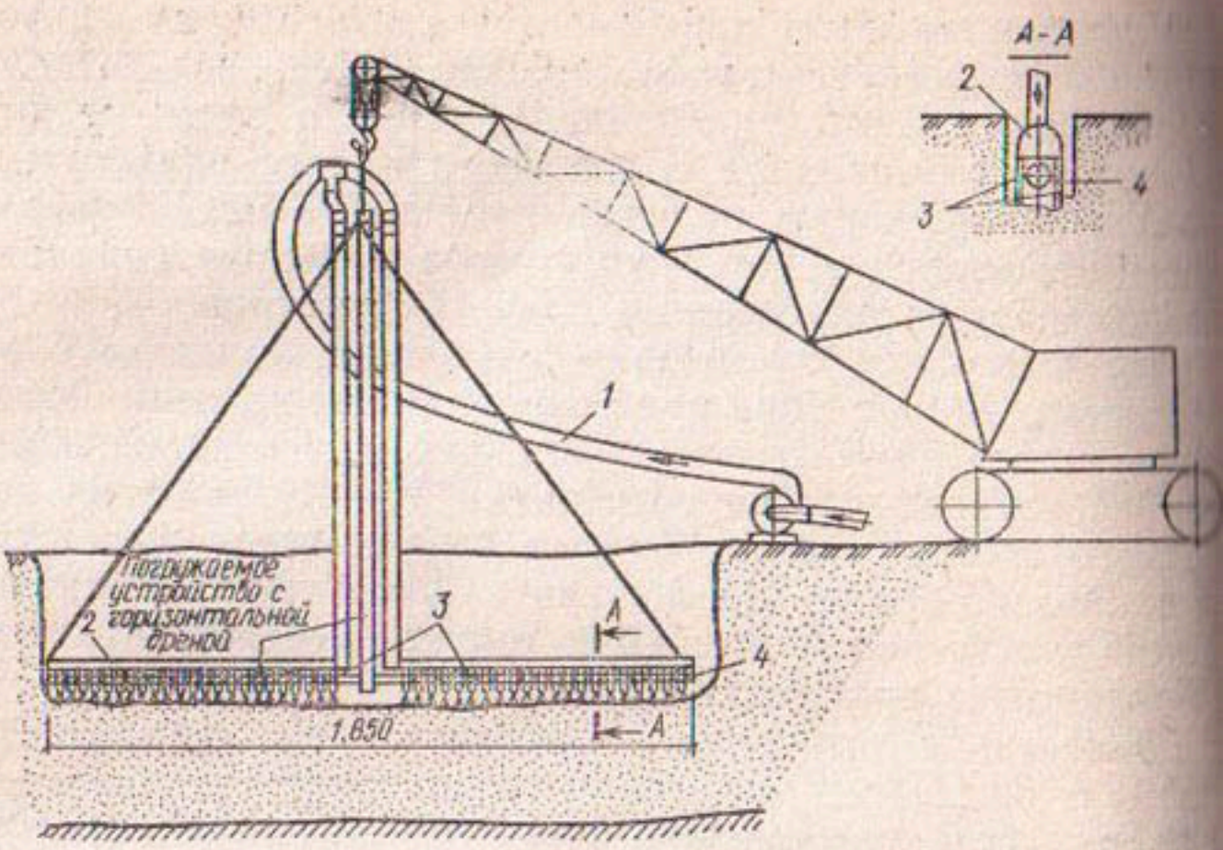


Рис. 3.11. Гидропогруженне горизонтального трубчатого фильтра

1 — водоподающие трубы; 2 — распределительная камера; 3 — конические насадки для гидроразмыва грунта; 4 — трубчатый фильтр (остается в грунте)

который откачивается эрлифтной или гидроэлеваторной установкой. После прокладки лучевых фильтров из скважины удаляют водоподающие трубы и устанавливают эксплуатационный рабочий насос для откачки воды.

Погружением телескопических фильтров управляют с поверхности земли, что позволяет полностью автоматизировать работы по устройству лучевого водозабора. Возможно также устройство лучевого водозабора из шахтного колодца (скважины) малого диаметра (рис. 3.10, *в*).

Другой гидромеханический способ установки горизонтальных фильтров в песчаном грунте применен также в опытном порядке при водопонизительных работах в строительном котловане Киевской ГЭС (рис. 3.11). Горизонтальную дрену погружали в грунт с помощью иглофильтрового устройства, представляющего собой гидромониторную распределительную камеру с соплами — насадками [4]. Вода под напором подавалась от насоса 6НДв с расходом 300 м^3/ч.

При размыве грунта и образовании своеобразной водяной стенки из поднимающихся вверх струй воды гори-

зонтальная дрена опускается под собственным весом вниз и устанавливается на нужном уровне. Затем иглофильтровое устройство поднимают вверх, а водоподъемную трубу оборудуют насосом для откачки воды. В качестве вспомогательного мероприятия гидроподмыв используют и в комплексном методе бестраншейной прокладки горизонтальных дрен, где применяют домкратные и виброударные средства.

На Каунасском распределительном холодильнике прокладка горизонтальных труб для дренажа и обогрева грунтов основания цехов осуществлена в 1985 г. с целью ликвидации деформаций фундаментов здания. Дренаж закладывали на глубине 1,5—2,5 м под полом холодильных камер в виде ряда параллельных труб длиной по 65—88 м каждая. Всего было проложено 25 трубопроводов общей длиной около 2000 м. Установка для закрытой бестраншейной прокладки дренажных и обогреваемых труб в условиях действующего предприятия представляла собой систему спаренных гидравлических домкратов, развивающих усилие до 150 т и реверсивного пневмопробойника марки ИП-4603. Применение пневмопробойника, действующего на торцевую часть колонны продавливаемых труб, играет значительную роль для интенсификации проходки и повышения производительности работ.

Прокладка труб осуществлялась из котлована длиной 30—40 м, глубиной 3—4 м и шириной 15—20 м, где устанавливали направляющую раму, горизонтальную ось которой выравнивали по теодолиту, а вертикальное положение — по ватерпасу, а также специально изготовленному водяному уровнемеру.

Продавливали вначале обсадные трубы — футляры, представляющие собой колонну стальных труб диаметром 133 мм, в которые затем вставляли трубы диаметром 89 мм технологического назначения. После этого домкратную установку реверсировали и извлекали футляры из земли. При прямой и обратной работе установки упором для домкратов служили специальные железобетонные балки-плиты, укладываемые сначала с одной, а потом с другой стороны котлована. Упором для пневмопробойника были специальные патрубки, которые устанавливали в соответствующих поперечных отверстиях направляющей рамы. Проходку осуществляли продавливанием колонны труб звеньями длиной по 7, 8 м

каждая, при этом соединение звеньев труб выполняли при помощи сварки.

Направляющая головка имела коническую форму с круглыми отверстиями, предназначенными для разрушения грунта с помощью гидроподмыва. Для последнего был использован высоконапорный консольный насос, который подавал воду в гидромониторную трубу диаметром 12 мм. В результате этот технологический прием способствовал повышению эффективности процесса размыва: вода разжижала уплотненный грунт, в результате чего резко снижалось лобовое сопротивление продавливанию; создавала пристенный слой вытекающей воды, который, выполняя функцию смазки, уменьшал боковое трение и сопротивление продавливанию; изменяла, при необходимости, направление проходки, для чего в нужном направлении подавали большее количество воды. Последнее достигалось поворотом гидромониторной трубы, имевшей наконечник конической формы с калиброванными отверстиями, которые могли подавать напорную воду в направлении коррекции проходки.

Часть труб технологического назначения (диаметром 89 мм, толщина стенки 9 мм) была проложена без обсадки, непосредственно их продавливанием в грунт.

В процессе проходки замеряли отклонение от направления продавливания (табл. 3.1), которое в вертикальной плоскости составило 0,2—1,9 м (в большинстве случаев вверх, в горизонтальной —0,5 м. Измерение по вертикали осуществляли посредством стальной трубы со шлангом на конце (диаметром 12 мм), в которую наливалась вода, устанавливавшаяся на одном уровне с поднятым (или опущенным) концом (направляющей головкой) продавливаемых труб. В горизонтальной плоскости отклонение фиксировали с помощью геодезического кабелеискателя марки КИ-4ПГ.

Из табл. 3.1 видна четкая зависимость между длиной проходки и необходимым для продавливания давлением, которое возрастает по мере увеличения труб, а значит и бокового сопротивления. Вместе с тем данные по двум скважинам (также как и по другим) показывают, что в середине трассы проходки, примерно на расстоянии 30 м от устья скважины, интенсивность проходки резко уменьшается. Это связано с изменением плотности грунта, что подтверждают и материалы инженерно-геологических изысканий. На протяжении примерно 10 м по трас

Таблица 3.1. Результаты наблюдений за режимом прокладки горизонтальных труб на Каунасском распределительном холодильнике (1985 г.)

Дата проходки	Общая длина труб, м	Время проходки, ч	Давление домкратов, т	Отклонение по вертикали, м
		Скважина № 1		
05.07	9,8	2	0,4—2	—
07.07	17,6	24	4—16	—
11.07	25,3	3,5	12	—
12.07	33,3	12	14	0,65
15.07	41,1	12	14—18	0,95
16.07	43,8	6	10—20	—
18.07	51,6	8	16	1,45
19.07	59,3	8	10—11	—
20.07	68	8	18	—
21.07	73	8	20	—
		Скважина № 2		
24.06	10,4	2	2	0,18
25.06	18,2	6	2—4	0,45
26.06	26	8	2—6	0,85
27.06	33,8	15	6—10	0,92
29.06	41,6	4	18	1,15
01.07	49,4	24	18	1,34
02.07	66,2	12	20	1,54

се проходки в суглинисто-глинистых грунтах лежит песчано-гравелистая линза, продавливание в которой в значительной мере затруднено.

Другой способ прокладки горизонтальных дрен с использованием пневмопробойника предусматривает его установку во внутренней полости фильтровых труб. Он применен при опытно-производственном внедрении метода горизонтального строительного водопонижения на объекте горно-проходческих работ Главмосинжстроя (см. гл. I). Проходку выполняли в мелких обводненных флювиогляциальных песках с коэффициентом фильтрации 1,7— 2,8 м/сут [31].

Прокладка горизонтальных дрен осуществлена в 1977 г. с применением реверсивного пневмопробойника класса ИП, который был установлен в первом звене прокладываемых дренажных труб. Кроме этого использовалось вспомогательное нажимное устройство, состоя-

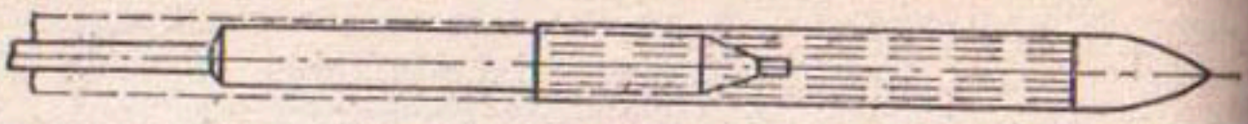


Рис. 3.12. Фильтровая труба горизонтального забойного водопонижения с применением пневмопробойника

щее из двух спаренных гидродомкратов, смонтированных на жесткой опорной (направляющей раме. Для поддержания заданного направления проходки горизонтальных дрен первое звено труб было оборудовано специальной обоймой с системой открылков и стабилизаторов. Фильтровая часть дрен диаметром 160 мм выполнена с проволочной обмоткой по трубам, имеющим круглую перфорацию (рис. 3.12). После прокладки дрены на длину 20 м ход пневмопробойника был реверсирован и пневмопробойник извлечен из внутренней полости фильтровых труб. Откачку воды из горизонтальных дрен вели вакуум-насосами.

Опытное внедрение указанного метода на объекте проходки щитового тоннеля коллектора р. Пресни в Москве показало, что он достаточно надежен и дает экономический эффект (39 тыс. руб/год).

Используемые в приведенных примерах пневмопробойники (табл. 3.2) класса ИП разработаны Новосибирским институтом горного дела АН СССР и выпускаются Одесским заводом строительно-отделочных машин. Пневмопробойник предназначен для пробивания в грунтах как сквозных, так и глухих скважин — горизонтальных, наклонных, вертикальных. Он представляет собой самодвижущуюся реверсивную пневматическую машину ударного действия, состоящую из заостренного спереди сигарообразного корпуса, в котором расположен ударник, наковальня, механизм воздухораспределения и реверсирования хода. Сжатый воздух с давлением около 6 ати подается в машину по гибкому шлангу диаметром 25 мм. Длина шланга выбирается в зависимости от длины скважины.

Корпус пневмопробойника является рабочим органом, образующим скважину. Ударник, совершающий ударно-поступательные движения, наносит удары по наковальне, расположенной в переднем торце корпуса, забивая корпус в грунт. Обратному перемещению снаряда препятствуют силы трения между его наружной поверхностью и грунтом. В условиях рыхлых и водонасыщенных

Таблица 3.2. Основные технические характеристики отечественных пневмопробойников

Характеристика	Тип пневмопробойника								
	ПР-40	ДЖЛ-721	СО-144	ИП-4506 ИП-4603А	ИП-4603 ИП-4603А	СО-134 СО-134А	СО-166 СО-166М	М-200	М-350
Энергия единичного удара (при давлении сжатого воздуха 5 ати), кгс·м	1,5	2,5	6,3	8	22	50	100	180	450—500
Частота удара, 1/мин	400	400	400	325	380	250	220	180	150—180
Расход воздуха, $м^3$/мин	0,8	1	1,5	4	5	8	9	9	20—25
Диаметр, мм	45	54	71	95	130	155	235	262	350
Длина, мм	900	1100	1350	1500	1400	1750	1750	1980	2250
Масса, кг	8	12	30	55	90	135	390	495	1300—1800

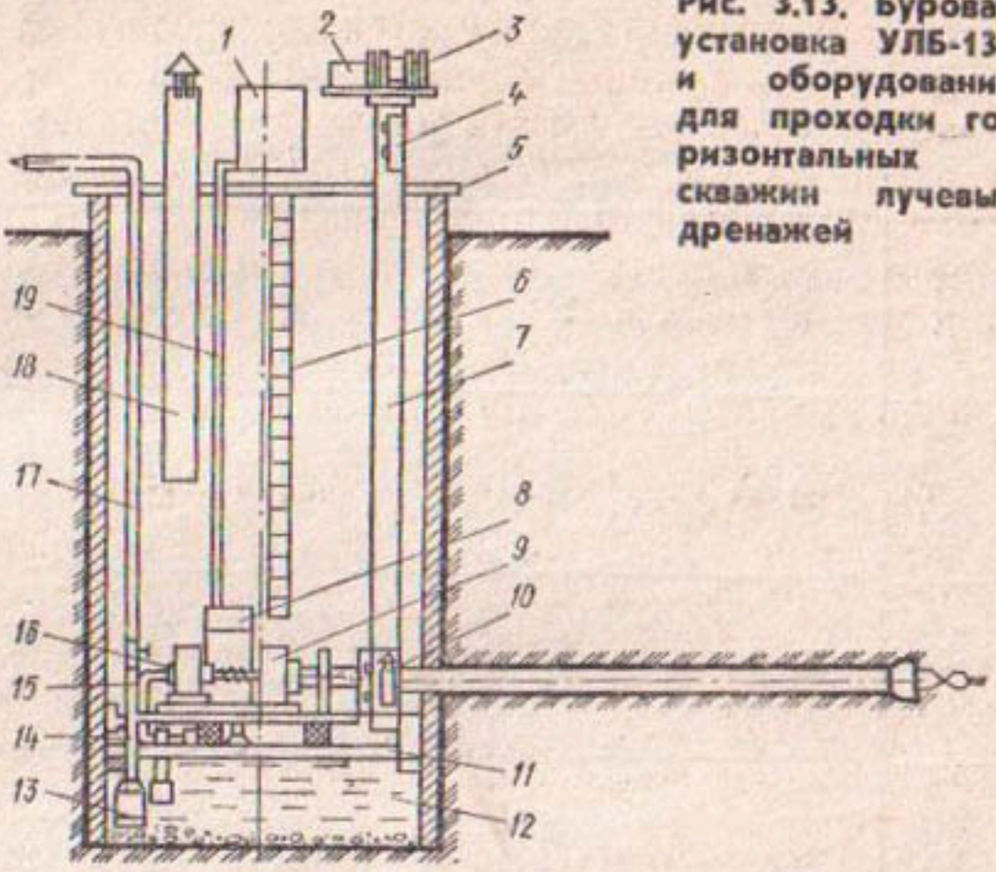


Рис. 3.13. Буровая установка УЛБ-130 и оборудование для проходки горизонтальных скважин лучевых дренажей

грунтов (особенно в плывунах), когда обжатие корпуса пневмопробойника недостаточно, проходка затруднена. Автором разработаны приспособления, увеличивающие сцепление пневмопробойника с грунтом и позволяющие его использовать в водонасыщенных и рыхлых грунтах*.

Около 90 % всех отечественных лучевых дренажей построены с использованием разработанной институтом ВИОГЕМ Минчермета СССР (г. Белгород) установки лучевого бурения — УЛБ [5, 14]. В основе ее действия лежит принцип вращательного шнекового бурения с защитой скважин от обрушения обсадными трубами (рис. 3.13). Расположенная на поверхности земли автономная маслостанция *1* по маслопроводам *19* питает буровой агрегат *9*. Там же установлен мотор-редуктор *2*, лебедка *3*, загрузочные дверцы *4* и *10*, образующие спуско-подъемный механизм 7, подающий в шахтный колодец фильтровые трубы и другие материалы и оборудование. Вся

---

* А. с. № 988978 СССР, Е 02 F 5/18. Устройство для проходки скважин.

А. с. № 1036858 СССР, Е 02 F 5/18. Устройство ударного действия для пробивания скважин в грунте.

А. с. № 1040064 СССР, Е 02 F 5/18. Устройство для образования скважин в грунте.

установка смонтирована на рабочей площадке *11*, под ней находится зумпф *12*, куда стекает пульпа из скважин. Откачку из зумпфа осуществляют насосом *12* по водоотводным трубам *17*. На рабочей площадке установлен насос *14* для подачи промывочной воды по трубе *15* в скважину через сальник — вертлюг *16*. Пульт управления *8* с приборами контроля и управления. Шахтный колодец оборудуется так же вспомогательным оборудованием: вентиляцией *18* и лестницей *6*. Сверху колодец перекрывается рабочим полком *5*.

Техническая характеристика установки УЛБ-130

Глубина бурения, м	до 130
Угол наклона скважин, град	±10
Частота вращения бурового инструмента, об/мин:	
рабочей колонны	до 6
шнековой колонны	до 160
Масса установки (без инструмента), кг	2150
Номинальный диаметр бурения, мм	200
Усилие подачи, кгс	7450
Установленная мощность, кВт	30
Минимальный диаметр шахтного колодца «в свету», м	3

Установка раскрепляется и ориентируется в заданном направлении с помощью системы вертикальных и горизонтальных винтовых домкратов. Бурение осуществляется с помощью двух приводимых гидравлических вращателей, работающих независимо один от другого. Отдельно вращается шнековая колонна и обсадные трубы. Кроме того, буровой агрегат снабжен гидравлическим домкратным устройством, подающим звенья труб в скважину. Подвижная буровая платформа, на которой смонтирована вся установка, имеет возможность возвратно-поступательного перемещения на величину рабочего хода гидроцилиндра домкрата.

Оптимальная частота вращения обсадных рабочих труб при бурении в плотных грунтах (суглинки, супеси, плотные пески) колеблется в пределах 0,03—0,07 $с^{-1}$, при бурении в слабых грунтах (рыхлые пески, плывуны) — 0,017—0,05 $с^{-1}$. Регулирование числа оборотов вращателей осуществляется бесступенчато.

Проходку лучевых скважин ведут из шахтных колодцев диаметром не менее 3 м. Начинают забуривание скважин через заранее заложенный в железобетонной стенке колодца металлический патрубок-кондуктор, закрытый с торца деревянной перемычкой (пробкой).

Возможна и такая установка кондуктора, когда буровым инструментом выбуривают круглое отверстие в стенке колодца в процессе самой проходки.

Устье скважины оборудуют уплотнительным сальником, подобно тому, как это делается в случае применения метода продавливания (см. п. 3). Внутренний диаметр кольца уплотнителя для легких фильтров принимается на 5—10 мм, а для тяжелых — на 20—25 мм меньше диаметра самого фильтра.

Забуривание скважин осуществляют путем подачи вперед тщательно отцентрированной и выверенной колонны шнековых и обсадных труб, с включением вращателей и разбуриванием деревянной пробки в кондукторе. При проходке скважин установкой УЛБ применяют специальные породоразрушающие буровые головки — наконечники, смонтированные в передней части колонны шнековых труб и вращающиеся вместе с ними. При проходке относительно плотных грунтов используют буровую головку — долото в виде конусного шнека и наконечника — башмака. В установке УЛБ-130 диаметр такой головки составляет 190 мм.

При проходке слабых водонасыщенных, особенно пылеватых песков, применяют буровую направляющую головку, оборудованную специальной диафрагмой — диском. Установленная за режущими лопастями буровой головки диафрагма прикрывает торец башмака забойных обсадных труб. Кольцевой зазор между диафрагмой и башмаком поддерживают в пределах 15—20 мм. Верхний предел этого зазора задается по условию предотвращения излишнего выноса шлама из забоя во внутреннюю полость труб. Создать кольцевой зазор менее 15 мм не удается ввиду несовершенства регулировочного устройства. На стадии установки очередного звена обсадных и шнековых труб зазор для пропуска шлама полностью перекрывают. При бурении неоднородных грунтов для интенсификации проходки глинистых и других плотных прослоев и линз размер кольцевого зазора увеличивают до 80—100 мм.

Для повышения эффективности транспортировки грунта выбуриваемую в процессе проходки скважин спираль шнека промывают водой, которая подается под напором от промывочного насоса в объеме 1,7—2 л/с при скорости вращения шнеков 1,33—1,67 $с^{-1}$. После проходки скважины перекрывают башмак обсадных труб буро-

вой коронкой. Далее шнеки отсоединяют от буровой головки, промывают внутреннюю полость труб от шлама, после чего шнеки извлекают.

Перед установкой фильтров торец первой их секции плотно зарывают деревянной или металлической заглушкой. Секции фильтровых труб, которые наращивают последовательно на муфтовых и резьбовых соединениях, доставляют с помощью механизма подачи буровой установки. Для сохранности фильтрующих элементов колонну фильтров перемещают по внутренней полости обсадных труб со скоростью не более 3 см/с. Извлекают обсадные рабочие трубы при их вращении, особое внимание при этом уделяют удержанию колонны фильтровых труб в неподвижном положении с помощью упорного устройства. Кольцевое пространство между фильтровой колонной и кондуктором уплотняют глиной.

Аналогичная установка разработана институтом ВИОГЕМ для проходки горизонтальных лучевых скважин из шахтного колодца внутренним диаметром менее 2 м или из ствола вертикальной скважины [39]. Буровой агрегат представляет собой опускаемый на заданный уровень погружатель с гидравлическим приводом и толкателем, который осуществляет вращательное и поступательное движение при подаче в грунт шнекофильтров (рис. 3.14). Обсадку в данном случае не применяют.

В герметичном корпусе *1* погружателя размещен гидравлический привод *2* с редуктором *3*. Главным механизмом подачи служит вращатель-толкатель *5*, который с помощью расположенного в его торцевой части захвата *6* удерживает очередное звено подаваемых на забой фильтров. На внешней поверхности вращателя-толкателя имеются шлицы, которые сочленяются со шлицевой втулкой *7*, где установлена жестко редукторная шестерня *3*. Звенья фильтров подаются из направляющего короба *8*, прикрепленного к общему коробу, на котором размещается и механизм фиксации *9*. Последующий ориентирует всю установку в заданном направлении. Маслопроводы *11* размещены в трубе *10*, служащей также для опускания всего агрегата на нужную глубину.

Для забуривания в водоносный пласт шнекофильтров *14* в стенке шахтного колодца или обсадной трубы вертикального ствола скважины оставляют круглые ослабленные участки, которые пробивают коронкой направляющей буровой головки *15*, установленной в торце

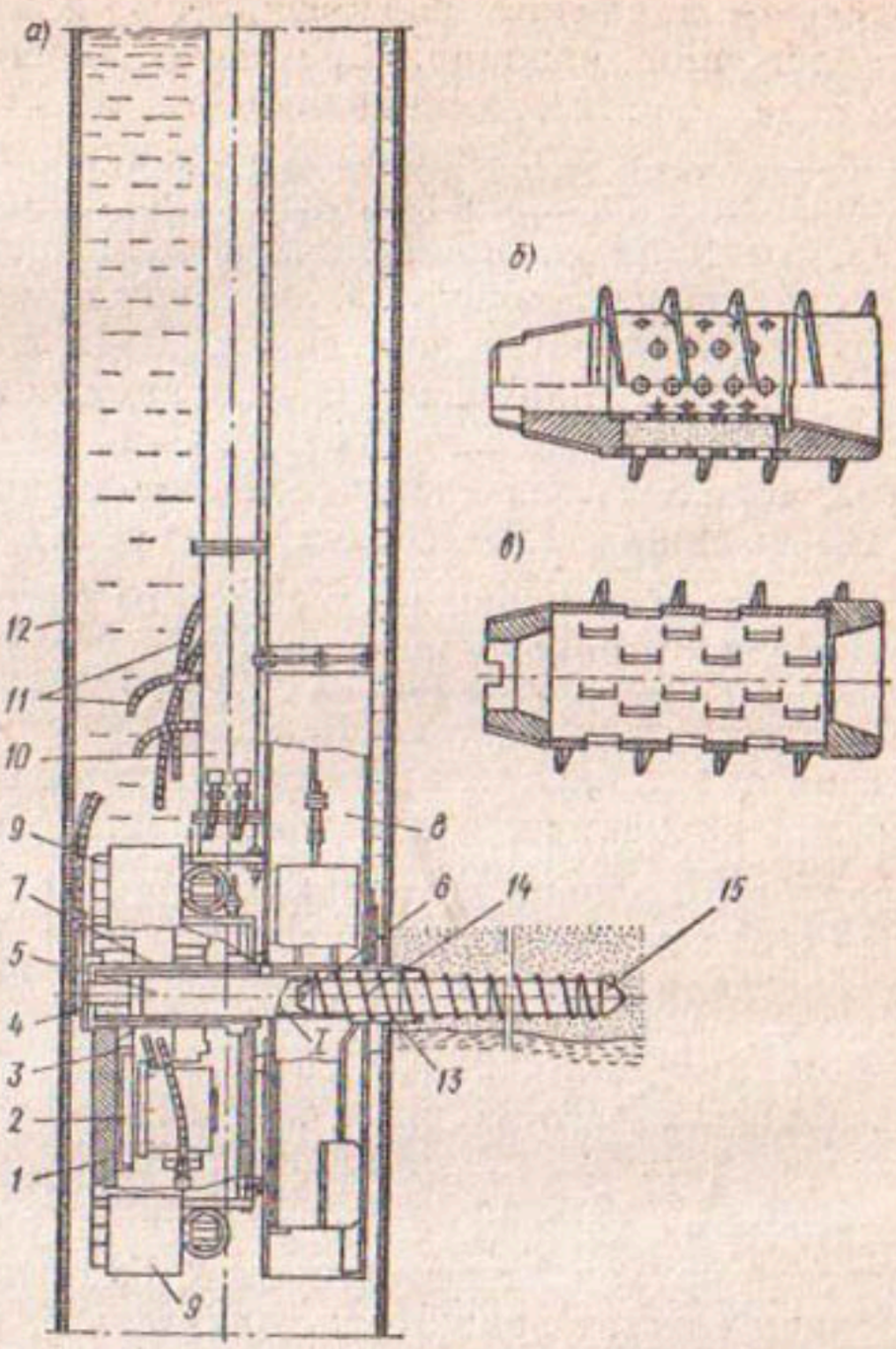


Рис. 3.14. Погружной гидроагрегат для прокладки горизонтальных трубчатых фильтров из ствола вертикальной скважины

а — ствол вертикальной скважины; б — секция шнекофильтра с гравийной обсыпкой (применяется для обводненных суглинков); в — секция шнеко-фильтра с выштампованными щелевыми отверстиями (применяется для обводненных песков)

первого звена труб. В отверстие вставляют патрубок — кондуктор *13*, через который в дальнейшем и ведут бурение. Масло от маслонапорной станции, расположенной на поверхности земли, через пульт управления поступает к гидродвигателю и вращателю. Вращение от гидродвигателя через редуктор *3*, втулку *7*, гидроцилиндр *5*, шпоночный захват *6* передается шнекофильтру *14*. Гидроцилиндр перемещается вдоль оси будущего луча, через шпоночный захват, передавая вращательное

и поступательное движение шнекофильтру. В крайнем переднем положении гидроцилиндра звено шнекофильтра подается за пределы направляющего короба, что фиксируется на пульте управления. После этого выключается вращатель, а при подаче масла в подпоршневую полость гидроцилиндр возвращают в исходное положение. По направляющему коробу подают очередное звено шнекофильтра. Включаются вращение и подача. Новое звено шнекофильтра свинчивается с предыдущим, им сообщается вращательное и поступательное движение, что обеспечивает разрушение грунта коронкой направляющей буровой головки *15*, его поступление в шахтный колодец или ствол скважины и продвижение фильтра вдоль оси луча. После удлинения луча на одно звено фильтра гидроцилиндр возвращают в исходное положение и цикл повторяется. При достижении сооружаемой таким образом дрены заданной длины специальным приспособлением, приводимым в действие вращателем-толкателем, кондуктор *13* удаляют за пределы короба.

Уплотнение между кондуктором и стенками шахтного колодца или обсадной трубы вертикальной скважины, а также между шнекофильтром и кондуктором осуществляется с помощью специальных сальников.

Опытно-производственное внедрение данной установки было осуществлено на промплощадке Криворожского Северного горно-обогатительного комбината. Водоносный горизонт был представлен лессовидными суглинками, уровень грунтовых вод находился на глубине 5 м от поверхности земли. Из вертикального ствола диаметром 0,8 м глубиной 11,5 м на глубине 5,5 м от поверхности земли были проложены две горизонтальные лучевые скважины длиной 20 и 25 м, а на глубине 5,65 м еще 2 скважины, длиной 21 и 11 м каждая. Кроме того, ниже, на глубине 8,8—9,7 м также проложены 2 скважины по 2 м и одна 4 м.

Крутящий момент вращателя при его частоте вращения 8 об/мин составил 32 кгм, усилие подачи 150—250 кг. Около 80 % шлама, поступающего по шнекофильтрам, поднимали из ствола скважины на поверхность земли, другая его часть осталась на дне скважины. Проходку вели с производительностью 30 м горизонтальной скважины в смену. Дебит каждой из горизонтальных лучевых скважин составил 3,5—4 м^3/сут. при уровне воды над их осями 0,4 м.

5. Направляющие головки для бестраншейной проходки горизонтальных скважин

В комплекте оборудования для устройства горизонтальных водозаборов и дренажей закрытым способом одним из основных конструктивных элементов является направляющая буровая головка (пилот), которой оборудуется колонна прокладываемых в грунте труб (табл. 3.3).

Обычно буровая головка имеет обтекаемую оваловидную форму (параболоидную, коническую и т. д.). Изготовляется она из обтачиваемой на токарном станке стальной болванки или из предварительно разрезанной в продольном направлении трубы, секторы которой затем соединяют сваркой. В определенных грунтовых условиях возможна также проходка горизонтальных скважин с открытым торцом прокладываемых труб, когда функцию направляющей головки выполняет грунтовая пробка, также приобретающая оваловидную форму. Последняя образуется благодаря тому, что при отсутствии обводнения грунт в виде пробки входит в торец продавливаемой трубы всего на длину 5—6 ее диаметров, и образующаяся впереди грунтовая головка движется вперед вместе с колонной труб. Удачно сконструирована фирмой «Эссиг» (Зап. Берлин) ступенчатая направляющая головка, используемая при проколе с помощью пневмопробойника. Ступенчатая форма этой головки позволяет отодвигать в сторону крупные включения (валуны, камни) — см. табл. 3.3, п. 23.

Для снижения или устранения лобового сопротивления прокладыванию труб в направляющей головке оставляют шламозаборные отверстия, через которые из пласта грунт с водой поступает в шламовую трубу и стекает по ней в шахту. Шламозаборные отверстия выполняются овальной, круглой или прямоугольной формы и располагаются на боковой поверхности направляющей головки. Имеются варианты применения кольцевых и круглых шламозаборных отверстий, расположенных в торце головки (см. табл. 3.3, пп. 6, 12, 21, 22).

При монтаже очередного звена труб или при завершении проходки всей скважины подачу шлама в шахту желательно прекратить. Для этого используют специальные затворы, которые устанавливают в направляю-

щих головках. Они выполняются в виде секторных, конусных, тарельчатых, цилиндрических, шаровидных или другой формы запорных устройств, закрывающих вход в шламовую трубу. Управление этими затворами осуществляют возвратно-поступательным или вращательным перемещением буровой штанги (гидромониторной трубы) или самой шламовой трубы. Удачным техническим решением можно считать шаровой клапан, который наиболее прост в эксплуатации (см. табл. 3.3, пп. 5, 6).

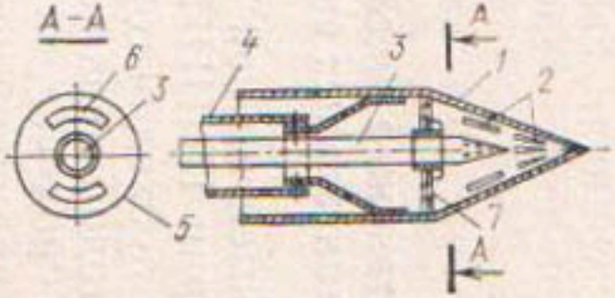
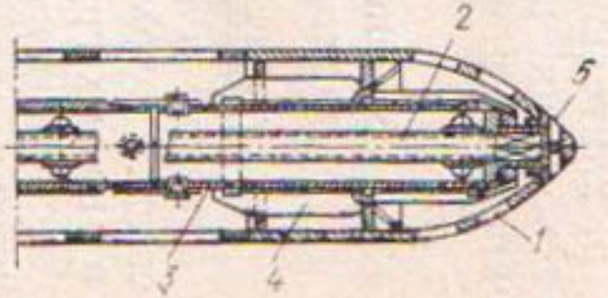
Существенное значение имеет поддержание заданного направления проходки горизонтальных скважин. Опыт показывает, что в большинстве случаев даже при достаточно строгой ориентации начального положения прокладываемых труб имеет место отклонение скважины вверх. Известны даже случаи выхода направляющих головок на поверхность земли. Для поддержания горизонтальности проходки применяют следующие конструктивные приемы: уменьшение числа или площади шламозаборных отверстий в нижней части направляющей головки (см. табл. 3.3, пп. 13, 16); применение горизонтальных открылков и направляющих головок скошенной формы (см. табл. 3.3, пп. 14, 15, 16); применение вращающих устройств, которые стабилизируют движение труб (см. табл. 3.3, пп. 20—22); исправление направления движения и огибание крупных препятствий (см. табл. 3.3, пп. 17—19).

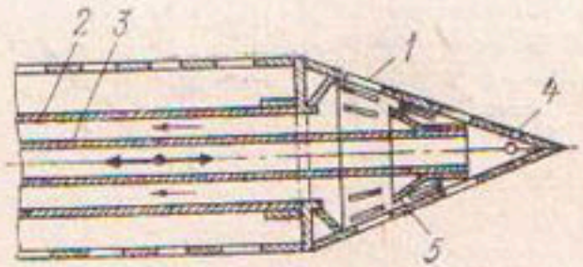
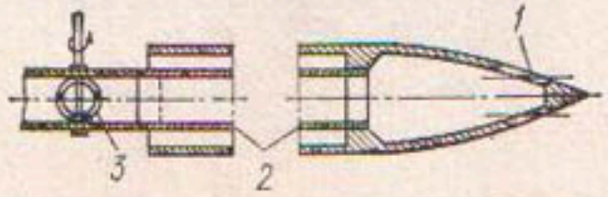
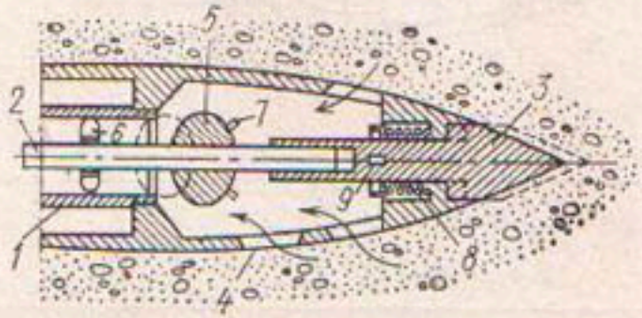
Для интенсификации проходки, разрушения уплотненного грунта перед направляющей головкой и ликвидации засора ее внутренней полости применяют гидроподмыв, рыхлительные наконечники, сжатый воздух и пр. Технология применения этих вспомогательных средств описана в п. 4.

6. Экспериментальные исследования проходки горизонтальных скважин

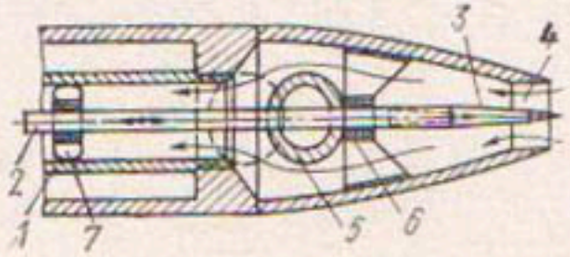
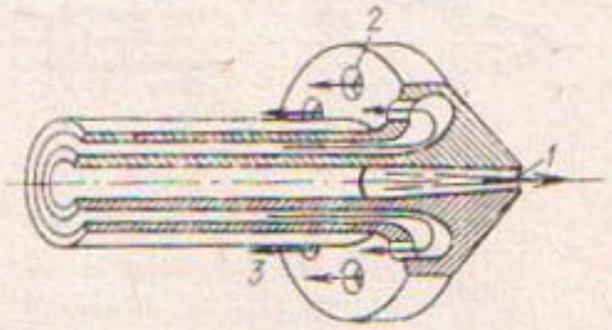
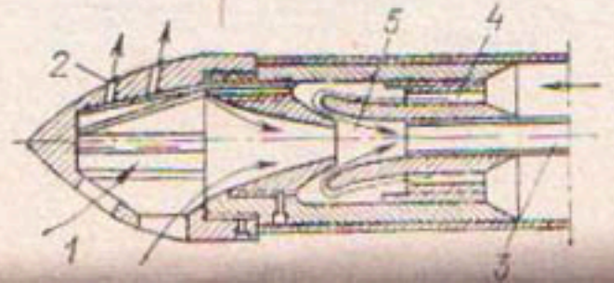
Целью экспериментальной работы, проведенной автором в лаборатории ПНИИИСа, являлось установление закономерностей проходки горизонтальных скважин в рыхлых грунтах методом продавливания [29]. Задачей экспериментов было получение качественной характеристики процесса продавливания и определение величины общего сопротивления грунтовой среды и отклонения скважин от заданного направления в зависи-

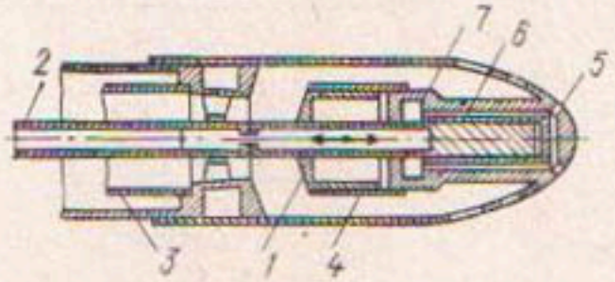
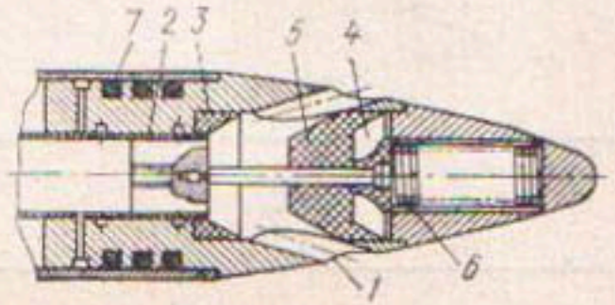
Таблица 3.3. Направляющие головки для бестраншейной (закрытой) прокладки труб

Схема	Конструктивные элементы	Область применения, разработка конструкции
1. 	Коническая головка *1* с прямоугольными шламозаборными отверстиями *2*, гидромониторной (промывочной) трубой *3*, поворотной заслонкой *5*, шламовой трубой *4*. Последняя поворачивается вокруг оси луча до совмещения ее отверстий *6* с соответствующими отверстиями в неподвижной диафрагме *7*, что обеспечивает поступление шлама во внутреннюю полость продавливаемых труб	Песчано-гравийные грунты. Разработана и применена впервые при строительстве подрусловых лучевых водозаборов на р. Дунай для Уйпештских головных сооружений городского водопровода Будапешта, 1947—52 гг.
2. 	Параболоидная головка с овальными шламозаборными отверстиями *1*, гидромониторной *2* и шламовой *3* трубами. Последняя возвратно-поступательным перемещением по оси луча в направляющих ребрах *4* открывает и закрывает доступ шлама во внутреннюю полость труб. Через промывные отверстия *5* при необходимости осуществляется дополнительный подмыв плотных линз (прослоев) глинистых грунтов перед направляющей головкой	Гравийно-песчаные грунты с крупной галькой с прослоями уплотненных глинистых грунтов. Разработана и применена в 1947—52 гг. там же (см. п. 1).

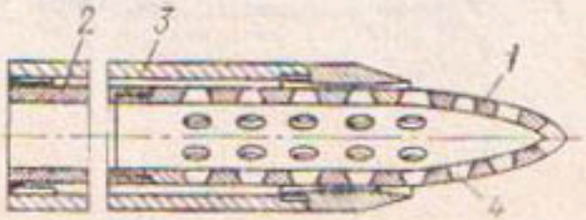
3.		Конусная головка с прямоугольными шламозаборными отверстиями *1*, шламовой *2* и гидромониторной *3* трубами, промывными отверстиями *4* и конусным затвором *5*, который перекрывает шламовую трубу путем осевого возвратно-поступательного перемещения	Песчано-гравийные грунты. Представлена в «Альбоме типовых конструкций и схем горизонтального и вертикального дренажа». Казводоканалпроект, Алма-Ата, 1983 г.
4.		Направляющая головка с тремя шламозаборными отверстиями *1*, шламовой трубой *2* и тарельчатым запорным устройством *3*, установленным в торце шламовой трубы (в шахте)	Гравелисто-галечные грунты без большого количества песчаных и глинистых фракций. Разработана и применена впервые в междуречье Храми и Дебеда при строительстве лучевых водозаборов головных сооружений городского водопровода Рустави Грузинской ССР, 1966 г.
5.		Ударно-рыхлительная головка для продавливания в грунт труб со шламовой трубой *1*, буровой ударной штангой *2*, ударно-рыхлительным наконечником *3*, шламозаборными отверстиями *4*, запорным клапаном *5*, фиксирующей шламовые трубы направляющей крыльчаткой («фонарем») *6*, рыхлительными рожками *7*, пружиной *8* (работает на сжатие) и чекой *9* (удерживает пружину)	Песчано-галечные грунты с глинистым прослоями. Эффективна в случае засорения внутренней полости головки. Разработка Г. А. Разумова[1]

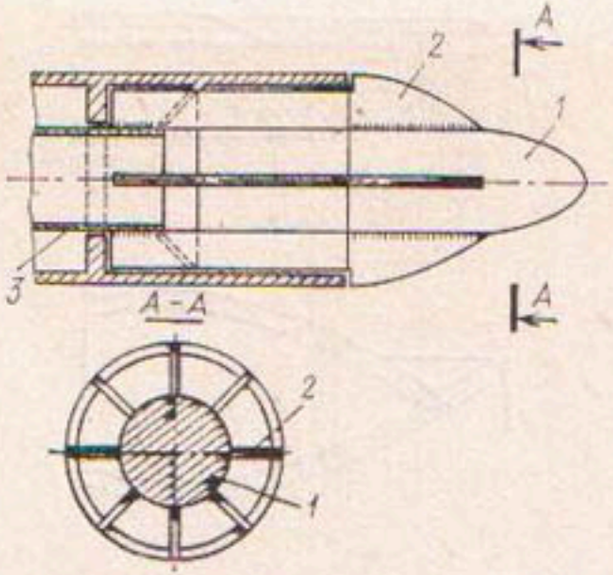
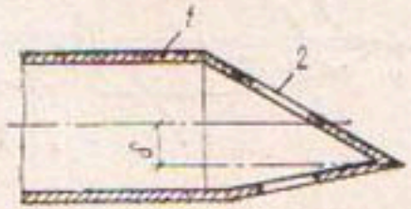
Продолжение табл. 3.3

Схема	Конструктивные элементы	Область применения, разработка конструкции
6. 	Открытая головка для продавливания в грунт труб со шламовой трубой *1*, буровой штангой *2*, ударным наконечником для ликвидации засоров *3*, шламозаборным отверстием *4*, запорным клапаном *5* и фиксирующей втулкой *6*, направляющей крыльчаткой *7*	В тех же условиях, что в п. 5. Разработка Г. А. Разумова[2]
7. 	Реактивно-гидравлическая головка для проходки горизонтальных скважин с носовым соплом *1* для размыва грунта струей воды и обратными соплами *2* для реактивных водяных струй *3*	Песчано-галечные грунты с глинистыми прослоями и линзами. Разработка института ВИОГЕМ Минчермета СССР.
8. 	Направляющая головка с водоструйным насосом (гидроэлеватором) и нижними шламозаборными отверстиями 1; имеет также отверстия для размыва грунта *2*, шламовую трубу *3*, трубки для подачи под напором промывной воды *4*, по-	Разнозернистые песчано-гравийные, супесчаные и песчаные грунты. Применена при строительстве лучевого водозабора головных сооружений городского водопровода города Аркуда (Румыния).

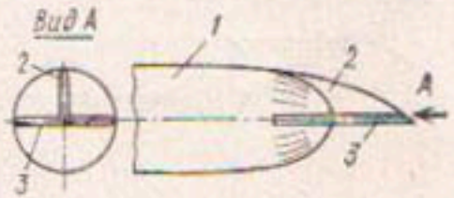
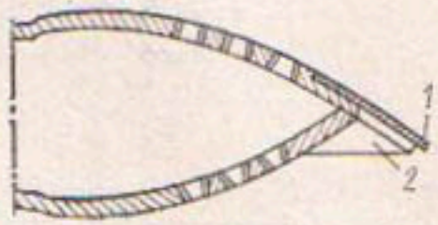
		глотительную воронку *5*, через которую песчаные частицы засасываются в шламовую трубу, за счет чего во внутренней полости головки создается разряжение, способствующее более интенсивному поступлению шлама	
9.		Параболоидная направляющая головка с цилиндрическим затвором *1*, установленным на гидромониторной трубе *2*, затвор перекрывает вход в открытый торец шламовой трубы *3* и при продавливании труб убирается в патрон *4*. Через промывные отверстия *5* по круглым каналам *6* в водораспределяющем устройстве *7* при необходимости подается под напором вода для размыва плотных включений глинистых грунтов перед направляющей головкой	Разнозернистые пески с гравием и включениями плотных глинистых грунтов. Применена трестом Гидроспецстрой Минэнерго СССР при строительном водопонижении в котловане Киевской ГЭС на р. Днепр 1962—64 гг. Разработка Л. А. Титова[3].
10.		Направляющая головка с шламозаборными отверстиями *1*, шламовой трубой *2*, седлом 3, которое перекрывается затвором *4* с уплотнительной пробкой *5* из гидропластмассы, запирающей вход в шламовую трубу путем ее прижатия пружиной *6*. Корпус головки при мон-	Разнозернистые рыхлые грунты с глинистыми прослоями. Запроектирована институтом ПНИИИС Госстроя СССР для строительства водозабора Мозырского промрайона и г. Мозырь, БССР, 1967 г.

Продолжение табл. 3.3

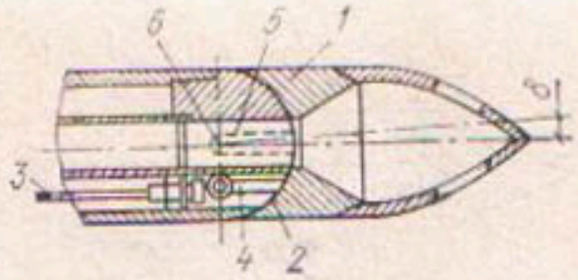
Схема	Конструктивные элементы	Область применения, разработка конструкции
	таже вставляется в продавливаемые трубы с уплотнительными кольцами *7*. При необходимости для интенсификации проходки в грунт перед головкой по шламовой трубе через шламозаборные отверстия подается сжатый воздух	
11. 	Выдвижная направляющая головка *1*, смонтированная на шламовой трубе *2*, телескопически выдвигающаяся из продавливаемых труб *3*. При выдвижении головки вперед количество шлама, поступающего во внутреннюю полость труб, увеличивается, и интенсивность проходки возрастает. Форма головки и размеры шламозаборных отверстий *4* могут изменяться в зависимости от геолого-литологических условий	Песчано-гравелистые грунты. Применена в Австрии на строительстве малых лучевых водозаборов для водоснабжения завода в г. Лицен (на р. Энн) и реконструкции малых лучевых водозаборов г. Мюльхофене. Разработка Г. А. Фалли, фирма «Grubo GmbH», г. Вена, 1964

12.		Открытая направляющая головка с центрально расположенным параболоидно-цилиндрическим пилотом *1* и ребрами *2*, прикрепленными к шламовой трубе *3*. Периодическим поступательно-возвратным передвижением пилота производится рыхление грунта перед направляющей головкой	Галечные и гравелисто-песчаные грунты с крупными фракциями. Разработка Г. А. Разумова и С. Б. Плотникова[4].
13.		Коническая головка *1* скошенной формы со шламозаборными отверстиями *2*, площадь поверхности которых в верхней части головки может быть больше, чем в нижней, что приводит к большему выносу шлама сверху. Степень отклонения зависит от величины δ — расстояния между осью задавливаемых труб и осью конуса направляющей головки	Для предотвращения отклонения вверх продавливаемых труб. Разработана и использована при строительстве подруслового лучевого водозабора на р. Дунай для Уйпештских головных сооружений городского водопровода Будапешта, 1947—52 гг.

Продолжение табл. 3.3

Схема	Конструктивные элементы	Область применения, разработка конструкции
14. 	Направляющая головка *1* со стабилизатором *2* и открылками *3*. Грунт давит сверху на открылки, прижимая головку книзу. Стабилизатор поддерживает направление движения в горизонтальной плоскости	Для предотвращения отклонения продавливаемых труб вверх и в стороны. Разработана и использована трестом Башспецнефтестрой Минпромстроя СССР при строительстве подруслового водозабора на р. Белой для головных сооружений городского водопровода Уфы, 1978 г.
15. 	Параболическая головка с пластиной-отклонителем *1* из стального листа с поддерживающим ребром жесткости *2*. Так же, как в конструкции п. *14* грунт давит сверху на пластину, прижимая головку книзу	Для предотвращения отклонения придавливаемых труб вверх. Разработана и применена при строительстве лучевого водозабора в долине р. Эльбы для головных сооружений городского водопровода г. Шенебек, ГДР, 1963 г.
16. 	Коническая головка скошенной формы с открытым кверху лобовым шламозаборным отверстием *1*. Так же, как в конструкциях п. 13—15 грунт давит сверху, прижимая головку книзу	Для предотвращения отклонения продавливаемых труб вверх. Применена при проходке горизонтальных скважин лучевых водозаборов по методу Фельмана. Разработка Г. Фельмана, Швейцария

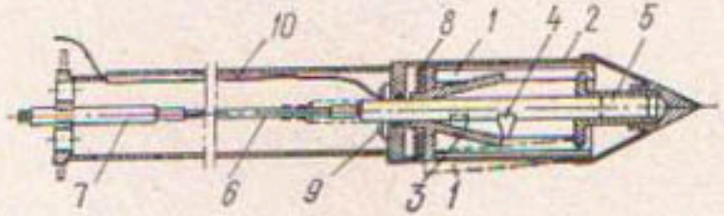
17.



Поворотная головка имеет подвижную часть *1*, поворачивающуюся в вертикальной плоскости по круговой поверхности *2* с помощью штанги *3*, передающей вращение обечайке ползуна *4*. Подвижная часть головки *1* соединяется с неподвижной пластинкой *5*, поворачиваясь относительно горизонтальной оси *6*. Степень отклонения продавливаемых труб зависит от перемещения подвижной части головки на величину δ

Для изменения направления проходки вверх или вниз. Разработана трестом Башспецстрой Минпромстроя СССР при строительстве подруслового лучевого водозабора № 2 на р. Белой для головных сооружений городского водопровода Уфы, 1973 г.

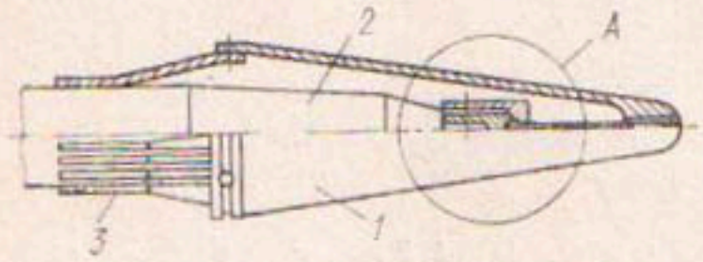
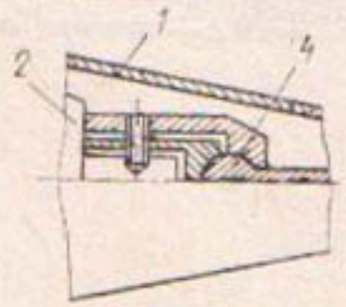
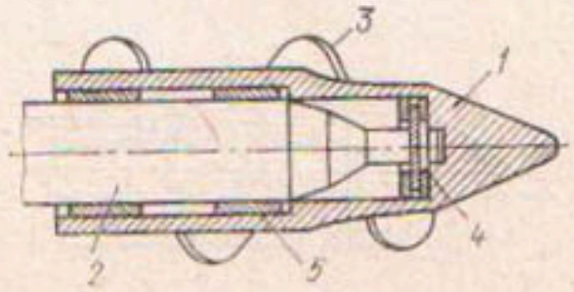
18.



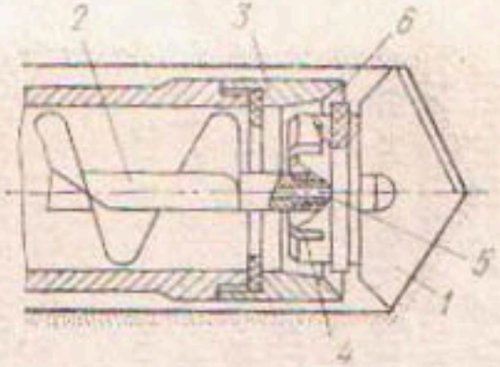
Управляемая головка с лопастями-отклонителями *1*, выдвигающимися из корпуса головки *2* и позволяющими изменять направления продавливаемых труб. Выдвижение лопастей осуществляется клиньями *3*, которые упираются в лопасти *1* и раскрываются за счет осевого перемещения бобышки *4* вместе с трубкой *5*, которая управляется штангой *6*. Осевое передвижение осуществляется винтовым домкратом. *7*. Клинья *3* подпружинены пружиной *8*. Отклонение продавливания труб от заданного направления фиксируется по световому лучу от автомобильной лампочки *9* с проводом *10*

Для устранения отклонения от заданного направления прокладки колонны труб в грунт. Разработана и применена институтом ВНИИГС Минстроя РСФСР при бестраншейной прокладке труб способом управляемого вибропрокола с применением установки УВП-2 в Ленинграде, 1961 г.

Продолжение табл. 3.3

Схема	Конструктивные элементы	Область применения, разработка конструкции
19.  Узел А 	Поворотная головка с отклоняющейся частью *1* установлена на наконечнике *2*, с которым соединена наружными пружинами *3* и внутренним шаровым шарниром *4*, относительно которого может поворачиваться в любую сторону	Для огибания крупных плотных включений в рыхлом грунте (валуны, строительный мусор и т. п.). Отклоняет в сторону всю колонну задавливаемых труб. Разработка института ПНИИИС Госстроя СССР, 1984 г.
20. 	Вращающаяся головка *1* смонтирована на наконечнике *2*. Вращение осуществляется за счет винтовых лопастей — шнеков *3* при осевом прямолинейном поступательном движении колонны труб вперед. Соединение вращающейся головки *1* с наконечником *2* осуществляется пятой-подшипником *4* и втулками-подшипниками *5*	Для стабилизации направления и интенсификации продавливания труб путем создания дополнительного крутящего момента, благодаря которому головка ввинчивается в грунт. Разработка Г. А. Разумова, М. Е. Воловика, Д. А. Позументирова и др.[5].

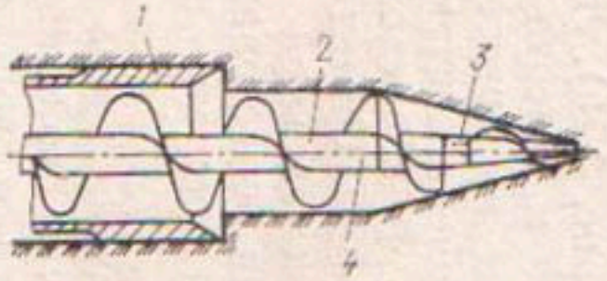
21.



Вращающаяся головка с грунторазрушающей лопастью *1*, отводящим грунт шнеком *2*, режущим башмаком *3*, кольцевой промывочной полостью коронки *4*, куда подается под напором вода для промывки забоя по гидромониторной трубе *5*. Грунт из забоя поступает по кольцевому пространству *6*

Слабопроницаемые связные грунты и мелкозернистые пески. Разработана институтом ВИОГЕМ Минчермета СССР и применяется при строительстве лучевого дренажа для осушения подтапливаемых застроенных территорий, 1980—88 гг.

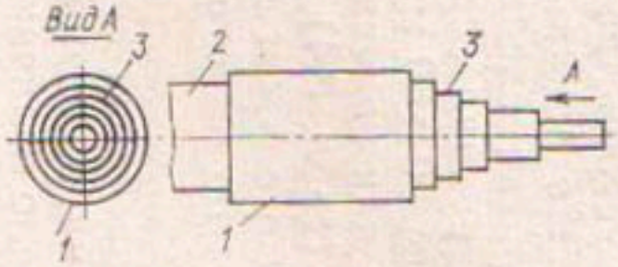
22.



Породоразрушающая направляющая головка, состоит из наконечника — башмака *1*, надетого на торец продавливаемых труб, конусного, уменьшающегося по диаметру к забою шнека *2*, отверстия для промывки *3* струей воды, подаваемой по гидромониторной трубе — оси шнека *4*.

Для шнекового бурения в мягких связных и рыхлых обводненных грунтах (кроме плывунов). Разработана институтом ВИОГЕМ Минчермета СССР и применяется при строительстве лучевого дренажа на подтапливаемых застроенных промплощадках, 1980—88 гг.

23.



Направляющая головка (наконечник) *1*, одевающаяся на пневмопробойник *2* и снабженная ступенями *3*, которые при проходке методом прокола отодвигают в сторону попадающиеся по пути комки и валуны

При проходке скважин методом прокола с применением пневмопробойника для отодвигания в сторону крупных включений в грунте (валуны, комки и пр.) Разработан и применяется фирмой «Эссиг» (Зап. Берлин), 1984 г.

Примечание. [1] А. с. № 201796 СССР, МКИ 45а 13/01. Буровая головка для прокладки горизонтальных дрен в грунте.

[3] **Титов Л. А., Хасин М. Ф.** Применение горизонтальных для прокладки горизонтальных дрен в грунте.

[2] А. с. № 250562 СССР, МКИ 45а 13/00. Буровая головка фильтров при водопонижении в несовершенных котлованах. — Энергетическое строительство, 1967, № 8.

[4] А. с. № 535392 СССР, МКИ Е 02D 17/14. Буровой снаряд.

[5] А. с. № 1040064 СССР, МКИ Е 02F 5/18. Устройство для образования скважин в грунте.

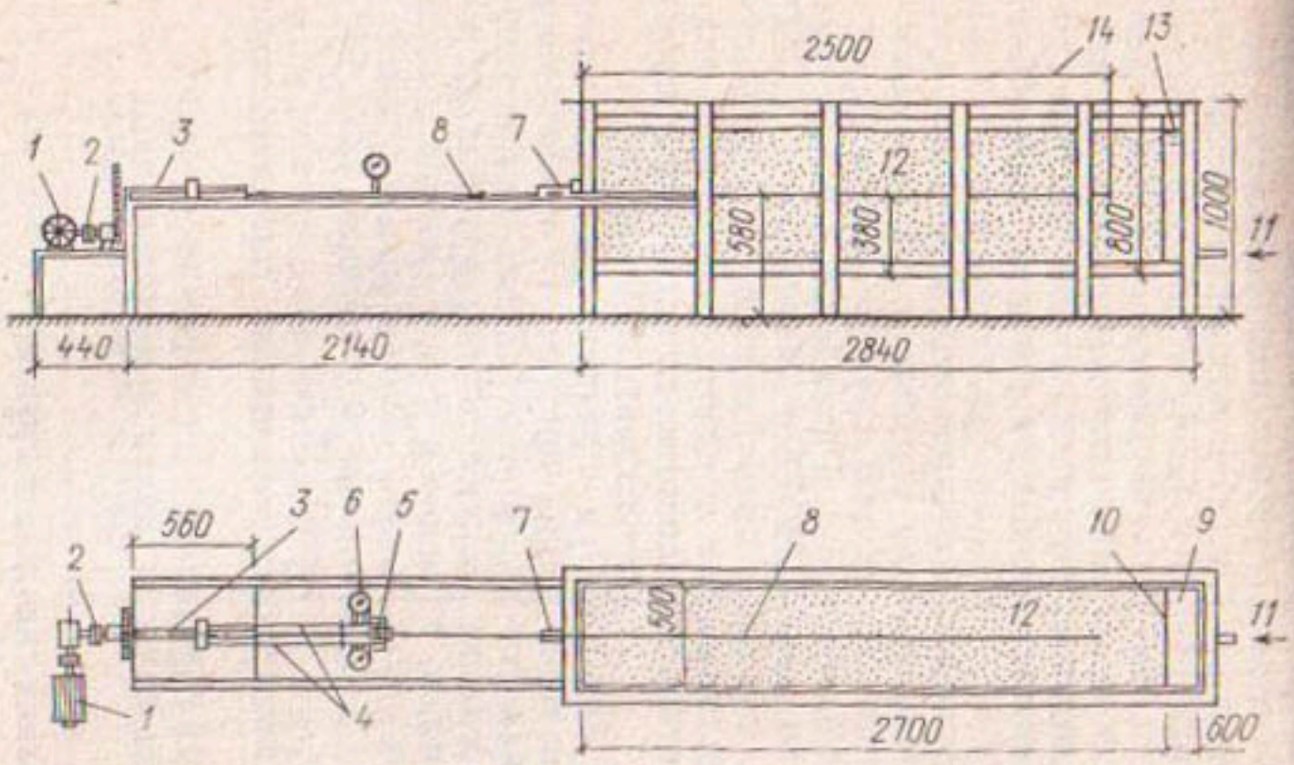


Рис. 3.15. Схема экспериментальной установки для исследования характеристик проходки горизонтальных скважин методом продавливания

1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — винт подачи; 4 — соединительные стержни; 5 — зажим; 6 — динамометры для измерения усилий продавливания; 7 — направляющая втулка; 8 — продавливаемая трубка; 9 — камера подачи воды; 10 — сетка, удерживающая песок; 11 — подача воды; 12 — песчаная загрузка лотка; 13 — уровень воды; 14 — максимальная длина задавливания

мости от: глубины заложения скважин и бытового давления грунта; длины проходки скважин, их диаметра и бокового трения; формы и конструкции наконечника; лобового сопротивления; степени увлажнения грунта.

Лабораторная установка состоит из грунтового лотка и нажимного устройства (рис. 3.15). Лоток выполнен прямоугольным, его длина 2,5 м, высота 0,8 м, ширина 0,5 м. Стенки лотка сделаны из оргстекла толщиной 15 мм; вся конструкция скреплена системой дюралевых уголков размером 60×60 мм. В торцевой части лотка выделен карман для подачи воды. Он отгорожен от песчаной загрузки (табл. 3.4) специальной мелкоячеистой латунной сеткой и служит для более равномерного распределения воды по высоте и площади поперечного сечения лотка.

Как видим, песчаная загрузка лотка в достаточной степени однородна, в связи с чем свойства грунта в плотном сложении мало отличаются от свойств в рыхлом сложении. Так, величины объемного веса отличаются всего на 16 %, а пористости — на 28 %. Угол естественного от-

Таблица 3.4. Физико-механические свойства грунта

Характеристика грунта	Сложение	
	рыхлое	плотное
Плотность, г/см³	1,52	1,77
Пористость, %	42,64	33,21
Коэффициент пористости	0,74	0,50
Удельный вес, г/см³	2,65	2,65
Гигроскопическая влажность, %	0,1	0,1
Характерный диаметр D_{60}, мм	0,8	0,8
Характерный диаметр D_{10}, мм	0,5	0,5
Коэффициент фильтрации, м/сут.	43,3	24,7

коса в сухом состоянии и под водой также изменяется мало — всего на 8 %. Отмеченное обстоятельство облегчает поддержание постоянного состояния загрузки в процессе ведения экспериментальных работ. В передней торцевой стенке лоток имеет круглое отверстие диаметром 50 мм, через которое выполняется продавливание трубок или стержней. Вход в лоток перекрыт направляющей втулкой, ее внутреннее отверстие подбирается в зависимости от диаметра продавливаемых трубок. Направляющая втулка снабжена фланцем, удерживающим войлочный или резиновый сальник, который создает уплотнение и препятствует истечению из лотка воды и песка.

Нажимное устройство (рис. 3.16) представляет собой систему винтового домкрата, приводом которому служит электродвигатель мощностью 0,27 кВт с числом оборотов 1400 об/мин. Движение от электродвигателя передается через редуктор с передаточным числом 20 к системе двух шестеренок, которые доводят общее передаточное число до 40. По винту, имеющему длину 560 мм и шаг 2 мм, движется гайка, жестко скрепленная с нажимным устройством посредством двух круглых стержней. Нажимное устройство состоит из зажима и упорной планки, связанной с соединительными стержнями. Зажим выполнен из патрубка, диаметр которого подбирается в зависимости от диаметра продавливаемой трубки. Внутри патрубка устанавливаются два полукольца, которые прижимаются к продавливаемой трубке с помощью болта. Зажим посредством торцевой выточки входит в упорную планку, на которую передается усилие от винта.

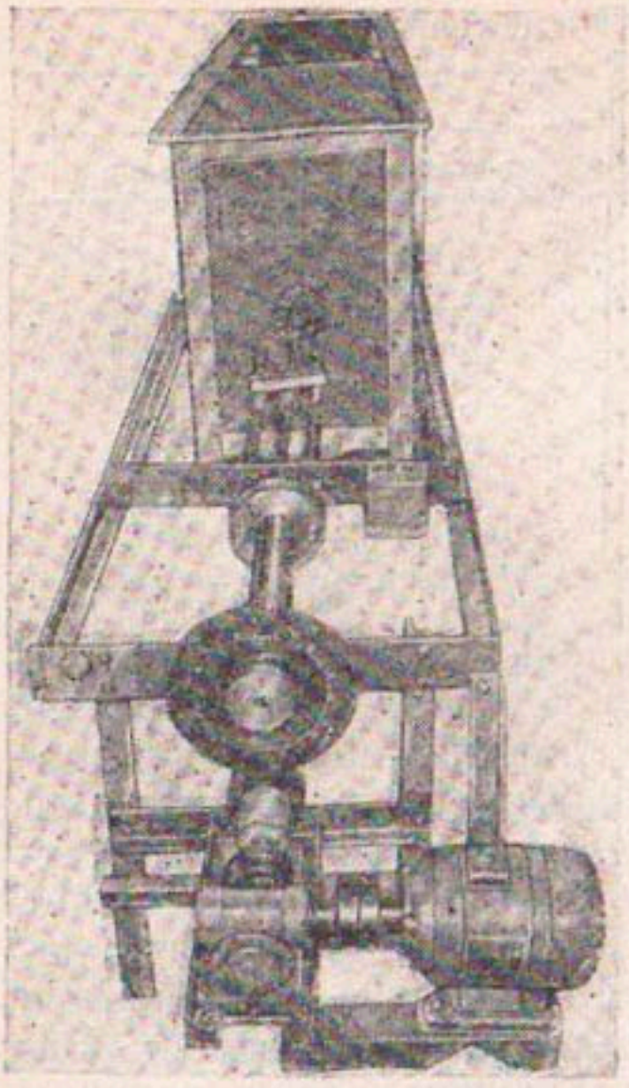


Рис. 3.16. Экспериментальная установка с нажимным устройством и грунтовым лотком для исследования проходки горизонтальных скважин методом продавливания

Измерительное устройство состоит из системы двух динамометров, фиксирующих усилие продавливания. Динамометры установлены в разрыве силовой системы «зажим — упорная планка» и работают на сжатие. Тарировка динамометров выполнена с использованием таблицы, приведенной в инструкции по их эксплуатации. Второй основной параметр — отклонение трубки от горизонтального направления — определялся с помощью специального мерного щупа, который представляет собой стальную мерную линейку и горизонтальную пластину, фиксирующую плоскость отсчета. Указанное устройство позволяет измерять глубину расположения задавливаемой трубки по всей длине задавливания.

Нажимное устройство рассчитано таким образом, что скорость продавливания всегда остается постоянной и равной 70 мм/мин (то есть близкой к фактической скорости продавливания в натуре). Влияние изменяющегося сопротивления среды отражается в изменении усилий, замеряемых динамометрами. Таким образом, величина усилий продавливания является основной характеристи-

кой, используемой при анализе результатов экспериментов. Опыты проводились при трех типах песчаной загрузки: с откосом в задней части лотка; с откосом в передней его части; равномерная загрузка по всей длине лотка.

Первый тип загрузки имитировал натурные условия Уфимского водозабора, где наличие берегового откоса снимало часть бытового давления на продавливаемые трубки. В этих условиях возникли трудности, связанные с затиранием песка в уплотняющем устройстве, что приводило к искажению результатов измерений. Аналогичные трудности возникали и при равномерной загрузке лотка по всей его длине. В этом отношении наиболее строгими оказались опыты, проведенные в лотке при загрузке 2-го типа, когда сопротивления в направляющей втулке были равны нулю. В двух других случаях эти сопротивления приходилось учитывать отдельно и исключать при анализе результатов опыта.

В качестве загружаемого материала использовали песок в 3 состояниях: маловлажный в рыхлом состоянии; песок с влажностью 18 % и песок, насыщенный водой.

Серия специальных опытов была проведена в условиях увеличения бытового давления грунта, которое моделировалось дополнительной весовой нагрузкой на поверхность песка. Это давление, распределенное по площади, принималось равным 0,06 и 0,1 кг/см^2. Повысить бытовое давление на большую величину не удалось, так как стенки лотка на большие нагрузки не рассчитаны.

Эксперименты проводились с трубками диаметром 16 мм и 25 мм наконечниками различных форм (рис. 3.17).

В процессе экспериментов определялись общее сопротивление продвижению наконечника и сопротивление бокового трения по длине трубок. Кроме этого была проведена серия опытов по определению лобовых сопротивлений наконечников разного типа и формы, что позволило более строго охарактеризовать достоинства каждого из них. Эти опыты проводились путем внедрения в грунт наконечников, которые предварительно отделялись от продавленной трубки.

Усилия продавливания замеряли по длине трубки с интервалом 0,2 м, отклонения трубки от горизонтальной оси фиксировали с интервалом 0,4 м. Каждый опыт

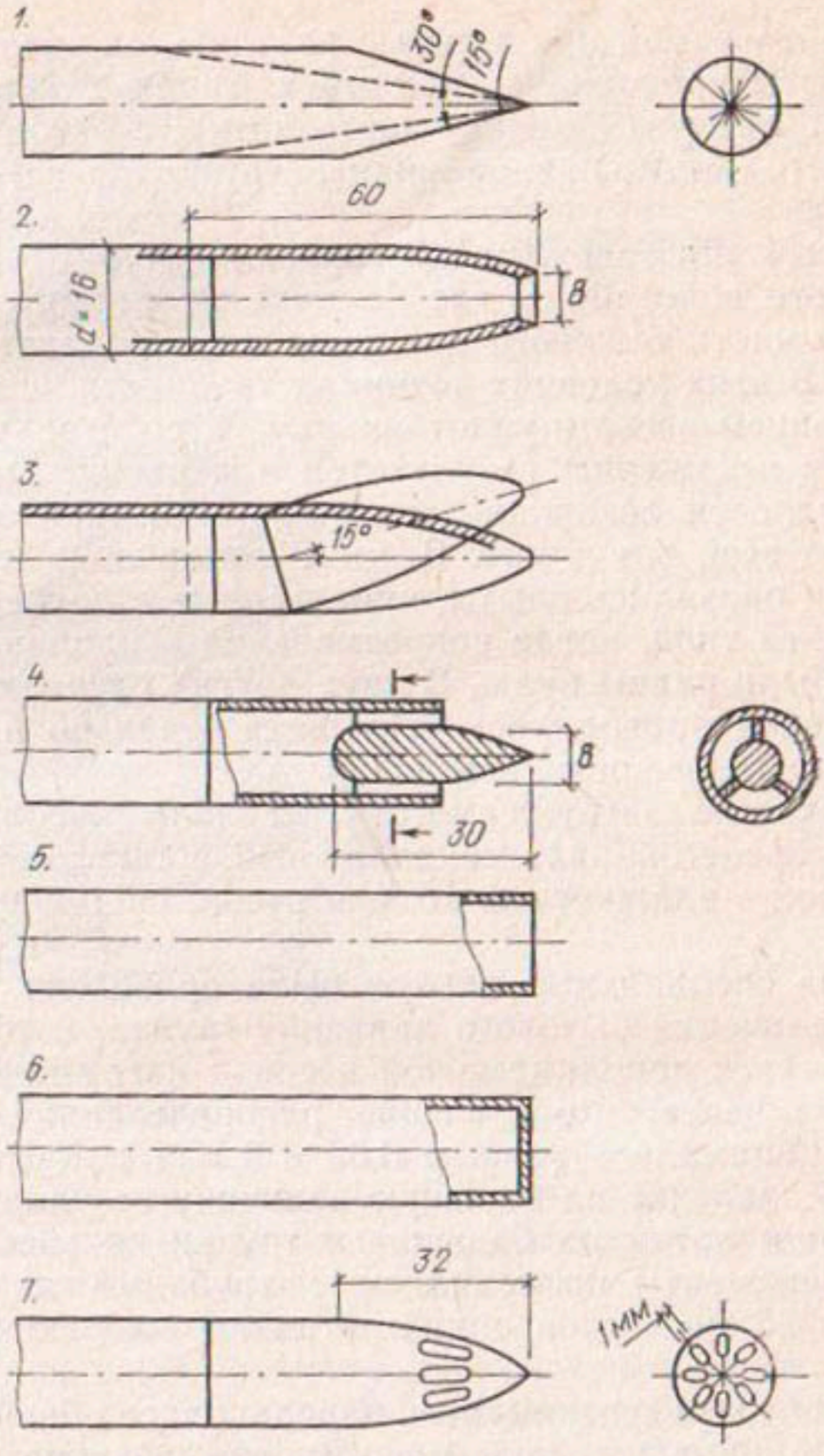


Рис. 3.17. Лабораторные модели направляющих головок (наконечников)

1 — коническая с углом заострения 15° и 30°; 2 — коническая с центрально-расположенным осевым отверстием; 3 — оваловидная без шламозаборных отверстий; 4 — с кольцевым отверстием; 5 — с открытым торцом; 6 — со сплошной заглушкой; 7 — оваловидная со шламозаборными отверстиями

повторяли 3—4 раза (в сухом песке) и 2—3 раза (во влажном песке и при полном влагонасыщении). Перед последующим опытом (особенно в сухом песке) производили его рыхление, обеспечивающее примерно одина-

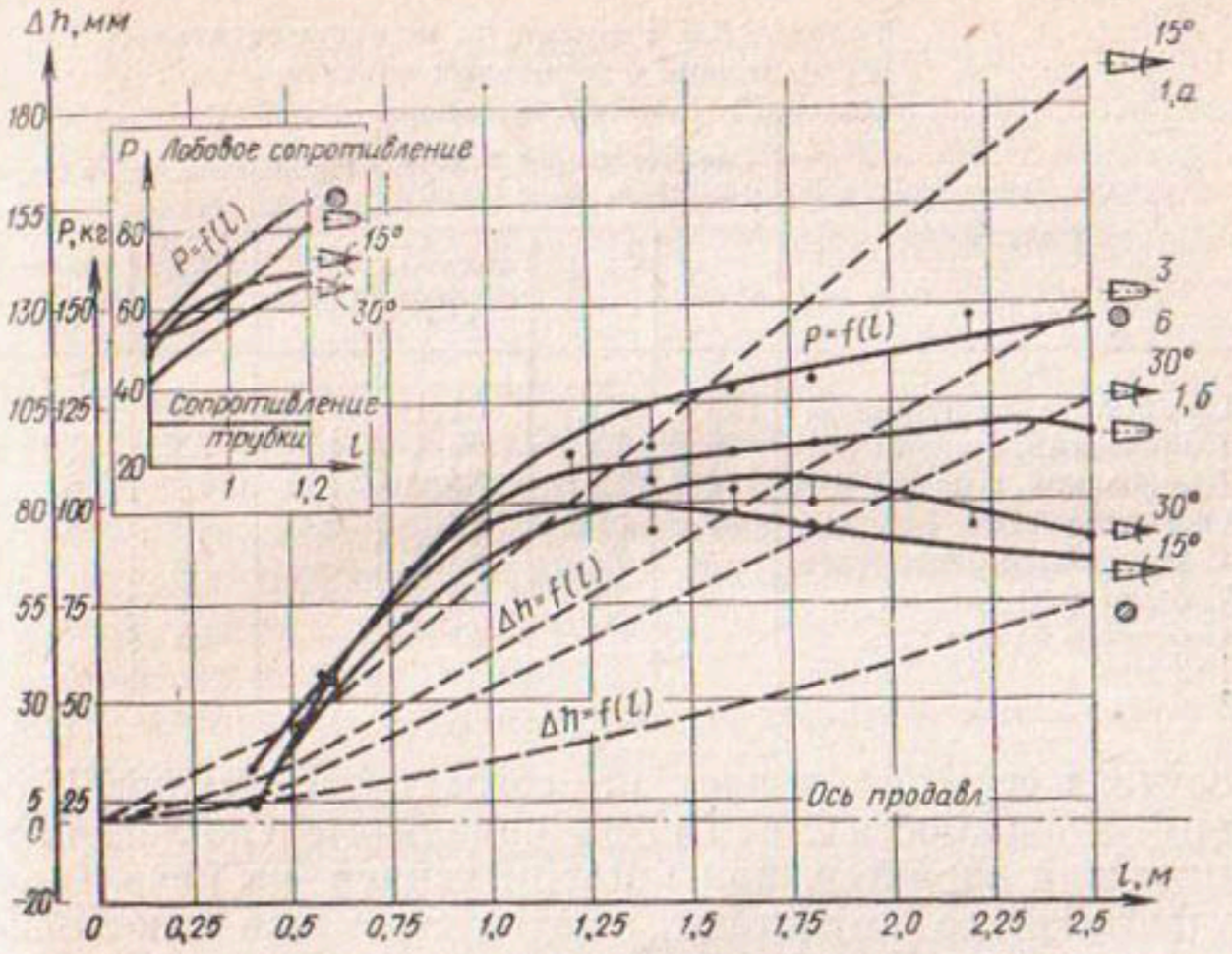


Рис. 3.18. Графическая зависимость усилий P нажимного устройства и отклонений Δh продавливаемых моделей горизонтальных труб от длины проходки

ковую плотность среды. При обработке опытных данных результаты замеров по нескольким повторностям осредняли. Отдельно было определено сопротивление, которое испытывала продавливаемая трубка в направляющей втулке. Эта величина, равная примерно 8 кг, исключалась из рассмотрения и на сопоставление различных опытов влияния не оказывала. Анализ данных (рис. 3.18, табл. 3.5) позволяет сделать следующие выводы.

Глубина заложения скважин, а следовательно, и бытовое давление существенно влияют на усилия продавливания. В зоне низового откоса усилия резко снижаются и достигают минимума. Для ряда случаев уменьшение усилий связано с отклонением трубок вверх и соответственно уменьшением бытового давления. Такое же явление наблюдается и в натуре. Увеличение глубины заложения скважин (бытового давления) в 2—3 раза дает повышение усилий в 1,75—2,2 раза.

Длина проходки скважин, связанная с увеличением бокового трения поверхности трубки о грунт, во всех

Таблица 3.5. Результаты экспериментальных исследований в грунтовом лотке

Наконечник	Среднее усилие задавливания, кг, в песке			Отклонение, мм, в песке		
	сухом	влажном	водонасыщенном	сухом	влажном	водонасыщенном
Со сплошной заглушкой	129	83,8	61,1	56	15	15
Конический, с углом 30°	96,5	75,2	57,1	105	35	32
Конический, с углом 15°	114,2	73	54,2	130	25	22
Овоидный	92,5	68,9	58	200	40	40
С кольцевым отверстием	—	72,6	53,5	—	40	2
С открытым торцом	—	75,2	50,3	—	25	2
С осевым отверстием	—	68,3	57	—	55	8

случаях серьезно влияет на возрастание усилий. При этом зависимость P от l носит приблизительно логарифмический характер, при котором усилия на начальном участке резко возрастают, а затем стремятся к постоянной величине. Такой характер зависимости $P=f(l)$ наиболее четко выражен для условий сухого грунта и более сглажен для условий полного влагонасыщения. Например, в сухом песке на начальном участке продавливания длиной 0,5 м давление возрастает от 7—8 до 20—26 кг для загрузки с низовым откосом и от 25—40 до 90—110 кг для загрузки, равномерно распределенной по длине. Это означает, что на первых 0,5 м продавливания усилие возрастает в 3—4 раза. Для этих же условий на следующих 0,5 м (то есть на расстоянии 1 м от начала) усилие возрастает от 14—26 до 110—125 кг для равномерно распределенной загрузки. Это значит, что на вторых 0,5 м усилия возрастают всего в 1,05—1,15 раз. В песке, насыщенном водой, в пределах первых 0,5 м проходки давление вырастает от 20—25 до 55—60 кг, т. е. в 2,4—2,7 раз, а на вторых 0,5 м проходки — от 55—60 до 60—75 кг, т. е. в 1,1—1,25 раз.

Увеличение диаметра трубки также ощутимо влияет на возрастание величины давления. Сопоставительный эксперимент, проведенный с трубками диаметром 16 и 25 мм, показывает, что увеличение диаметра в 1,5 раза влечет повышение необходимого давления в 1,4—1,8 раз.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что увеличение площади боковой поверхности продавли-

ваемых труб за счет увеличения их длины на 1 см увеличивает усилия продавливания примерно на 1—2 %, а при увеличении диаметра трубки на 1 см — на 4,5—7 %. Таким образом, общее увеличение боковой поверхности трубки на 1 см² вызывает повышение необходимого усилия продавливания в среднем на 2—4 %. Следует заметить, что в натурных условиях по данным замеров давления по длине скважин Уфимского водозабора эта величина составляет в среднем 0,8—3,5 %, что вполне сопоставимо с лабораторными результатами.

Увеличение степени увлажнения грунта для всех типов наконечников, а особенно для наконечников, допускающих отбор шлама, существенно снижает усилия продавливания и отклонения трубки от заданного направления. Усилия в грунте сухом, влажном и насыщенном водой соотносятся соответственно как 1 : 0,65 : 0,47 — при использовании сплошного наконечника и 1 : 0,78 : 0,59— для конического (30°) наконечника. Отклонения трубок от горизонтального направления в грунте сухом, влажном и насыщенном водой соотносятся соответственно как 1 : 0,33 : 0,3 — при использовании конического (30°) наконечника и 1 : 0,20 : 0,17 — при использовании овалловидного.

Таким образом, выполняя функцию смазки, уменьшающей трение трубки о грунт, влага приводит к снижению усилий на 20—35 % — при увлажнении грунта и на 40—50 % — при полном его влагонасыщении. Аналогично этому во влажном и насыщенном водой грунте проходка скважин методом продавливания проходит с отклонениями, меньшими на 70—80 % от заданного направления, чем в сухом грунте. При этом существенной разницы в величинах отклонений в условиях влажного и насыщенного водой грунта нет.

Форма и конструкция наконечников, применяемых при продавливании, детально исследованы во всех сериях опытов, проведенных с трубками, а также в специальных экспериментах, где определяли величины лобового сопротивления. Лучшие результаты (с точки зрения величины усилий продавливания и отклонения от заданного направления) были получены при использовании наконечников с лобовыми отверстиями, испытания которых проводились во влажном и полностью насыщенном грунте. При этом для условий полного водонасыщения наименьшие усилия и отклонения обеспечивает открытый

торец трубы и наконечник с лобовым кольцевым отверстием. Во влажном грунте лучшие результаты по величине усилия обеспечивает наконечник с лобовым центральным отверстием, который, однако, отклоняется больше, чем другие.

Максимальные усилия необходимы в случае наконечника с закрытым торцом, хотя отклонение от горизонтали в этом случае меньше, чем в других. Аналогично работает и открытый торец трубы во влажном грунте — грунтовая пробка, забивающая отверстие, играет роль заглушки.

Близки по своим достоинствам конические наконечники с разными углами заострения, усилия для которых отличаются всего на 4—9 %. Технические возможности оваловидного наконечника определяют наилучшие результаты при работе в условиях водонасыщенного песка. Наибольшее отклонение от заданного направления вызывает самый заостренный конический наконечник (с углом 15°), меньшее отклонение в водонасыщенном и влажном грунтах обеспечивает оваловидный наконечник. В сухом грунте вследствие закупорки лобового отверстия наконечник с лобовым отверстием оказывает большее сопротивление, чем конический.

В результате проведенного исследования можно заключить, что в водонасыщенных грунтах наиболее целесообразно применение наконечников с лобовым и кольцевым отверстиями. Конические наконечники с различными углами заострения и оваловидный наконечник оказывают почти одинаковое сопротивление, хотя в водонасыщенных грунтах последний дает лучшие результаты. Отклонение трубок от заданного направления больше для заостренных наконечников и меньше для тупых. В связи с отмеченным, наиболее эффективным для проходки скважин в водонасыщенных рыхлых грунтах следует признать наконечник с кольцевым лобовым отверстием.

Глава 4. ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛУЧЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ

1. Практика применения лучевых водозаборов

Одним из последних по времени ввода в эксплуатацию (1985 г.) и наиболее крупным отечественным лучевым водозабором классического типа с проектной производительностью 33 тыс. м³ в сутки является лучевой водозабор города Каунаса (рис. 4.1, *а*).

Участок головных сооружений Каунасского городского водопровода Вичунай расположен в районе слияния рек Нямунас и Нерис. До последнего времени водозабор состоял из линейного ряда 17 вертикальных скважин, дававших 20—23 тыс. м³/сут. воды.

После введения в эксплуатацию в 1985 г. лучевого водозабора в работе осталось всего 6 скважин, остальные были отключены. Лучевой водозабор отстоит от крайних скважин ряда на 100—150 м к северу. Он построен на высоком левом берегу р. Нямунас. Инженерно-гидрогеологические изыскания в районе водозабора были проведены Министерством геологии Литовской ССР и содержали исследование аллювиальных песчано-гравийных отложений путем проведения буровых работ по нескольким створам, проложенным поперек реки и вдоль берега, а также опытно-фильтрационных работ. Эти исследования показали, что наиболее продуктивным является двухслойный водоносный пласт, состоящий из слоя мелко- и среднезернистого песка мощностью 13 м и лежащий ниже гравийного слоя мощностью 3,5—5 м крупностью гравия 1—3 мм (рис. 4.1, *б*). Коэффициент фильтрации изменяется в плане от 25 до 203 м/сут. Средний коэффициент фильтрации, принятый при проведении гидрогеологических расчетов, составляет 50—80 м/сут. Водоупором служат плотные глины моренного происхождения. В расчетной зоне развития депрессионной воронки установлено 10 скважин-пьезометров (рис. 4.1, *в*) для наблюдения за понижением уровня подземных вод, которые расположены на расстоянии 30—50 м одна от другой (4 скважины вдоль берега и 6 в створе, пересекающем реку). Одна наблюдательная скважина

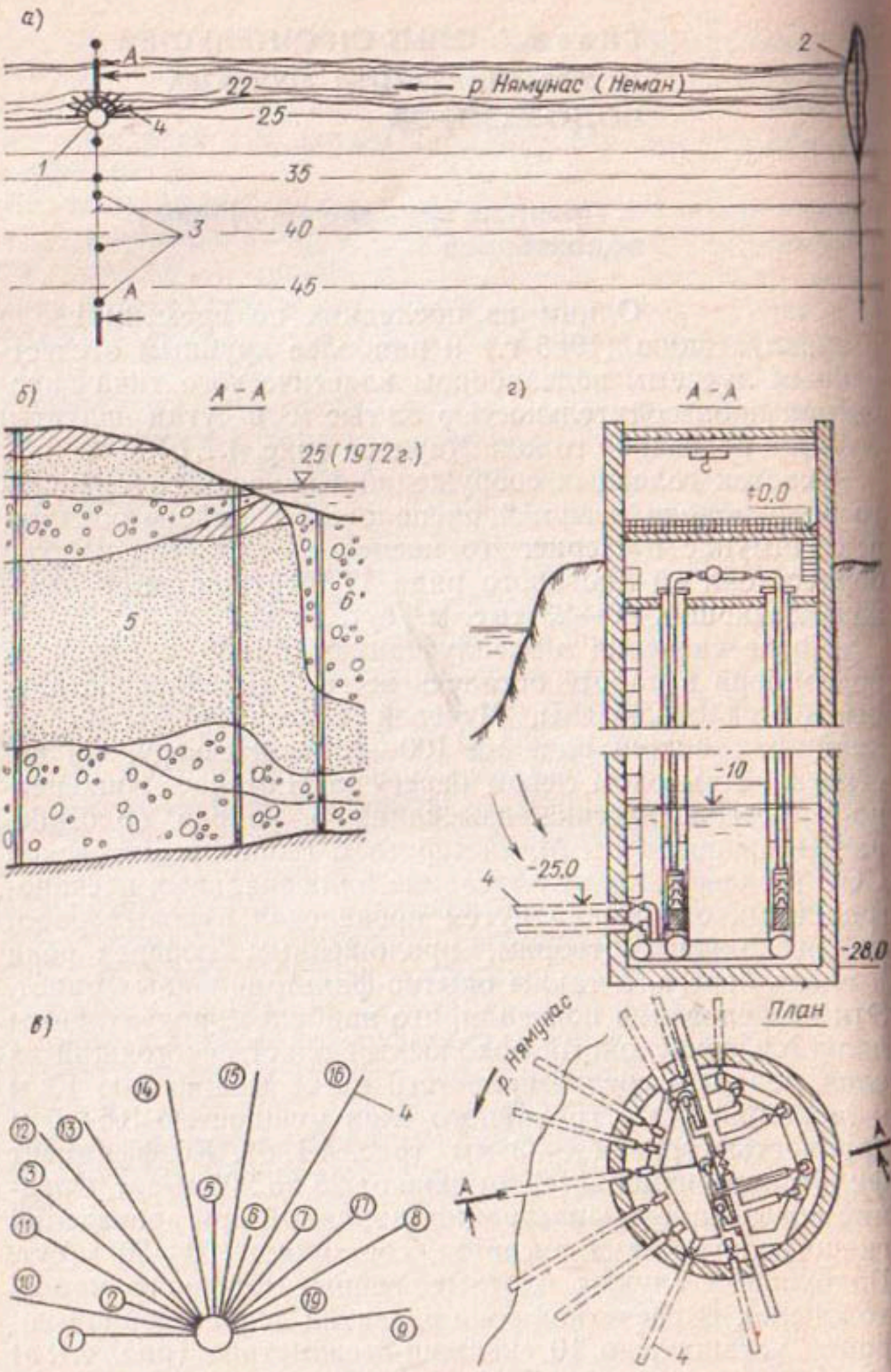


Рис. 4.1. Вичунайский лучевой водозабор на реке Нямунас

а — общая схема расположения водозабора; б — геолого-литологический разрез; в — плановая схема; г — вертикальный разрез по водосборной камере; 1 — лучевой водозабор; 2 — плотина Каунасской ГЭС; 3 — наблюдательные гидрорежимные скважины; 4 — горизонтальные дрены; 5 — песок; 6 — гравий

была размещена на противоположном берегу реки для определения гидравлической связи подрусловых вод с рекой при работе водозабора.

Водосборная камера (см. рис. 4.1, *г*) водозабора представляет собой шахтный колодец круглого в плане сечения глубиной 28 м с внутренним диаметром 6 м. Толщина стенок колодца, сооруженного опускным способом, в нижней части равна 1,9 м.

Водоприемная часть водозабора представляет собой 2-ярусную систему из 17 трубчатых фильтров диаметром 100 и 150 мм, проложенных в горизонтальные радиальные скважины, которые были пройдены методом вращательного шнекового бурения (см. гл. 3). Скважность фильтров 3—5 %, щелевые отверстия, прорезанные лазерным лучом, размещены в шахматном порядке и имеют длину 10—12 мм, ширину 1—2 мм. Лучи расположены под углом 11° (кроме лучей 8, 9 и 13, 14, которые расходятся под углом 22°) и имеют длину 5,8—40,2 м. Общая длина всех скважин составляет 424,4 м. Устьевые (начальные) участки радиальных скважин закрыты глухими обсадными трубами без перфорации. Их длина l_0 и длина фильтровой части по каждому лучу l приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Длина горизонтальных дрен Каунасского лучевого водозабора

Ярус, номер луча	l, м	l_0, м	Ярус, номер луча	l, м	l_0, м
I, 1	16,2	2	II, 10	27	5
2	5,8	—	11	25,2	3
3	23	3	12	40,2	22
4	23,9	3	13	27,6	3
5	24	3	14	38,4	20
6	18,6	2	15	40,2	22
7	22,4	2	16	40,1	22
8	30,3	2	17	20,5	3
9	27	5			

Результаты опытных откачек, проведенных на водозаборе, показывают, что дебит отдельных лучевых скважин составляет 280—320 м³/ч. При работе 8 лучей и понижении уровня воды в водосборной камере $S_0=11{,}7$ м производительность водозабора $Q_8=730$ м³/ч; при работе 13 лучей и том же понижении соответственно произво-

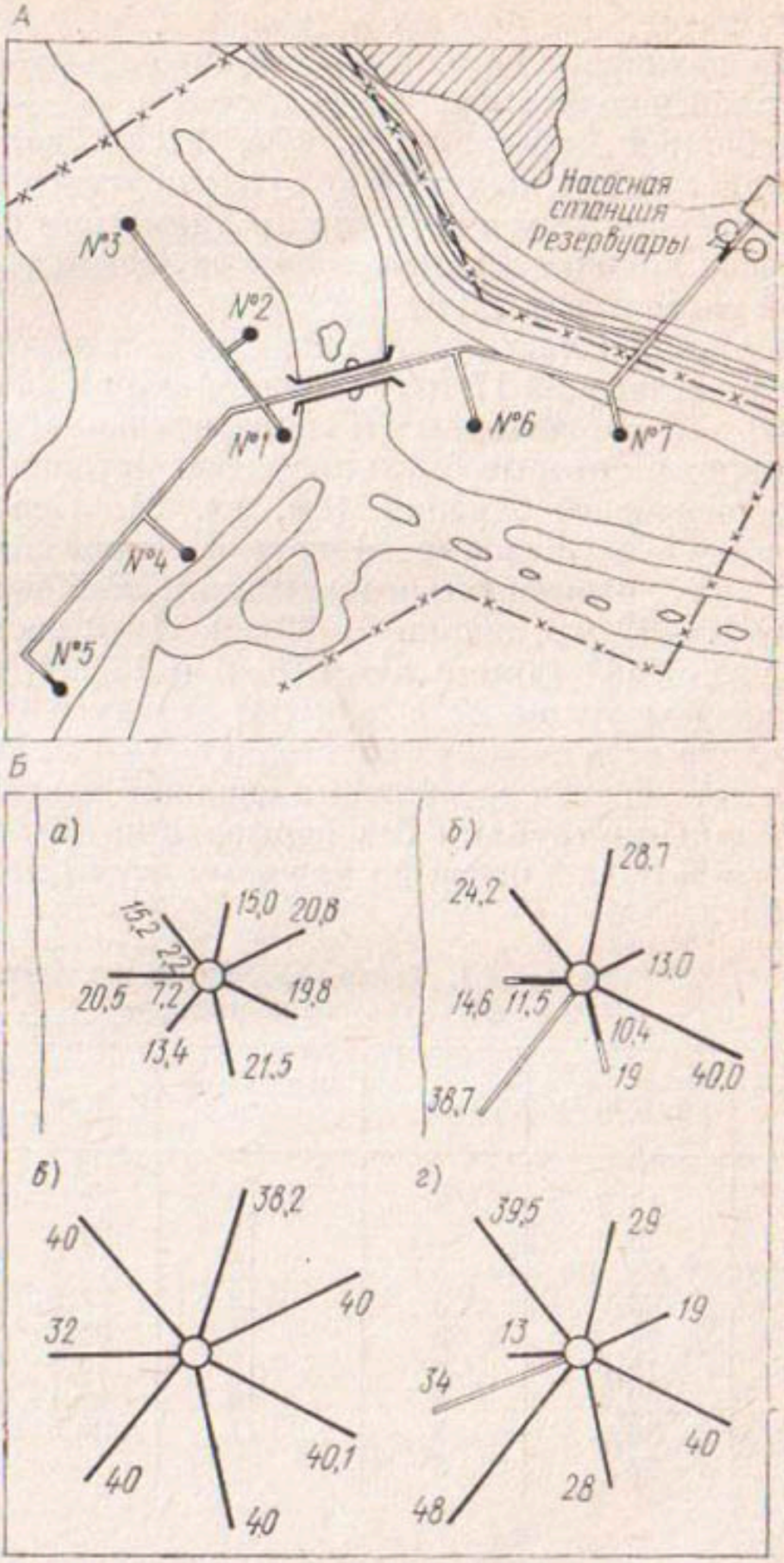


Рис. 4.2. Лучевые водозаборы в междуречье Храми—Дебеда

А — схема расположения лучевых водозаборов; Б — план водозаборов I очереди строительства (цифры в конце каждого луча — длины скважины, м, дополнительные лучи 2-го яруса показаны двойной линией): а — лучевой водозабор № 6 (Q=150 л/с, S=10 м); б — лучевой водозабор № 7 (Q=200 л/с, S=10 м); в — лучевой водозабор № 2 (Q=300 л/с, S=6 м); г — лучевой водозабор № 3

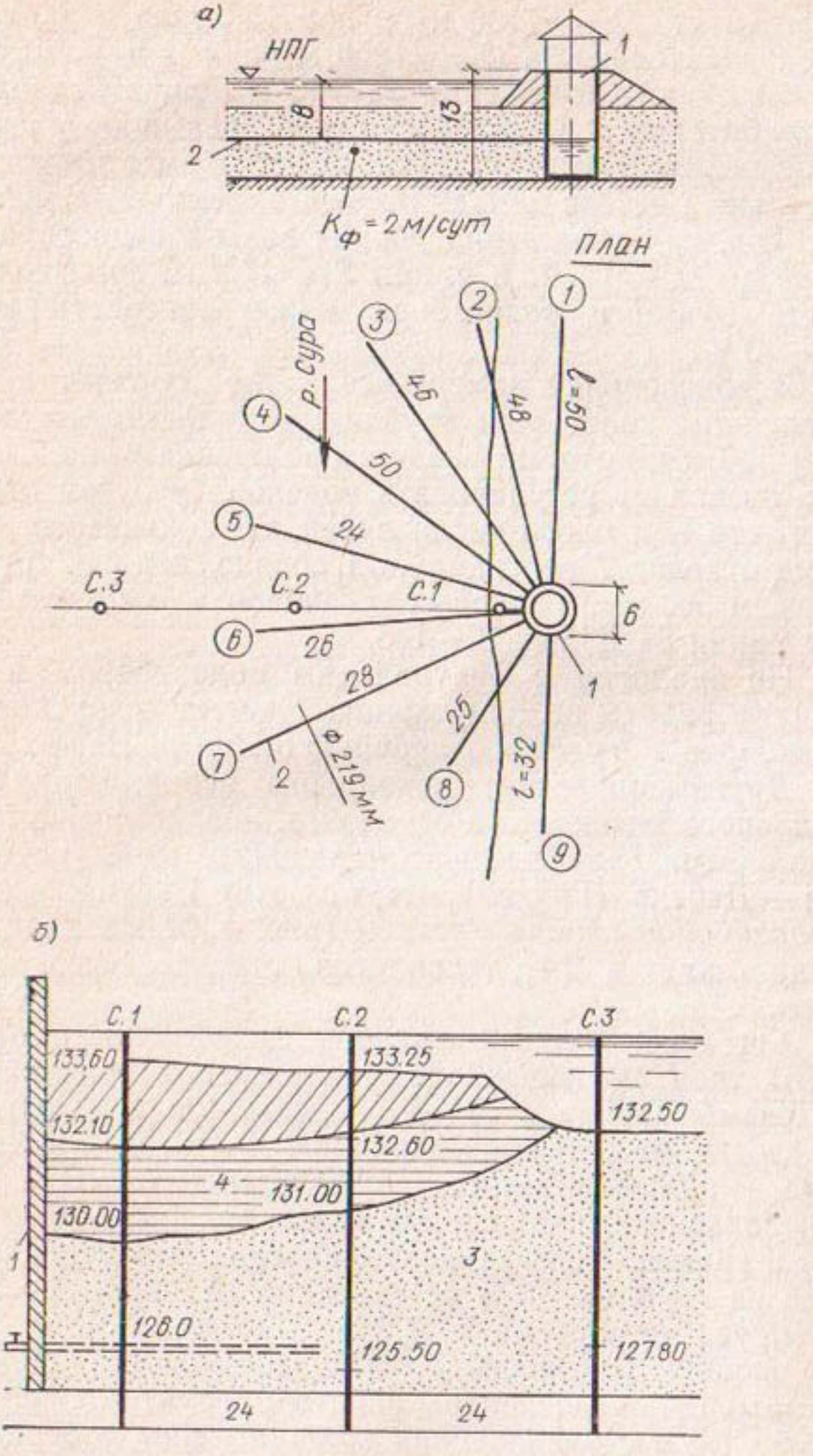


Рис. 4.3. Лучевой водозабор на р. Суре в Пензе

а — схема водозабора; б — геолого-литологический разрез по геологическим (изыскательским) скважинам 1...3: 1 — водосборная камера; 2 — горизонтальные дрены; 3 — мелко- и среднезернистый песок; 4 — глинистые грунты

дительность $Q_{13}=1100$ м³/ч; при 15 лучах и $S_0=12{,}5$ м производительность $Q_{15}=1250$ м³/ч; а при работе всех 17 скважин и понижении $S_0=13$ м общая подача воды потребителям $Q_{17}=1400$ м³/ч, т. е. превышает расчетную производительность. Следует отметить, что имеется значительный резерв дополнительного увеличения водоподачи. Так, при понижении уровня воды в водосборной камере до оси лучей, т. е. при $S_0=17{,}2$ м, производительность лучевого водозабора может возрасти еще на 30—40 %.

В водосборной камере все устья лучевых скважин соединены кольцевым трубчатым коллектором диаметром 500 мм, который разделен задвижками на 7 секций, что позволяет регулировать водоподачу путем отключения того или иного числа лучей. От кольцевого коллектора отходят 7 вертикальных водоподъемных труб диаметром 500 мм, в которых установлены погружные насосы марки ЭЦВ12—210—145.

По аналогии с Вичунайским водозабором в Литве начаты работы по сооружению лучевых подрусловых водозаборов Эйгулей и Клябонишкис на р. Нерис.

Другим примером локального использования водообильного водоносного горизонта, представленного аллювиальными галечными отложениями междуречья Храми — Дебеда (Грузия) могут служит 7 крупных лучевых водозаборов города Рустави (рис. 4.2). Их характеристика дана в [4], технология строительства описана в гл. 3.

Еще один крупный лучевой водозабор инфильтрационного типа построен для технического водоснабжения «Пензмашзавод» в пойме р. Суры. Он использует подрусловые отложения мощностью 6—10 м, представленные аллювиальными среднезернистыми песками с небольшими включениями глинистых линз, а также гальки и гравия. Коэффициент фильтрации водоносных песков на глубине 5,5 м от поверхности земли составляет 2 м/сут., на глубине 7—7,5 м — около 2,5 м/сут., преобладающая крупность грунта 0,25—0,5 мм. Покровные отложения представлены илистыми грунтами мощностью 0,65—1,6 м с увеличением толщины слоя к берегу.

В 1975—76 гг. из железобетонной шахты глубиной 13 м и диаметром 6 м методом прокола (без отбора шлама) с обсадными трубами проложено 9 горизонтальных радиальных скважин длиной от 24 до 50 м диаметром

200 мм (рис. 4.3). Фильтровые колонны представляют собой перфорированные круглыми отверстиями трубы диаметром 180 мм с обмоткой из латунной сетки (ячейка размером 0,3 мм).

Дебит отдельных лучевых скважин при их кратковременной работе в строительный период* составил: скважина № 1 (длиной 50 м) — 10 л/с; № 2 (48 м) — 20 л/с; № 3 (46 м) — 5 л/с; № 4 (50 м) — 20 л/с; № 5 (24 м) — 10 л/с; № 6 (26 м) — 4 л/с; лучи № 7 (длиной 28 м); № 8 (25 м) и № 9 (32 м) пробной откачке подвергнуты не были. При работе всех скважин вместе, но при понижении уровня воды в водосборном колодце до отметки 128 м (то есть на 1,7 м выше оси лучей) дебит водозабора, определенный по производительности насосов марки ЭЦВ12, составил около 1600 м^3/сут. Общая длина проложенных фильтровых труб составила 329 м, капитальные затраты на строительство водозабора — примерно 200 тыс. руб.

Крупный лучевой подрусловый водозабор для городского водопровода Оренбурга, эксплуатирующий инфильтрационные воды гравийно-песчаных отложений поймы р. Урал, был пущен в работу в 1985 г. Радиальная система, состоящая из 5 горизонтальных скважин длиной по 60 м и диаметром 426 мм проложена на глубине 1,2—1,5 м под дном реки из шахты диаметром 12 м. Производительность водозабора 10 тыс. м^3/сут. при понижении уровня в шахте 10 м.

Достаточно широкое распространение получили малые лучевые водозаборы в сельскохозяйственном водоснабжении, для которого на 80—90 % используются грунтовые воды. Водозаборы для сельхозводоснабжения начали использоваться еще с 50-х гг. и получили широкое распространение во многих сельскохозяйственных районах страны. Особенно активно применяются такие каптажные сооружения для скотоперегонных водопойных пунктов и для отгонного пастбищного водоснабжения в степных зонах, например, на Черных землях в Калмыцкой АССР. Здесь шахтные колодцы однометрового диаметра, сделанные из сборных железобетонных колец высотой по 1 м, были усилены трубчатыми фильтрами диаметром 100 мм и длиной по несколько метров, которые прокладывались методом прокола в маломощ-

---

* При понижении уровня воды в шахте ниже оси лучей.

ных водоносных пластах, сложенных слабопроницаемыми мелкозернистыми песчаными и даже супесчано-суглинистыми грунтами.

Важные работы по применению малых лучевых водозаборов для пастбищного водоснабжения проведены институтом «Южгипроводхоз» для обширного района юга Европейской части СССР [18].

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия многих отгонных пастбищ территории Северо-Западного Прикавказья характеризуются повсеместным распространением сильно засоленных грунтовых вод (с минерализацией более 10—15 г/л), которые непригодны даже для водопоя скота. Пресные и слабосоленые воды приурочены в основном к небольшим линзам и прослоям, расположенным в бассейнах и потоках соленых вод.

Пастбищное и сельскохозяйственное водоснабжение в таких условиях до последнего времени осуществлялось главным образом с помощью обычных шахтных колодцев диаметром 1 м, распространение которых стало особенно массовым благодаря широкому использованию буровых агрегатов КШК (копатель шахтных колодцев). Однако в условиях маломощных водоносных пластов (менее 1 м) и низкой водоотдачи слагающих их слабопроницаемых грунтов дебиты шахтных колодцев оказываются недостаточными (менее 0,1 л/с) и не удовлетворяют все возрастающим требованиям пастбищного водоснабжения.

В связи с этим наряду с сооружением шахтных колодцев большего диаметра (3—5 м), траншейных и других водозаборов с уширенной водоприемной поверхностью, нашли распространение малые лучевые водозаборы. В данном случае они представляют собой либо реконструированные старые шахтные колодцы, усиленные горизонтальными лучевыми фильтрами, либо вновь построенные специальные лучевые водозаборы, фильтры которых продавливаются в грунт с помощью специальной установки с гидравлическими домкратами, установленными на модернизированном агрегате КШК.

Исследованиями ЮжНИИГиМа, Южгипроводхоза [18] и других научно-исследовательских и проектно-изыскательских организаций установлено, что оптимальная длина лучей водозабора должна составлять в рыхлых грунтах 8—10 м, в связных водонасыщенных — 6—8 м, диаметр трубчатых фильтров 168 и 180 мм.

Для повышения производительности малых лучевых водозаборов, откачивающих воду из «верховодок», залегающих на коренных слоях непроницаемых горных пород, радиальные системы горизонтальных фильтров располагают ближе к водоупору. За последние годы в Ростовской и других областях южной зоны Европейской части СССР построено несколько десятков малых лучевых водозаборов, производительность которых в 2—3 раза превышает дебит обычных шахтных колодцев диаметром 1 м.

В аридных и полуаридных районах, где распространены прослои и линзы пресных вод, расположенные в толще засоленных подземных вод, находят применение и крупные лучевые водозаборы. В данном случае особенно актуальной является концентрированная откачка пресных вод и их отделение от вод с повышенной минерализацией. Поскольку линзы и прослои пресных вод имеют локальное распространение и их размеры по вертикали значительно меньше, чем в плане, то при использовании обычных скважинных водозаборов вертикального типа существует опасность подсасывания засоленных вод в фильтры водозаборных скважин сверху или снизу.

В связи с отмеченным для эксплуатации линз пресных вод небольшой мощности (до 8—10 м) эффективно использование двухъярусного лучевого водозабора с раздельной откачкой пресных и засоленных вод [4]. Как показывают исследования, для предотвращения подсасывания минерализованных вод в пресных линзах мощностью 5—6 м верхний ярус радиальных горизонтальных скважин должен быть заложен на 3—4 м ниже кровли линзы пресных вод, а нижний — на глубине 1,5—3 м ниже горизонтальной границы раздела пресных и засоленных вод. Эта граница создается в результате одновременной откачки воды двумя отдельными насосами из двух отсеков водосборной шахты разделенных горизонтальным герметичным перекрытием. Схема двухъярусного лучевого водозабора, ведущего откачку из прослоя или линзы пресных вод для сельскохозяйственного водоснабжения, разработана в институте ВСЕГИНГЕО Министерства геологии СССР в 1965 г. (рис. 4.4).

Если мощность прослоев и линз пресных вод, «плавающих» на засоленных водах, превышает 10 м, может быть применен и обычный одноярусный лучевой водозабор с ограниченной производительностью, при которой

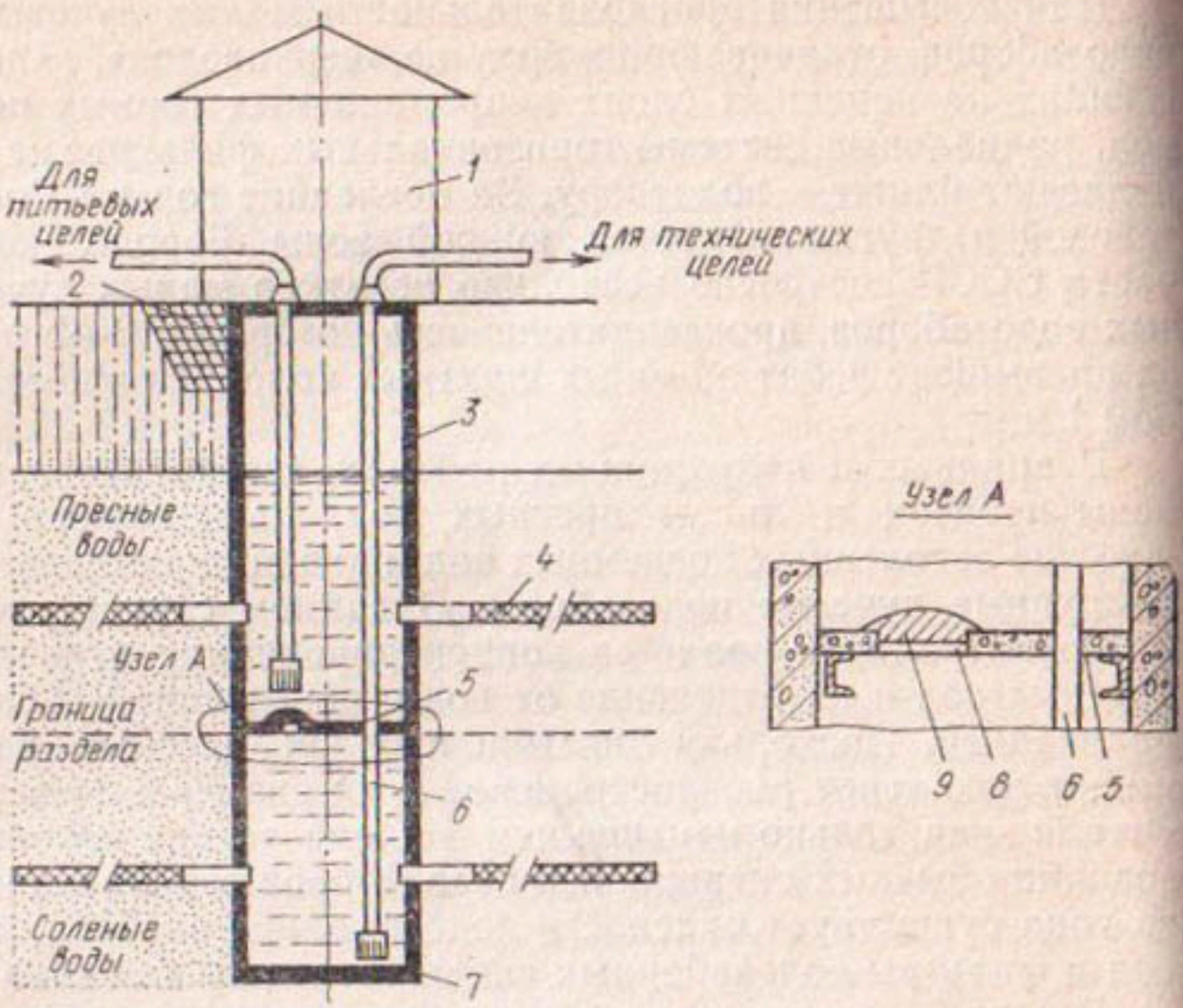


Рис. 4.4. Двухъярусный лучевой водозабор для эксплуатации линз пресных вод

1 — насосная станция; 2 — бетонный замок; 3 — железобетонная шахта; 4 — лучевые фильтры; 5 — разделяющая железобетонная перегородка; 6 — всасывающие трубопроводы; 7 — бетонное дно; 8 — люк; 9 — крышка люка

не допускается подтягивание купола засоленных вод к водоприемным фильтрам.

В самостоятельную группу можно выделить горизонтально-лучевые водозаборы, которые строят открытым способом с предварительным вскрытием траншей или котлованов. Такие водозаборы имеют технико-экономические преимущества перед лучевыми водозаборами, которые сооружают закрытым способом при глубине заложения горизонтальных радиальных дрен до 8 м (см. гл. 3, п. 1) . Дополнительным их достоинством является возможность более качественной укладки песчано-гравийной обсыпки трубчатых фильтров, которая при использовании закрытых способов строительства сильно затруднена. Благодаря этому обстоятельству применение открытого способа устройства горизонтально-лучевых водозаборов дает особенный эффект в водоносных плас-

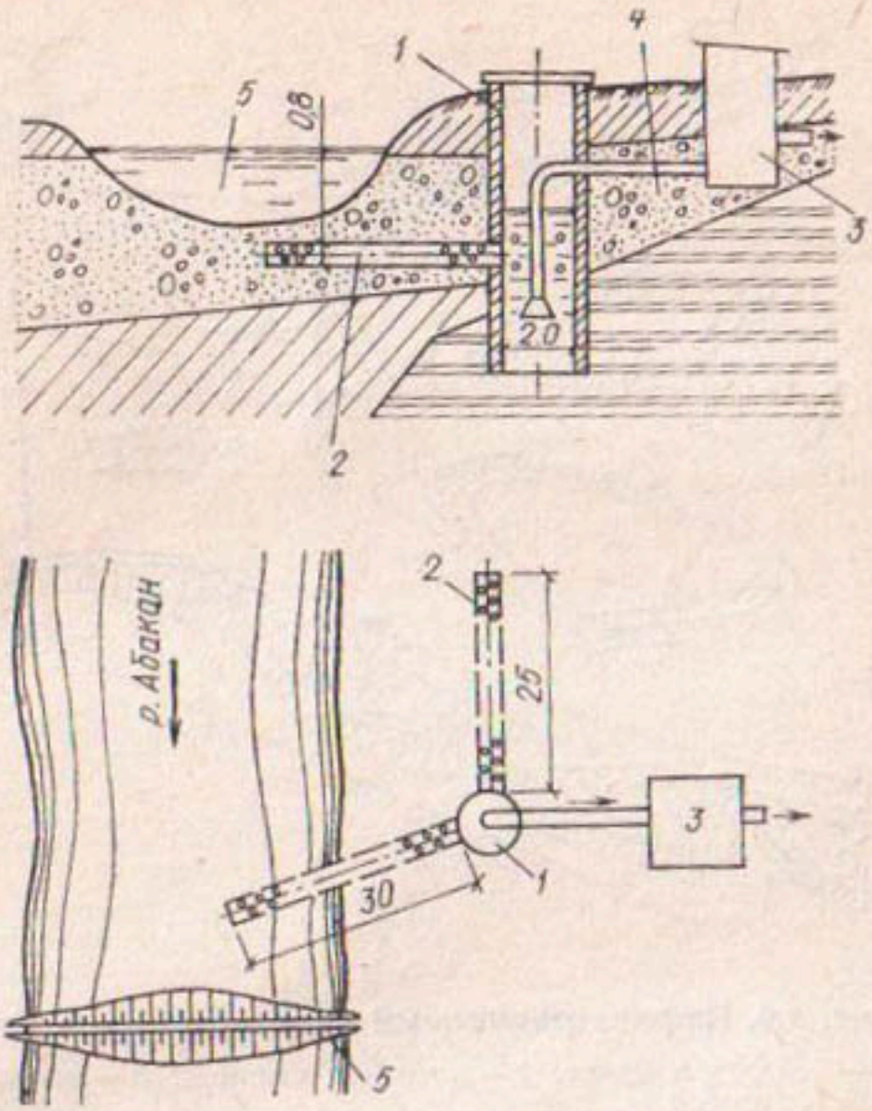


Рис. 4.5. Двухлучевой трубчатый водозабор Абаканского зерносовхоза

1 — водосборный колодец; 2 — горизонтальные лучевые дрены; 3 — насосная станция 1 подъема; 4 — галечниковые грунты; 5 — водонапорная плотина

тах, сложенных грунтами с невысокими фильтрационными свойствами, а также имеющими большую плановую неоднородность. В этих случаях недостаточную водопроницаемость естественных грунтов можно заменить высокой водопроницаемостью искусственных грунтов достаточно мощной фильтровой обсыпки.

Примером горизонтально-лучевого водозабора, построенного открытым способом на берегу р. Шиша для технического водоснабжения Шелутского спиртового завода (50 км от литовского г. Клайпеда), может служить 4-лучевой водозабор производительностью 17 л/с с горизонтальными трубчатыми фильтрами диаметром 200 мм длиной 17 и 20 м. Дренажные водоприемные фильтры были сделаны из перфорированных асбестоцементных труб, уложенных на глубине около 6 м от поверхности земли в открытом котловане с его обратной засыпкой песчано-гравийным грунтом с коэффициентом фильтрации примерно 10 м/сут.

Двухлучевой инфильтрационный водозабор с подрусло-во-береговыми дренами построен траншейным спосо-

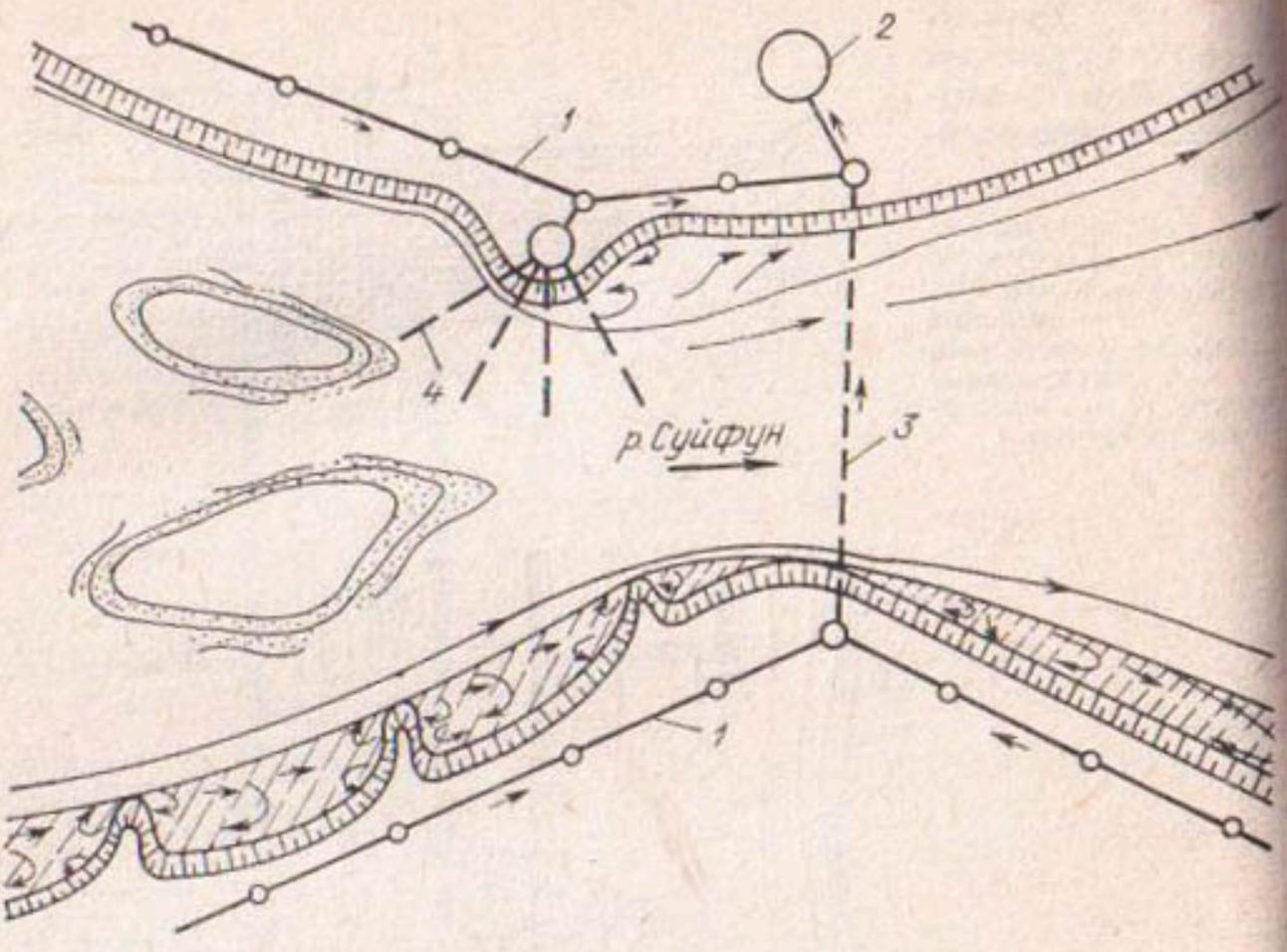


Рис. 4.6. Инфильтрационный водозабор на р. Суйфун

1 — береговая дрена; 2 — насосная станция; 3 — подрусловая дрена; 4 — лучевой водозабор

бом на берегу р. Абакан (приток р. Енисей) в Красноярском крае для снабжения водой Абаканского зерносовхоза [25] — рис. 4.5. Трубчатые фильтры длиной 30 и 25 м и диаметром 800 мм были проложены на глубине 3 м от дна реки и 5 м под уровнем грунтовых вод в гравийно-галечных аллювиальных отложениях с коэффициентом фильтрации 150—350 м/сут. Вода из лучей поступает в водосборный железобетонный колодец диаметром 2 м, откуда откачивается насосом. При этом насосная станция расположена раздельно от водосборного колодца на незатопляемых рекой в паводок отметках.

Подрусловый инфильтрационный лучевой водозабор с 4 трубчатыми фильтрами построен в Приморском крае на р. Суйфун (рис. 4.6). В условиях меандрирующей и размывающей берега реки лучевой водозабор играет роль добавочного водозаборного сооружения к трубчатому горизонтальному водозабору с тремя береговыми и одной подрусловой дренами [25].

Восемь инфильтрационных береговых лучевых водозаборов необычной конструкции запроектированы инсти-

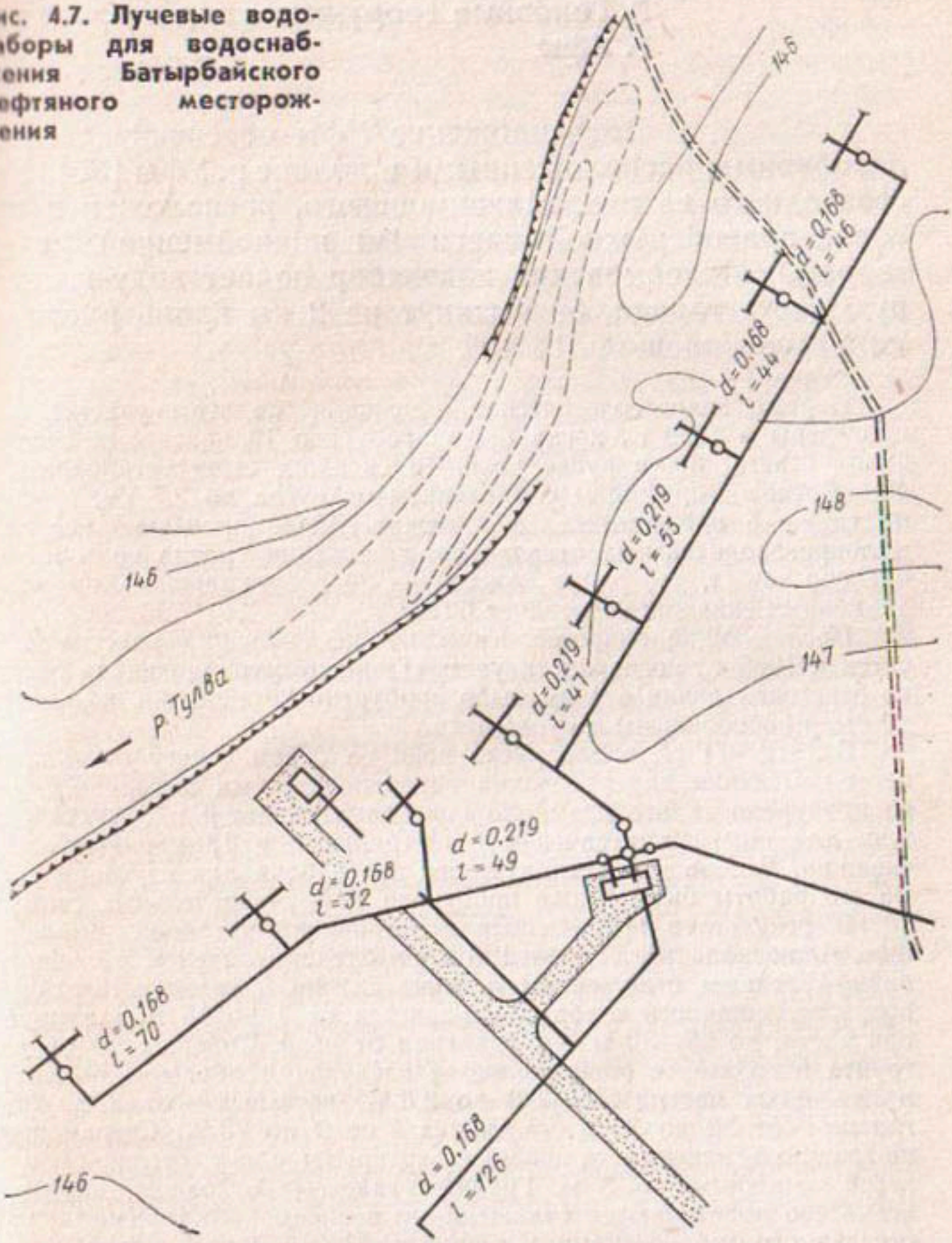


Рис. 4.7. Лучевые водозаборы для водоснабжения Батырбайского нефтяного месторождения

тутом «Союзводоканалпроект» для технического водоснабжения Батырбайского нефтяного месторождения на р. Тулва в Башкирии (рис. 4.7, с указанием гидроизогипс). Здесь «раскладные» трубчатые фильтры, соединенные с трубчатым водосборным колодцем, устанавливались в котловане без водоотлива и водопонижения [27].

2. Головные сооружения водопровода г. Уфы

Водоснабжение Уфы обеспечивается водозаборами, расположенными в долине р. Уфы [30]. Участок одного из них, Максимовского, расположен в пределах правобережной части 1-й надпойменной речной террасы. Максимовский водозабор подает воду в северную часть города, он вытянут на 2 км вдоль русла реки и имеет площадь 14 км².

Первые гидрогеологические изыскания на этом участке были проведены в 1959 г., когда было пробурено 12 поисковых скважин вдоль берега, 8 — в русле реки, 18 скважин было установлено по 4 поперечным профилям с удалением от русла до 2,5 км, пробурено также 5 наблюдательных скважин. Было проведено несколько малопроизводительных откачек без понижения уровня воды и установлено также, что дебит каждой из 30 рекомендованных эксплуатационных скважин составляет 60 л/с.

Последующие гидрогеологические исследования участка относятся к 1965 г., когда институтом «Гипрокоммунводоканал» по длине береговой линии в 1 км было пробурено 29 скважин, из которых 19 были расположены в русле реки.

В 1970—71 гг. вдоль русла реки на левом берегу были проведены изыскания для уточнения ранее полученных материалов. Всего пробурено за это время 28 поисковых скважин и 3 куста скважин для опытных откачек — 6 центральных и 15 наблюдательных скважин. В зоне действия лучевого водозабора для изучения режима его работы было также пробурено 10 наблюдательных скважин.

В результате проведенных исследований установлено следующее. Аллювиальный водоносный горизонт приурочен к песчано-гравийно-галечным отложениям р. Уфы нижне- и среднечетвертичного возраста, мощность которых изменяется от 4 до 15 м в прирусловой части, до 25—30 м — в удалении от реки. Содержание фракций грунта в горизонте распределяется следующим образом: пылеватых и глинистых частиц — от 0,3 до 2,8 %, песчаных — от 2 до 36 %, гравия — от 22 до 70 %, галечника — от 9 до 73 %. Сверху песчано-гравийно-галечные отложения перекрыты слоем суглинков и супесей мощностью 4—6 м. Гравийно-галечные отложения почти повсеместно подстилаются отложениями соликамского горизонта, представленного известняками и глинами. Их мощность колеблется от 5—10 до 40 м.

Аллювиальный водоносный горизонт безнапорный, в период летне-зимней межени уровень воды находится на глубине 4—5 м. Абсолютные отметки уровня грунтовых вод 95 % обеспеченности составляют 87,47 м на севере и 86,39 м на юге участка. Режим уровней водоносного горизонта тесно связан с режимом уровней воды в реке. Близость расположения Максимовского участка от города, хорошее качество и достаточный запас подземных вод обусловили необходимость дальнейшего развития водозабора, который до 1974 г. состоял только из открытого речного водозабора и 12 береговых инфильтрационных скважин.

Для увеличения водоподачи в городскую сеть Уфимского водопровода было принято решение усилить головные сооружения Максимовского участка путем строительства нескольких лучевых водозаборов. Их устройство затрудняла небольшая по величине мощность подруслового водоносного пласта. Следует отметить, что уфимские лучевые водозаборы — одни из первых в мировой практике, когда горизонтальные фильтровые трубы длиной свыше 40 м методом продавливания прокладывали из шахты в тонком пласте, мощность которого под руслом реки составляет всего 2,3—5,4 м [30]. Согласно проекту, разработанному институтом «Гипрокоммунводоканал», на Максимовском участке предполагалось устройство 7 лучевых водозаборов.

В 1970 г. трестом Башспецнефтестрой Министерства промышленного строительства СССР был сдан в эксплуатацию первый береговой лучевой водозабор (№ 2). В 1972 г. закончено строительство второго лучевого водозабора (№ 1), а в 1979 г. — третьего (№ 3), который стал одним из наиболее крупных лучевых водозаборов, построенных в СССР. Водозабор № 3 находится на расстоянии 700 м от водозабора № 2 и 860 м от № 1 вверх по течению реки.

Уфимские лучевые водозаборы (рис. 4.8) состоят из опускных колодцев (шахт) глубиной 17,5 м с внутренним диаметром 8 м, из которых на высоте 1—3 м от водоупора проложено по 5 горизонтальных подрусловых скважин с углом 20° между лучами. В процессе эксплуатации водозабора фильтрующаяся через слой гравийно-песчаного грунта речная вода поступает в скважины и стекает по ним в колодец, откуда откачивается насосами и подается в магистральный водовод городского водопровода.

Водоносный слой, из которого ведется отбор воды, сложен гравийно-песчаными речными отложениями, коэффициент фильтрации составляет 100 м/сут. Напор грунтовых вод, отсчитываемый от уровня воды в реке до оси лучей, составляет в межень — 3,6 м, в паводок — 12 м.

По проекту на лучевых водозаборах предусматривалось устройство 7 горизонтальных скважин длиной 30—75 м с водоприемной фильтровой частью длиной 20—42 м (остальная часть скважин — глухие обсадные трубы).

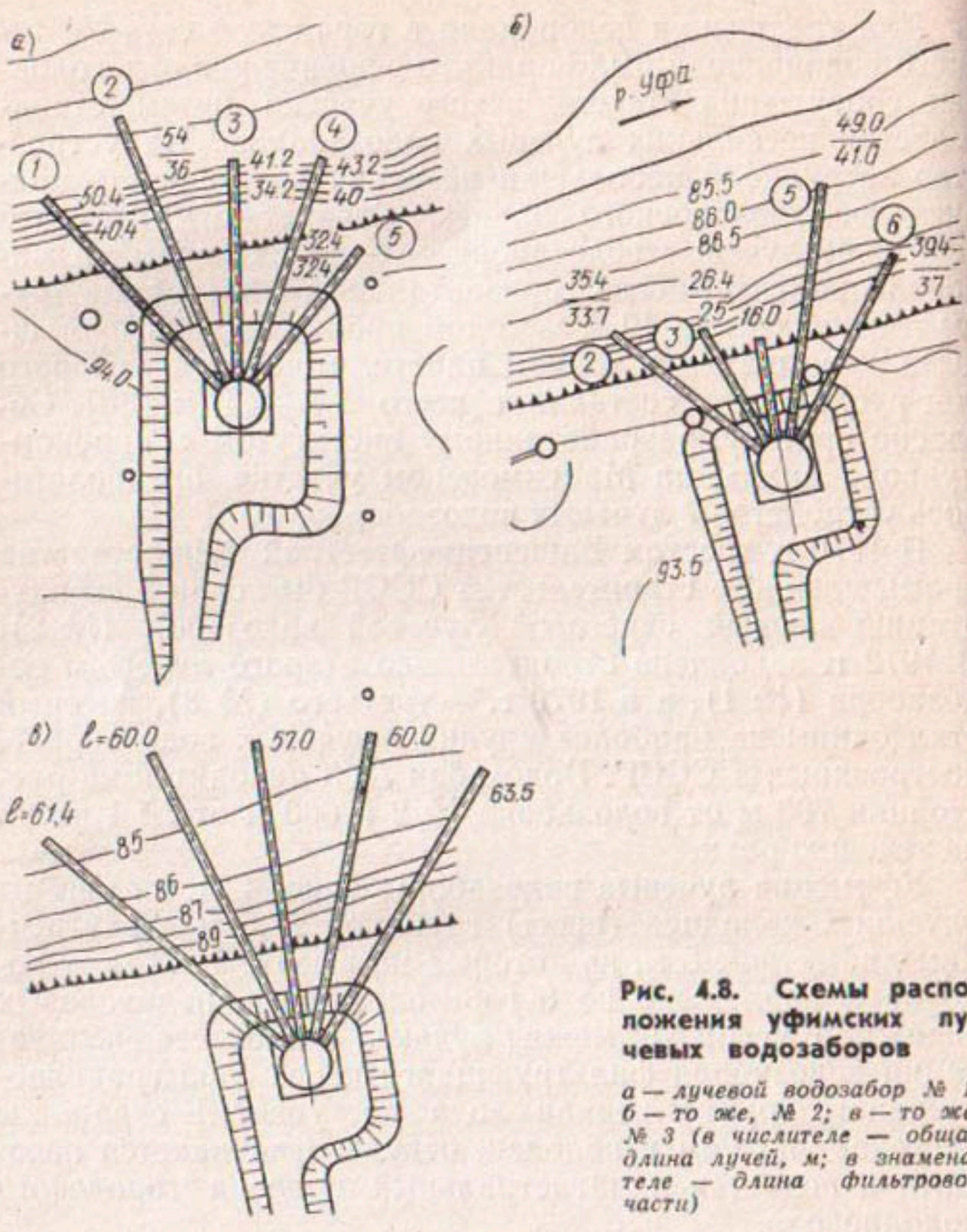


Рис. 4.8. Схемы расположения уфимских лучевых водозаборов

а — лучевой водозабор № 1; б — то же, № 2; в — то же, № 3 (в числителе — общая длина лучей, м; в знаменателе — длина фильтровой части)

Строительство лучевого водозабора № 1 осуществлялось в соответствии с проектом организации работ, согласно которому опалубка опускного колодца выполнялась из железобетонных плит — оболочек размером $1 \times 2 \times 0{,}12$ м, что значительно упростило и ускорило производство работ по бетонированию шахты, которое проводилось тремя этапами по мере опускания колодца. Песчано-гравийный грунт разрабатывали грейфером емкостью 0,5 м^3, плотная глина с обломками известняка разрыхлялась гидроразмывом.

Перфорированные фильтровые трубы скважностью 11,5 % изготовлялись звеньями длиной по 2 м, которые затем укрупняли в 4-метровые. Щелевую перфорацию размером 150×7 мм выполняли на заводе фрезерованием. Концы звеньев протачивали на токарном станке, при этом наружный диаметр труб составляет 426 мм, толщина стен — около 28 мм.

Проходку скважин осуществляли методом продавливания. Для этого в передней части луча устанавливали направляющую головку. В связи с тем, что давление грунта, а следовательно, и плотность его в нижней части трубы выше, чем в верхней ее части, продавливаемая колонна горизонтальных труб имеет тенденцию отклоняться вверх. Кроме того, при достижении скважиной подрусловой части водоносного пласта меньшей мощности (по сравнению с берегом), где бытовое давление грунта значительно меньше, грунт выпирает на поверхность, что еще больше снижает сопротивление смещению труб вверх.

Для предотвращения попадания воды в шахту в процессе проходки шахты устанавливали наружное и внутреннее уплотняющие устройства. Внутренний сальник при продавливании труб удерживали специальной тягой, пропускаемой через очередное подлежащее продавливанию звено луча и прикрепленной к передней неподвижной плите домкратной установки.

Естественный песчано-гравийный фильтр вокруг водоприемных труб водозабора образовывался в ходе продавливания и промывки лучей в результате выноса мелких частиц через буровую головку и шламовую трубу.

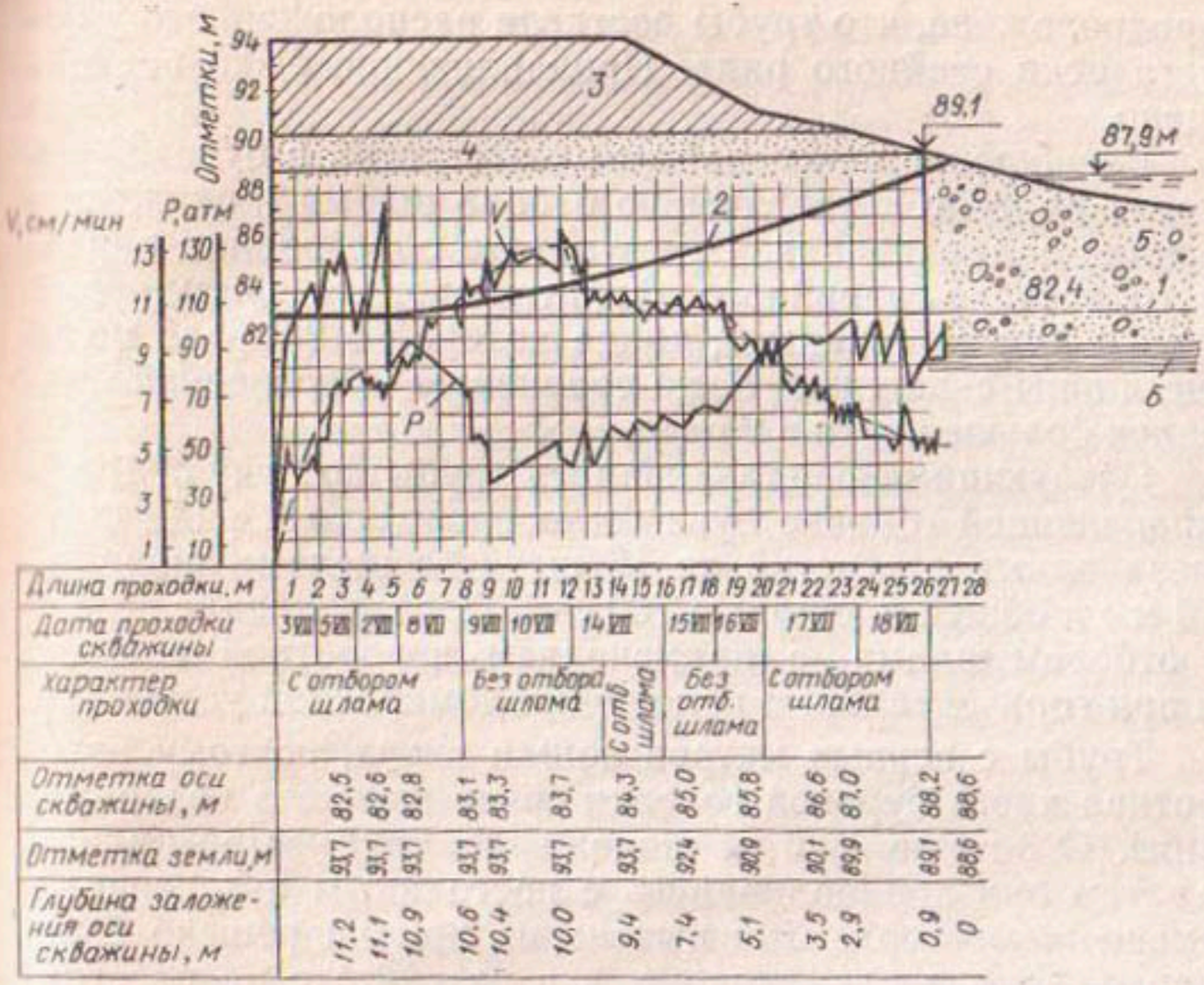
Продавливание лучевых труб проводили с временной рабочей площадки посредством батареи 4 гидравлических домкратов с ходом поршня 1150 мм, марки ГД-170/1150, установленных на направляющей сварной металлической раме. Приводом домкратов служили масляные насосы с давлением масла до 300 атм.

Порядок производства работ по проходке скважин был следующим. На рабочей площадке в шахте устанавливали упор и домкратную установку, центрированную по оси скважин, точность проходки которой в значительной мере зависит от точности установки продавливаемых труб, жесткости домкратной установки, соосности домкратов и труб. Затем в направляющем устройстве укладывали 4-метровое звено продавливаемых труб, в которое заводили шламовую трубу, трубу для управления поворотом головки, служащую одновременно для замеров положения луча и тяги, удерживающей

внутренний сальник. Затем это звено центрировали и соединяли с продавленным. Стыкование фильтровой трубы осуществляли с помощью сварки, остальных труб — резьбой. После этого колонну труб домкратами через нажимную балку продавливали на величину хода поршня домкрата, затем поршни возвращали в исходное положение, а между торцом труб и нажимной балкой ставили вспомогательный патрубок-вставку, выполненный разъемным по длине (для пропуска шламовой трубы и тяги). После очередных продавливаний устанавливали еще два аналогичных патрубка-вставки, которые позволяли довести конец продавливаемых труб почти до стенки шахты. На этом операцию продавливания звена заканчивали и повторяли на очередном четырехметровом звене труб.

Давление в масляной системе домкратов в процессе работы и время продавливания регистрировали манометрами с записью показаний самописцем. По результатам записей построен график усилий при продавливании (рис. 4.9).

Устройство горизонтальных скважин второго лучевого водозабора началось с продавливания по лучу *2* (см. рис. 4.9), расположенному в нижнем ярусе. Продавливание сначала вели по проекту — без шламовой трубы и с буровой головкой, оборудованной отклоняющим козырьком. В ходе продавливания колонна труб отклонялась вниз и на расстоянии 6—9 м от шахты вошла в глинистый слой водоупора, на 20-м метре продавливание было прекращено. Общее отклонение вниз составило 3 м. Следующее продавливание велось по лучу *6*. Учитывая, что с козырьком проектного размера луч ушел вниз, было принято решение уменьшить его размеры; продавливание велось также без шламовых труб. В результате трубы отклонились на длине 38 м на 3,1 м вверх, и, когда головка находилась от дна реки на глубине 1 м, продавливание было прекращено. Следующим был продавлен луч *5*. Из-за резкого отклонения вверх на 8-м метре продавливание также прекратили. В связи с отсутствием отбора шлама перед направляющей головкой и образованием перед ней уплотненного грунтового ядра усилия продавливания достигали большой величины (до 500 т). После проходки первых 3 скважин было приостановлено ведение дальнейших работ и начаты разработка и изготовление устройства для активного изменения направления прокладки трубопроводов в грунте с возможностью поворота головной части продавливаемых труб вверх или вниз. Кроме того, в соответствии с рекомендациями института ВНИИИС Гос-



Длина проходки, м	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28																										
Дата проходки скважины	3 VIII	5 VIII	7 VIII	8 VIII	9 VIII	10 VIII	14 VIII							15 VIII	16 VIII		17 VIII						18 VIII				
Характер проходки	С отбором шлама				Без отбора шлама							С отб. шлама		Без отб. шлама			С отбором шлама										
Отметка оси скважины, м	82,5	82,6	82,8		83,1	83,3		83,7				84,3		85,0		85,8		86,6	87,0				88,2		88,6		
Отметка земли, м	93,7	93,7	93,7		93,7	93,7		93,7				93,7		92,4		90,9		90,1	89,9				89,1		88,6		
Глубина заложения оси скважины, м	11,2	11,1	10,9		10,6	10,4		10,0				9,4		7,4		5,1		3,5	2,9				0,9		0		

Рис. 4.9. Графики давления (P) в домкратах, скорости (V) проходки скважины и ее отклонения от оси луча № 3

1 — проектная ось луча; 2 — фактическое положение оси скважины; 3 — суглинки; 4 — песок среднезернистый, плотный; 5 — гравелистый грунт с заполнителем из среднезернистого песка; 6 — глина, водоупор

строя СССР был осуществлен ряд конструктивных изменений в оборудовании и в самой колонне труб.

Луч *4* продавливали с учетом следующих усовершенствований: в проектной буровой головке параболического очертания ширина щелей для пропуска шлама была увеличена с 10 до 25 мм и удален козырек; было установлено устройство для активного изменения направления прокладки луча — буровая головка с поворотной передней частью; продавливание велось с отбором шлама через буровую головку и отводом его в шахту по шламовой трубе; был применен измененный внутренний сальник.

Продавливание велось из горизонтального положения с нейтрально установленной поворотной частью головки. На расстоянии 15 м от шахты головная часть луча отклонилась вверх на 1 м. После анализа причин было

предположено, что трубы достигли расположенного у берега реки свайного ряда. Продавливание было прекращено.

Расширение шламозаборных отверстий в буровой головке привело к увеличению отбора шлама и снижению усилий задавливания. В результате образования обратного песчано-гравийного фильтра вокруг фильтровых труб дебит скважины *4*, длина которой в 2,3 раза меньше длины скважины *6*, по сравнению с последней оказался больше почти в 2 раза.

Следующими продавливались трубы по лучу *3*. В направляющей головке луча было прорезано 2 ряда шламозаборных отверстий по 16 штук со щелями шириной 20 мм и общей площадью 780 см^2. Продавливание велось с отбором шлама, с применением поворотной головки и при горизонтальном положении домкратной установки.

Трубы с первых метров пошли вверх, поэтому поворотная часть буровой головки сразу же была повернута вниз. С 3-го по 12-й м положение труб выровнилось, а затем они продавливались с постоянным интенсивным смещением вверх. Для выяснения причин решено было продолжать продавливание, и в результате на расстоянии 28 м от шахты буровая головка вышла на поверхность земли, отклонившись вверх на 4,8 м. Было выяснено, что на 12-м метре головка наткнулась своей нижней поверхностью на валун, в результате чего ее поворотная часть оказалась повернутой вверх. На нижней стороне была обнаружена вмятина.

После проведения пробных строительных прокачек было установлено, что скважины по лучам *2* и *5* не эффективны. Для повторного продавливания было спроектировано и изготовлено устройство для извлечения труб из грунта. Когда трубы были извлечены, оказалось, что перфорация фильтровых труб луча *2* почти полностью забита твердой глиной, что подтвердило его попадание в водоупорный глинистый слой. При извлечении труб луча *2* вслед за направляющей головкой в освободившееся отверстие хлынула грунтовая масса и в течение нескольких минут затопила колодец до устья скважины, что надолго остановило работы. Поэтому при извлечении труб следующего луча *5* была использована специальная аварийная задвижка, предотвращающая повторение подобного случая.

Повторное продавливание по лучам *5* и *2* (*5а* и *2а*)

начиналось с заранее опущенной вниз на 5° головкой, однако тенденция ухода луча вверх подобно предыдущему наблюдалась в обоих случаях. По лучу *5а* с 7-го по 9-й м, а по лучу *2а* на 8—9 м прекратился отбор шлама, что указывало на забивку шламозаборных отверстий направляющей головки глиной. Для ликвидации закупорки в шламовую трубу на всю длину до самой головки был вставлен шланг, по которому под давлением 1,5—2 атм. была подана вода для размыва. Однако это помогло незначительно, и в полной мере отбор шлама возобновился только с 18—19 метра. Это подтвердило предположение, возникшее ранее, но не выясненное при изысканиях, что параллельно берегу на расстоянии 10—12 м от шахты водоупор поднимается. Кроме этого, вблизи шахты на границе водоупора с аллювием был выявлен слой валунника и крупной гальки, который, очевидно, и отклонял лучи вверх.

Применение поворотной головки позволило преодолеть эту тенденцию на лучах *2а* и *5а*. Луч *5а* на 19-м метре после поднятия на 1 м пошел горизонтально и его длина достигла 41 м. Луч *2а* на расстоянии 24 м от шахты поднялся до 1,3 м, затем пошел горизонтально и даже вниз, но на 34-м метре проходка была прекращена, так как продавливаемые трубы уперлись, как и на луче *4*, в берегоукрепительный свайный ряд, забитый ранее на берегу у уреза воды.

Как показывает опыт проходки горизонтальных скважин в Уфе, устройство для активного изменения положения прокладываемых труб вполне работоспособно и его дальнейшее использование может расширить область применения лучевых водозаборов на водоносные пласты небольшой мощности, где проходка таких скважин ранее считалась затруднительной.

Вторым новшеством явилось применение на строительстве прибора для определения высотного положения скважин в процессе их проходки. Датчик прибора, помещенный в направляющей головке, передает электрический сигнал измерительному устройству, расположенному в шахте, кабель для передачи сигнала размещается в специальной трубе. В отличие от известных он более прост и по устройству и достаточно точен (ошибка не превышает 2 см). Прибор может замерять положения любой точки скважины, измерять как профиль скважины, так и траекторию движения любой точки трубы (например, головки) вверх и вниз.

По окончании проходки скважин были осуществлены строительные откачки. Результаты откачек (при действующем напоре воды 4,5 м) — табл. 4.2 — даны в сопоставлении с данными первого лучевого водозабора, где

проходка скважин велась методом прокола без отбора шлама направляющей головкой.

Сравнение показывает большую эффективность отбора шлама, при котором вокруг скважин активно формируется песчано-гравийный обратный фильтр, фактически увеличивающий диаметр водозаборной скважины. Так, удельный дебит горизонтальных скважин (расход, отнесенный к единице длины скважины) лучей *2а, 3, 4*, пройденных с отбором шлама в 2,5—3,5 раза больше, чем у соответствующих лучей первого водозабора.

При строительстве головных сооружений Уфимского городского водопровода в процессе сооружения второго лучевого водозабора проводились исследования проходки горизонтальных скважин лучей *2, 3, 4, 5, 6* — замеряли давление домкратов, скорость продавливания труб, длину проходки и отклонение скважины от заданного положения. Во всех случаях на первом участке длины проходки, составляющем 10—13 м (около 35 % всей длины скважины), происходило плавное увеличение усилия, связанное с возрастанием бокового сопротивления (рис. 4.10). Далее на участке 3—7 м (10—17 % всей длины) наблюдалась стабилизация давления. Этот переходный участок относится к начальному моменту отклонения колонны продавливаемых труб. На второй половине скважины, превышающей 50 % ее длины, происходит падение вдавливающих усилий, связанное с существенным уменьшением бытового давления грунта. Это объясняется, с одной стороны, понижением рельефа местности, а с другой — отклонением скважины вверх, вплоть до выхода буровой головки на поверхность земли (см. рис. 4.9). Зафиксированная скорость проходки скважин носит менее закономерный характер и ее колебания, очевидно, следует объяснять случайными причинами.

Предварительная обработка натурных результатов дает возможность получить обобщенные зависимости коэффициента заложения скважин и давления домкратов, отнесенного к глубине заложения скважин, от длины проходки (рис. 4.11). Как видим, эта зависимость носит характер показательной функции. Указанное позволяет в будущем при накоплении подобного материала перейти к составлению еще более общих эмпирических зависимостей.

В 1979 г. был пущен 3-й уфимский водозабор, кото-

Таблица 4.2. Эксплуатационные характеристики водозаборов

Водозабор № 1					Водозабор № 2				
Номер лучевой скважины	Длина, м	Дебит, м³/ч	Удельный расход, м³/ч/м	Максимальное усилие продавливания, т	Номер лучевой скважины	Длина, м	Дебит, м³/ч	Удельный расход, м³/ч/м	Максимальное усилие продавливания, т
1а	40*/40	220	5,5	402	6	39,4*/38	202	5,3	454
2	54/36	221	6,1	425	5а	43/41,6	429	10,6	450
3	46/38	300	7,9	402	4	17,4/16	475	29,8	272
4	58/36	188	5,2	425	3	26,4/25	348	13,9	284
5	56/52	285	5,4	468	2а	35,4/34	534	16	385
Все скважины	270/202	416	20,6	—	Все скважины	161,6/154,6	1080	6,96	—

* Над чертой — полная длина, под чертой — длина рабочей части.

рый был построен также на берегу р. Уфы на расстоянии 2,5 км от водозабора № 2. Он представляет собой 5-лучевую систему, состоящую из горизонтальных радиальных скважин, расположенных под углом 30° одна к другой и имеющих длину 61,4; 60; 57; 60 и 63,6 м каждая. Прокладка перфорированных труб диаметром 426 мм с толщиной стенок 28 мм велась из шахты диаметром 9 м и глубиной 20,5 м тем же методом и с применением того же оборудования, что и на водозаборе № 2. Лучевые скважины заложены на глубине 1—3 м от дна реки на высоте 3,5 м от нижней части водосборной камеры. Водозабор оборудован, как и два первых, 3 артезианскими насосами марки 24А-18-1 (2 рабочих, 1 резервный).

Опыт строительства и эксплуатации трех уфимских лучевых водозаборов и проведенные на них опытные откачки дают основание для уточнения принятых в проекте основных параметров горизонтальных скважин (их длины, диаметра, числа, угла между лучами и т. д.). Для оценки производительности лучевого водозабора № 1 использованы также данные многолетних наблюдений подачи воды в водопроводную сеть, полученные за период с августа 1968 г. по декабрь 1971 г., которые сопоставлены со среднемесячными величинами уровней воды в реке (рис. 4.12). Кроме этого, учтены материалы исследования по восстановлению уровня воды в шахте водозабора, выполненные 04.04.72 г. гидрогеологической партией Западно-Башкирской комплексной геологической экспедиции.

Опытные откачки проводили при свободном истечении воды из горизонтальных скважин с незатопленным устьем. Дебит водозабора определяли объемным способом путем заполнения шахты водой. Замеры осуществляли с помощью эксплуатационного уровнемера поинтервально с шагом 0,25 м для 3—4 повышений уровня воды. При проведении опытных откачек на водозаборе № 2 отсчеты брали по геодезической рейке с шагом 0,1 м, всего было проведено 5—10 замеров уровня воды на высоте его подъема 0,5—1 м. В каждом отдельном случае замер выполняли при полностью открытой задвижке и после стабилизации режима истечения воды из скважины, что определялось контрольными замерами подъема уровней воды. Поэтому при исчислении расходов воды (дебита) учитывались лишь последние стаби-

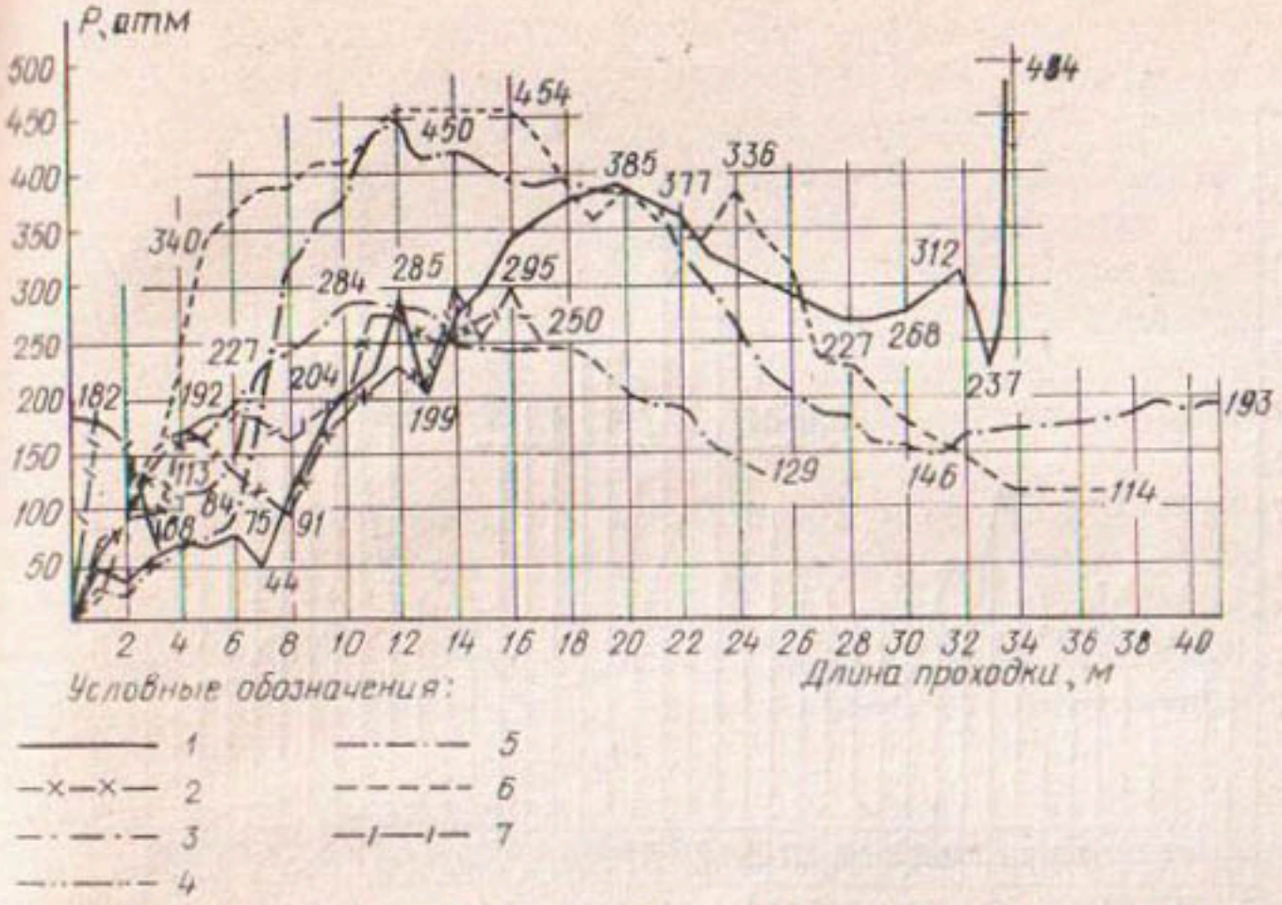


Рис. 4.10. Сводный график усилий, развиваемых при продавливании фильтровых труб

1 — луч № 2а; 2 — № 4; 3 — № 5а; 4 — № 5; 5 — № 3; 6 — № 6; 7 — № 2

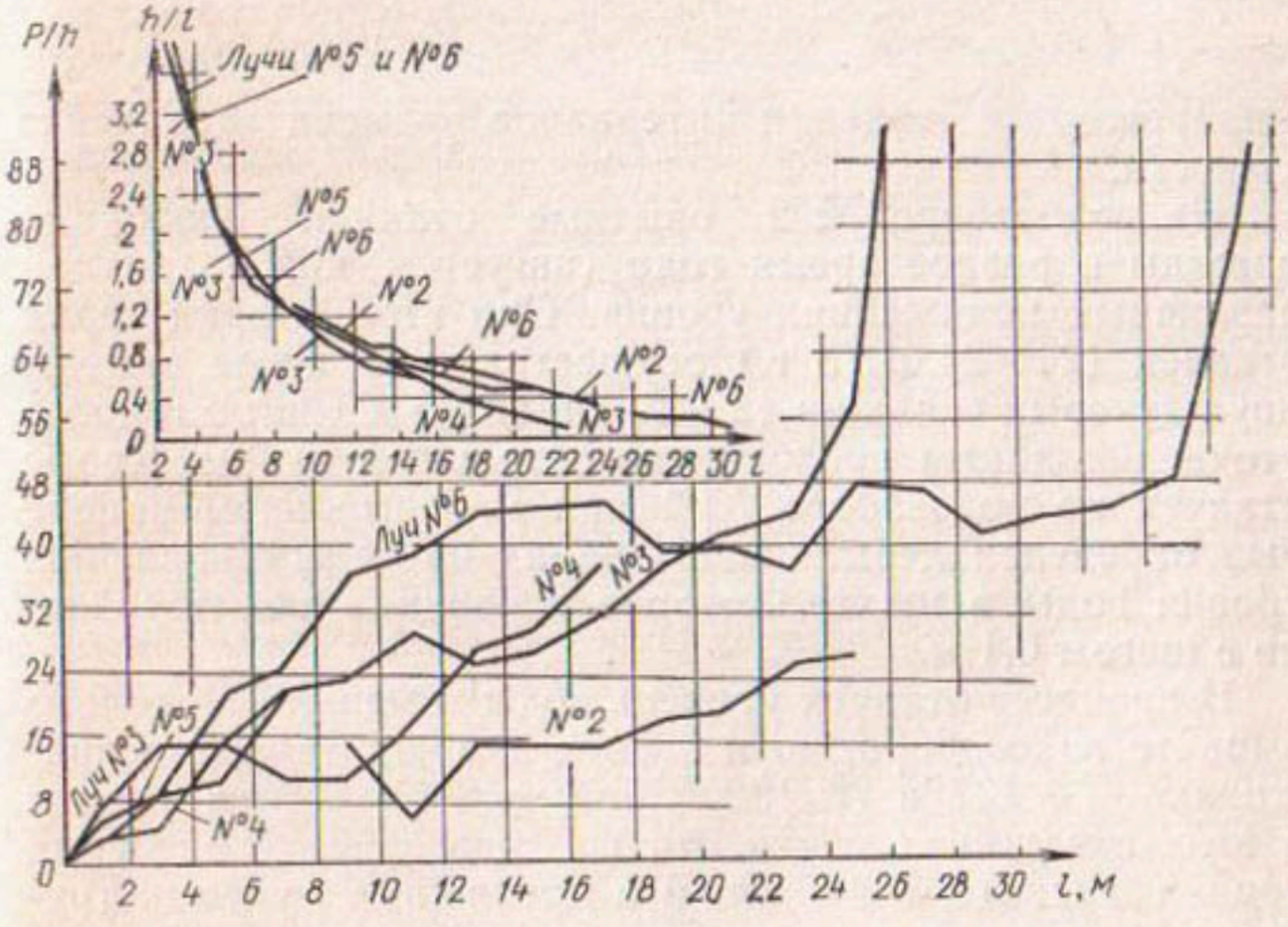


Рис. 4.11. Коэффициенты заложения горизонтальных скважин $h/l = f(l)$ и зависимость величины давления домкратов, отнесенной к глубине заложения скважин, от длины проходки $P/h = f(l)$

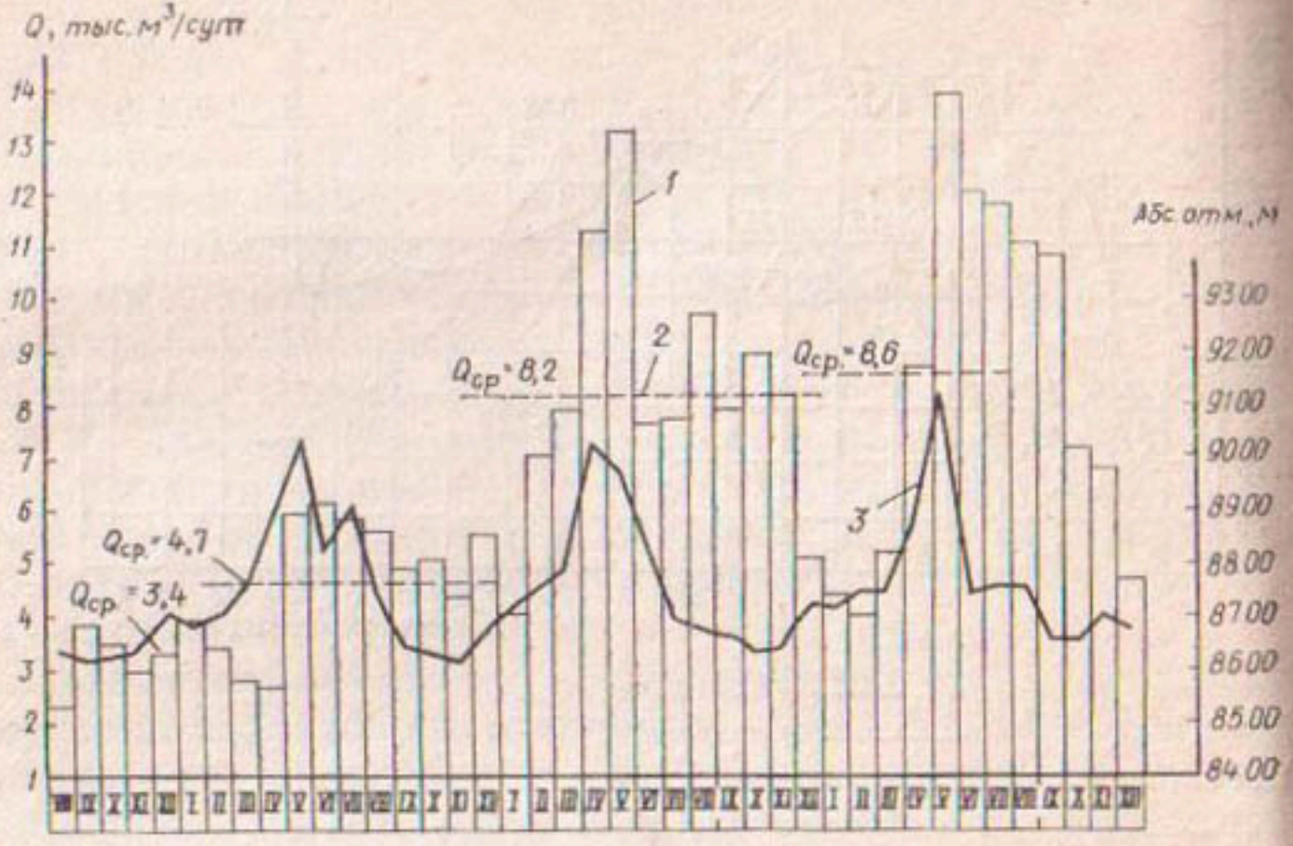


Рис. 4.12. Производительность уфимского лучевого водозабора № 1

1 — среднемесячная; 2 — среднегодовая; 3 — среднемесячные уровни воды в р. Уфе

лизированные значения интервалов времени заполнения емкости.

На водозаборе № 2 опытные откачки проводили дважды в разное время года (август и январь) и при различных понижениях уровня. При этом вторая серия откачек (24—25.01.73 г.) осуществлялась после замены двух лучевых скважин (2 и 5) на более длинные и после уточнения длины проходки по остальным лучам. Кроме откачек на водозаборе № 1 при максимальном напоре был определен дебит водозабора по восстановлению уровня воды в шахте, которое проводили поинтервально с шагом 0,1 м.

В процессе откачек уровень воды замеряли не только в шахте водозабора, но и в двух наблюдательных скважинах — № 137 и № 138. Динамика изменения уровня в этих скважинах почти точно повторяет колебания уровня в шахте, а значит, и в дренажных лучевых трубах. При этом в начале периода проведения откачек уровень воды в скважине № 138 был выше, чем в № 137, которая находится ниже по течению фильтра-

ционного потока, что отражает формирование депрессионной воронки вблизи лучевых скважин, перехватывающих поток. В процессе восстановления уровней происходит также выравнивание уровней в обеих скважинах. Быстрота восстановления уровня грунтовых вод и заполнения депрессионной воронки вблизи отключенных дрен подтверждает тот факт, что режим фильтрации к водозабору имеет стационарный характер, поэтому расчеты должны вестись по формулам установившегося движения.

С помощью методики, изложенной в гл. 2 п. 3 (табл. 2.1, п. 8) выполнены сопоставительные расчеты дебита водозаборов № 1 и № 2, которые сделаны с учетом гидрогеологических параметров, полученных Западно-Башкирской комплексной геологической экспедицией (табл. 4.3).

В столбце 3 приведены величины дебита, определенные расчетным путем. Как видим, расхождение между фактическими и расчетными величинами составляет 40—100 %, а в отдельных случаях достигает 6 раз. Причем это связано с резкой разницей длины задавленных в грунт фильтровых труб и активной длиной фактически работающих горизонтальных скважин. По данным строительной организации (Башспецнефтестрой) и эксплуатационной службы (Уфимский горводопровод), большинство лучевых скважин этого водозабора при продавливании отклонилось вниз и значительной частью своей длины попало в глинистые грунты водоупора. В связи с этим активная рабочая часть скважин, не забитых глиной, оказалась намного меньше фактической длины скважин. Определение этой величины явилось одной из основных задач проведенных расчетов. Следует также отметить, что величина удельного дебита, т. е. дебита, отнесенного к длине работающей фильтровой части горизонтальной скважины (3—5 л/с на 1 м длины) значительно выше среднестатистической величины, приводимой в зарубежной литературе (1 л/с/м). Это доказывает высокую эффективность лучевых водозаборов для данных гидрогеологических условий, характеризующихся хорошей водопроницаемостью среды и близостью контура питания водоносного пласта.

Расчеты, выполненные для водозабора № 2, показывают лучшую сходимость результатов расчетов с дебитом, определенным по откачкам. Расхождение здесь

Таблица 4.3. Результаты сопоставления расчетных и фактических дебитов водозаборов № 1 и № 2

Номер луча (угол между лучами)	Дебит по откачкам, м³/сут	Дебит по расчету, м³/сут	Длина скважин, м	
			фактическая	активная
Водозабор № 1, S=4,5 м				
2	2140	11 230	40,4	5,7
3	2180	11 230	41,2	6,77
1; 4 (60°)	4000	8 210	40,2	15,6
1; 5 (80°)	5930	8 640	36,4	14,8
2; 3; 4 (20°)	4880	8 640	36	16,1
1; 2; 3; 4; 5 (20°)	9380	13 820	36,6	18,7
Водозабор № 2, S=4,4 м				
2	6 660	8 270	20	16
4	10 000	6 050	16	16
5	4 670	4 050	8	8
6	5 360	10 370	38	16,6
2; 6 (80°)	10 000	10 800	29	25,4
3	12 760	10 800	24,7	28
2; 4; 6 (40°)				
Водозабор № 2, S=5,8 м				
2	1 530	1 530	35,4	29,6
3	8 350	12 610	26,4	17,2
4	11 400	7 780	16	16
5	10 300	12 960	43	25,1
6	4 850	11 230	38	11,4

составляет 15—60 %, явного занижения фактического дебита нет. Резкое уменьшение величины дебита скважины № 6 против расчетного объясняется ее отклонением вверх, в результате значительная часть фильтровых труб (не менее 20 м) оказалась расположенной выше уровня грунтовых вод.

Согласно данным эксплуатации по состоянию на 1983 г. лучевой водозабор № 1 подает в городскую водопроводную сеть максимальный расход воды — 7200 м³/сут., минимальный расход составляет 3600 м³/сут. Водозабор № 2 обеспечивает максимальную подачу — 14400 м³/сут., а минимальная равна 8400 м³/сут. Водозабор № 3 соответственно 18600 и 14500 м³/сут.

Снижение водоподачи происходит ежегодно в течение 8 месяцев, после чего осуществляется гидромеханическая промывка скважин.

3. Лучевые водозаборы в Польской Народной Республике

В Польской Народной Республике лучевые водозаборы наиболее распространены в южных и центральных воеводствах. В основном они работают в условиях маловодообильных водоносных горизонтов. Широкое внедрение лучевых водозаборов в этих районах позволило отказаться от строительства дорогостоящих очистных станций, которые необходимы при возведении водозаборов, использующих открытые источники [28].

Первым опытом строительства лучевых водозаборов в ПНР было сооружение в 1964 г. колодца на фармацевтической фабрике в г. Кракове. Колодец построен на надпойменной террасе р. Бъяуха для забора подрусловых вод из песчано-гравийного водоносного пласта мощностью около 8 м. Глубина колодца 11 м, диаметр водосборной шахты — 6 м. На расстоянии 1,5 м выше водоупора было продавлено в одном горизонте пять дрен диаметром 150 мм и общей длиной 114 м. Скважность дрен составляла 13 %, отверстия в стенках труб круглые диаметром 15 мм. Производительность водозабора около 10 л/с.

По опыту первого водозабора в том же районе в 300 м от него построен второй с глубиной водосборного колодца 13,5 м и диаметром 5 м. Здесь было проложено 5 дрен диаметром 150 мм, общей длиной 317 м. Производительность водозабора при одновременной работе всех дрен — 32 л/с (расход одной дрены составляет 28 л/с, что объясняется большим взаимным влиянием дрен при их совместной работе).

В Перемышле работают два подрусловых лучевых водозабора для коммунальных водопроводов, которые эксплуатируют подрусловый водоносный горизонт р. Сан, представленный песками со значительным включением валунов. Вследствие недостаточного объема проведенных изысканий при строительстве первого водозабора возникли трудности, связанные с проходкой. Поэтому удалось выполнить продавливание в грунт только 49 м

дренажных труб (15 коротких дрен, расположенных в трех плоскостях). Более тщательный выбор места для второго лучевого водозабора обеспечил строительство шести дрен диаметром 150 мм, общей длиной 183 м. При самом низком горизонте воды в р. Сан производительность водозабора составляет 40 л/с, при высоком — 70 л/с.

В Скобине (вблизи Кракова) в 20 м от уреза воды в реке на расстоянии 500 м один от другого построены два лучевых водозабора производительностью 10 и 32 л/с. В г. Тарнов на берегу р. Дунаец также построен водозабор лучевого типа. Шесть лучевых дрен общей длиной 40 м приходилось продавливать в грунты, содержащие значительное количество гравия и валунов.

Более крупный лучевой водозабор работает с 1964 г. в г. Кракове на водопроводной станции «Беляна». Его производительность 5 тыс. м³/сут. Водозабор расположен на площадке водозаборных сооружений, которые эксплуатируются уже около 65 лет. Вначале водоснабжение города обеспечивала группа скважин, вода из которых по сифонному водоводу поступала в приемную камеру. Затем насосы второго подъема подавали ее на станцию очистки и в водопроводную сеть. Позднее, в связи с ухудшением качества воды, были построены медленные фильтры общей площадью 50 тыс. м². С ростом населения и развитием промышленности города, вызвавшими увеличение водопотребления, были дополнительно построены речной водозабор и открытые отстойники для предварительной очистки воды, а медленные фильтры превращены в инфильтрационные бассейны для искусственной подпитки водоносного горизонта. Дальнейшее увеличение коммунального водопотребления и стремление получать воду лучшего качества вызвали необходимость построить лучевой водозабор на месте одного из инфильтрационных бассейнов. Таким образом, этот лучевой водозабор служит не только для забора подземных вод, но и для подпитки поверхностными водами, подаваемыми из реки в инфильтрационный бассейн. Железобетонный водосборный колодец диаметром 5 м, глубиной 9 м построен опускным способом. Водозабор имеет 11 лучевых дрен длиной 20—30 м каждая, выполненных из перфорированных асбестоцементных труб. Семь дрен уложены открытым способом, а четыре, направленные в сторону реки, продавлены методом Рэн-

нея. Намечаемая интенсификация водозабора и строительство скорых фильтров позволят увеличить подачу воды в город до 70 тыс. м³/сут.

Вроцлавский лучевой водозабор построен на острове, образованном рукавами р. Олава. При проходке шести дрен в гравийно-песчаных грунтах, содержащих крупную гальку, был применен венгерский способ с использованием буровой головки параболической формы.

Описанные лучевые водозаборы имеют сравнительно небольшую производительность и предназначены для водоснабжения отдельных промышленных предприятий и окружающих их поселков. Часто их сооружают для увеличения водоподачи ранее построенных водозаборов других типов.

Варшавский водозабор — наиболее крупный из польских лучевых водозаборов по своей производительности, конструктивным особенностям и техническому оснащению, может конкурировать с лучшими водозаборами в других странах. Он расположен в русле р. Вислы (рис. 4.13), в 200 м от берега и соединен с ним 300-метровым проходным тоннелем диаметром 4 м, в котором проложены два водовода диаметром 1,2 м и все электрические кабели и коммуникации. Проектная максимальная производительность водозабора 225 тыс. м³/сут, фактическая — 150 тыс. м³/сут. Вода от водозабора поступает на станцию обезжелезивания, затем в резервуары чистой воды, откуда уже насосы второго подъема подают ее в водопроводную сеть города.

Лучевой водозабор состоит из 15 горизонтальных лучевых дрен диаметром 300 мм. Длина лучей составляет от 75 до 105 м. Глубина их заложения равна в среднем 7 м от дна реки, которое подвержено периодическим размывам или заносам в результате выпадения из речной воды механических взвесей. Для строительства водозабора в русле р. Вислы был отсыпан остров, с которого кессонным способом опускали в грунт железобетонный стакан диаметром 11 м. На проектной глубине 30 м (с учетом надводной части) в водосборном колодце было устроено глухое железобетонное днище, после чего через специальные закладные патрубки проведено продавливание лучевых дрен в стенки колодца.

Так как лучевые дрены (телескопические) задавили из кессонной камеры, были использованы обсадные трубы без буровой головки. Воду и грунт на забое сква-

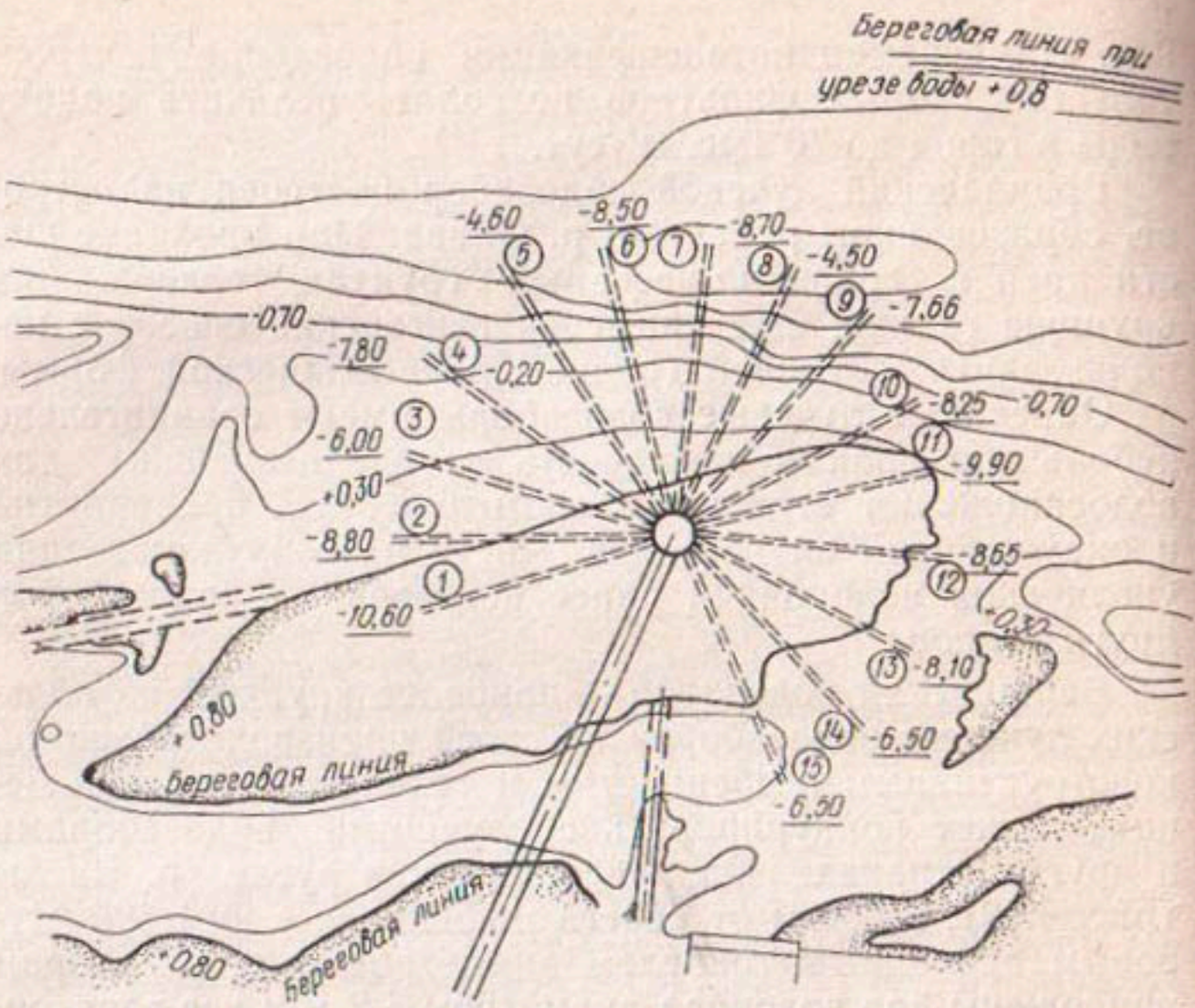


Рис. 4.13. Схема подруслового лучевого водозабора варшавского городского водопровода

Цифры в кружках — номера лучей, цифры в конце лучей — глубина их заложения под дном реки, м

жин удерживало давление воздуха. Вначале продавливали обсадную трубу диаметром 600 мм, затем — диаметром 500 и 400 мм. Толщина стенок труб 10—12 мм. Длина продавливаемой секции 3 м, соединение — на резьбе. Для продавливания были применены два домкрата, создававшие давление до 200 т. Грунт из обсадных труб размывался и удалялся с помощью струи воды, подаваемой насосом, установленным над кессонной камерой, под давлением до 20 атм. Стекавшую из труб в камеру пульпу удаляли эрлифтом.

Для предупреждения возможных вертикальных отклонений лучевой дрены при продавливании была использована обсадная труба с косым срезом на торце. При ее повороте с изменением направления давления грунта на срез трубы соответственно менялось и направление проходки.

При продавливании указанным способом 15 дрен

(суммарной длиной 1300 м) максимальное вертикальное отклонение лучей от их проектной горизонтальной оси не превысило 1,7 м. Отклонения лучей вверх замеряли с помощью водяной трубки, работающей по принципу сообщающихся сосудов, а отклонения вниз — с помощью воздушной трубки и манометра. После продавливания и очистки обсадных труб от грунта в них вставляли фильтровые трубы диаметром 300 мм.

Фильтровые трубы изготовляли непосредственно на месте строительства. Продольным швом на специальных вальцах сваривали листовую нержавеющую сталь со штампованными просечно-вытяжными отверстиями 50×5 мм, расположенными через 13 мм по окружности и 80 мм по длине трубы. Общая скважность фильтра 15 или 22 % (рис. 4.14).

Стыковку секций дренажных труб осуществляли заклепками, устанавливаемыми пневматическим пистолетом. Обсадные трубы извлекали и использовали для проходки следующих лучевых скважин. Описанный способ задавливания лучевых дрен без буровых головок из кессонной камеры, в отличие от других известных способов устройства лучевых дрен, получил название «варшавского».

Этим же методом в Варшаве построено еще три лучевых водозабора производительностью 45—55 тыс. м³/сут каждый. Место строительства следующего выбрано на 1,3 км выше первого, остальные — на расстоянии 450—500 м друг от друга. Водосборные шахты этих водозаборов имеют диаметр 6 м и высоту до водоупора 18 м. На каждом из новых лучевых водозаборов установлено по девять лучевых дрен длиной 60—80 м каждая.

Железобетонные водосборные колодцы лучевых водозаборов опускали кессонным способом при давлении в камере 1,3 атм. Конструкция лучевых дрен (также как и на первом действующем Варшавском водозаборе) телескопическая (диаметр 500, затем 400 мм и 200 мм).

Интересные данные получены при изучении опыта эксплуатации первого Варшавского лучевого водозабора в первый (1965) год его работы. Были проведены систематические наблюдения за расходами и напорами воды, замеряли мутность и температуру воды, содержание железа и т. д. (рис. 4.15). Периодически проводились измерения распределения притока и пьезометри-

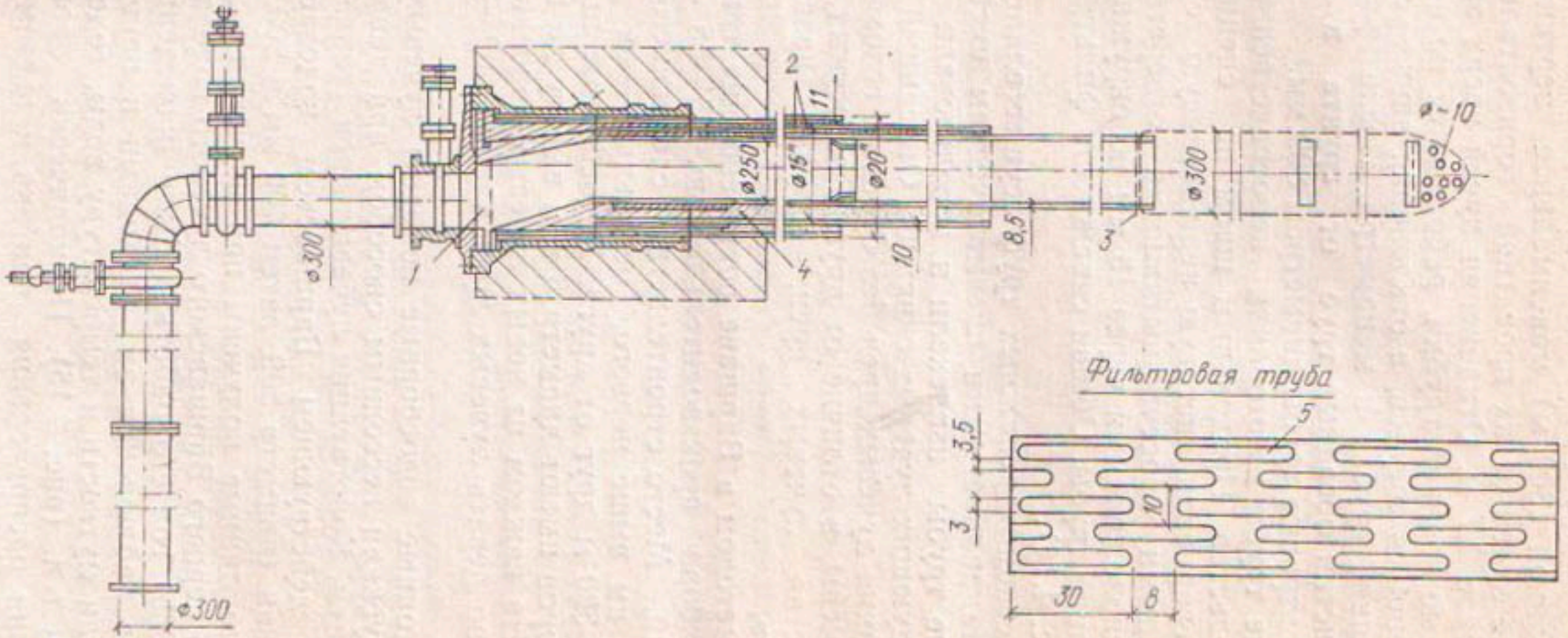


Рис. 4.14. Конструкция лучевого фильтра варшавского водозабора

1 — уплотнительный сальник; 2 — обсадные трубы телескопической конструкции; 3 — соединение труб (на сварке); 4 — дубовые клинья уплотнения; 5 — щелевые отверстия

ческих и гидродинамических напоров по длине каждой из лучевых дрен (рис. 4.16). Кроме того, замерялась глубина воды в реке в зоне действия лучевого водозабора и составлялись карты переменных глубин, характеризующих высоту прикрытия дрены грунтом.

Последнее мероприятие очень важно в связи с существующей опасностью заиления дна реки, особенно после паводка. Некоторые подрусловые лучевые водозаборы в ФРГ в результате такого заиления резко снизили подачу воды. Наблюдения, проведенные в Варшаве, показали, что мелкопесчаное дно русла Вислы очень подвижно из-за больших донных скоростей, и образующийся слой заиления смывается, не оказывая существенного влияния на производительность водозабора. Важной особенностью варшавского лучевого водозабора является автоматизация системы управления всеми узлами водозабора: лучевыми дренами, водосборной камерой, насосами и т. д. Сигналы об их работе и техническом состоянии выведены на специальное табло, установленное в помещении пульта управления.

Технико-экономические показатели лучевых водозаборов в ПНР также представляют большой интерес. Стоимость строительства Варшавского лучевого водозабора составила 120 млн. злотых*, что на 20 % ниже стоимости водозабора, состоящего из группы водозаборных скважин той же производительности (табл. 4.4).

Таблица 4.4. Экономические показатели польских лучевых водозаборов

Водозабор	Производительность, тыс. м³/сут	Сметная стоимость строительно-монтажных работ, млн. злот.	Удельные капитальные затраты на 1 м³ воды, злот.
Варшавский № 1	150 (максимум 225)	120	535
Варшавский № 2	50	17	340
Краковский (фармацевтическая фабрика) № 1	1	0,45	450
Там же, № 2	2,6	0,96	370

В настоящее время в Варшаве эксплуатируются три водозаборных узла разного типа. Себестоимость 1 м³ воды, подаваемой открытым водозабором из р. Вислы производительностью 320 тыс. м³/сут, составляет 1,75 злотых, скважинным водозабором производительностью

* 1000 польских злотых равны 10,4 руб.

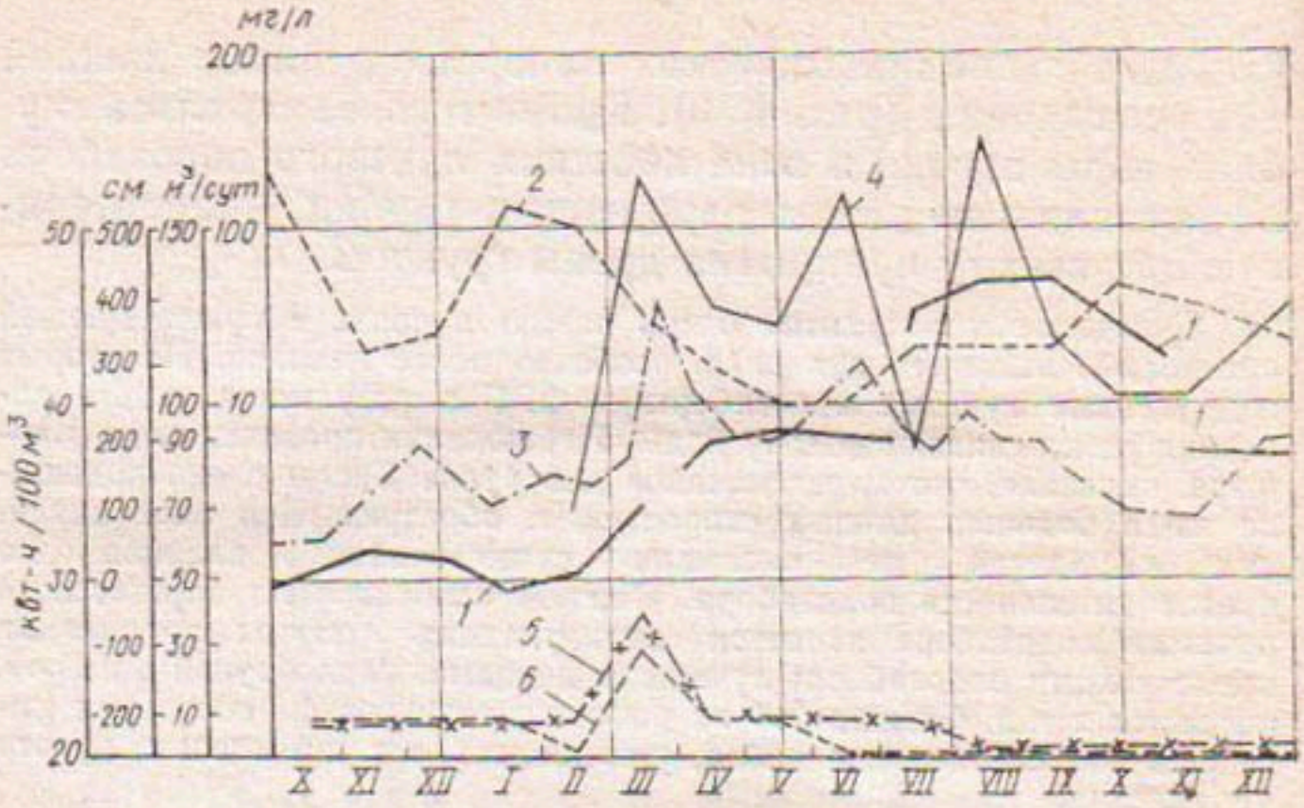


Рис. 4.15. Кривые эксплуатационных показателей лучевого водозабора городского водопровода Варшавы

1 — производительность, тыс. м³/сут; 2 — расход электроэнергии, кВт·ч/100 м³ воды; 3 — уровень воды в р. Висле, см; 4 — загрязненность воды в р. Висле, мг/л; 5 — загрязненность воды в шахте водозабора, мг/л; 6 — загрязненность воды в водопроводной сети, мг/л

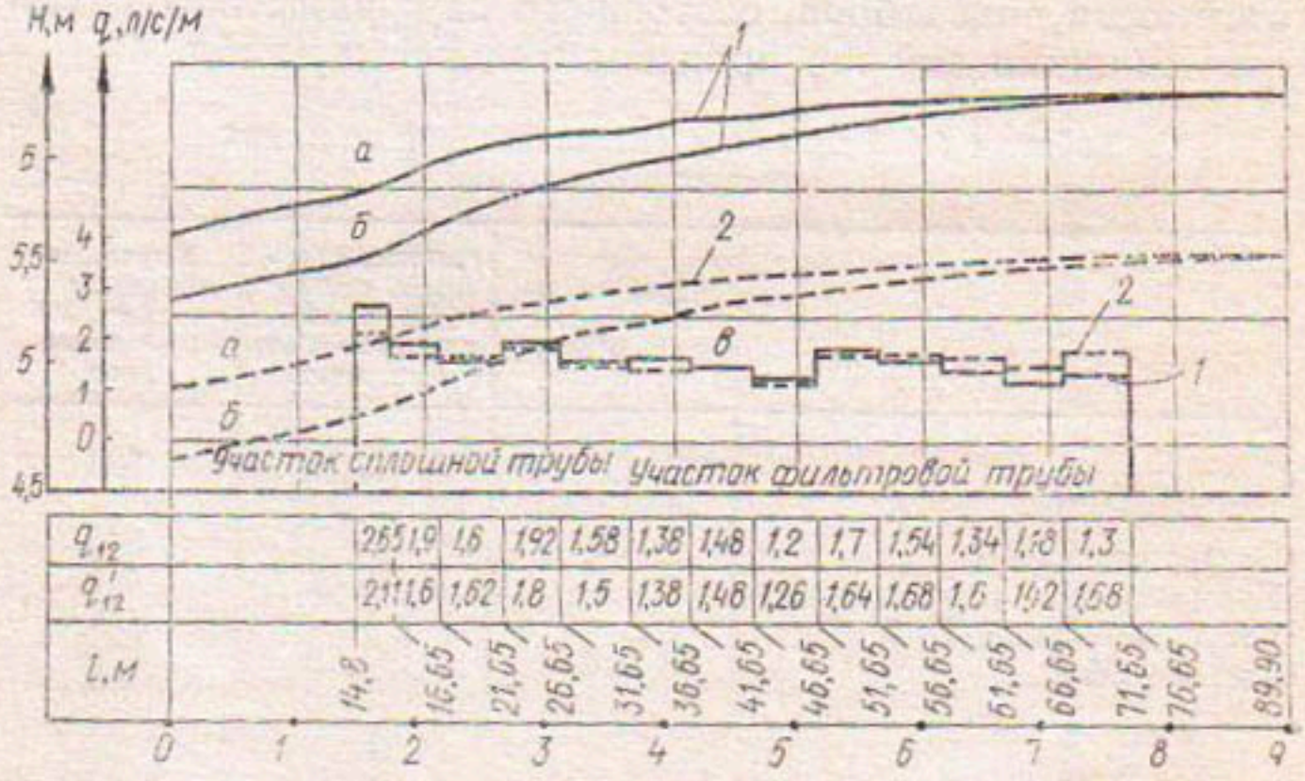


Рис. 4.16. Графики удельного фильтрационного притока и напоров по длине горизонтальной скважины № 12 варшавского лучевого водозабора

а — полный напор в скважине (пьезометрический и скоростной); б — пьезометрический напор в скважине; в — удельный водоприток, л/см, луча; 1 — для горизонтальной лучевой скважины № 12 (работающей отдельно при Q = =0,12 м³/с); 2 — для той же скважины № 12 (работающей совместно со скважинами № 9, 10, 14 и 15); q_{12} — для скважины № 12 (работающей отдельно); q'_{12} — то же, со скважинами № 9, 10, 14 и 15

12 тыс. м³/сут. — 0,72 злотых, лучевым водозабором производительностью 150 тыс. м³/сут. — 0,56 злотых.

Таким образом, лучевые водозаборы при соответствующих гидрогеологических условиях требуют меньших капитальных затрат, чем водозаборы других типов.

4. Инфильтрационный водозабор в Принс Джордж (Канада)

Самый крупный лучевой водозабор в Канаде построен в 1973 г. для городского водопровода Принс Джордж, быстро растущего города Британской Колумбии, расположенного у слияния рек Нечако и Фразер [50]. Водозабор рассчитан на подачу 57 тыс. м³/сут с дальнейшим расширением до 113 тыс. м³/сут для обеспечения планируемого водопотребления на 1995 год.

Инженерные изыскания и проектирование. До введения в эксплуатацию лучевого водозабора водоснабжение города осуществлялось горизонтальным подрусловым инфильтрационным водозабором из перфорированных стальных труб с песчано-гравийной обсыпкой, который имеет максимальную производительность 50 тыс. м³/сут. Однако в меженный период дебит горизонтального водозабора резко снижался. Кроме того, на берегу р. Нечако были введены в действие 2 водозаборные скважины глубиной по 8 м, которые обеспечивали до 25—30 тыс. м³/сут воды. Одна из них была в последующем закрыта.

Сравнение вариантов водоснабжения с применением открытого речного водозабора и инфильтрационного водозабора подземных вод показало, что если стоимость первого с учетом фильтровальной станции водоподготовки составляет 2,7 млн. долларов, то второго всего 1,1 млн. долларов.

Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания, выполненные в долине р. Нечако показали наличие высокообильных песчано-гравийных аллювиальных отложений мощностью до 60 м. К этим грунтам приурочен подрусловый поток подземных вод пригодных по своим химическим и бактериологическим качествам для питьевого водоснабжения.

Для изучения условий было пробурено 4 наблюдательных и 2 опытных скважины, где проведены опыт-

ные кустовые откачки. Гидравлический уклон потока подземных вод, текущих к реке, $1{,}2 \cdot 10^{-3}$. В паводок, наоборот, идет водонасыщение берегов. Установлена прямая гидравлическая связь подземных и речных вод.

Проект лучевого водозабора предусматривает сооружение 24 радиальных горизонтальных скважин, которые были пробурены из шахты диаметром 5 м на глубине 30 м от поверхности земли (рис. 4.17).

Водосборная камера в виде железобетонного шахтного колодца круглого поперечного сечения строилась кессонным способом. Бетонирование с установкой арматурных каркасов и опалубки осуществляли на поверхности земли. Нижнее звено опускаемого колодца было снабжено режущим стальным ножом. Максимальное давление в кессоне поддерживалось равным 28 м водяного столба. Грунт из забоя колодца размывали и удаляли гидромеханическим способом. Отклонение опущенного ствола от вертикали на высоте 30 м составило не более 1 см.

Толщина стенок колодца и соответственно его вес рассчитаны на преодоление взвешивающего противодавления (архимедовой силы), действующего снизу. Внутренняя поверхность колодца в зоне последующего продавливания лучевых дрен укреплена специальной металлической конструкцией, состоящей из рамной системы. Отверстия для последующей проходки горизонтальных радиальных скважин закладывали коническими деревянными пробками. Всего было оставлено 2 яруса отверстий по 12 штук в каждом ярусе с расстоянием между ними 1,5 м.

После опускания колодца на заданную глубину его дно было перекрыто 42 $м^3$ плотной бетонной смеси, поверх которой проведено бетонирование с установкой арматуры. В полу водосборной камеры оставлен зумпф для откачки шлама. Для ведения дальнейших строительно-монтажных работ была установлена металлическая рабочая площадка и лифт грузоподъемностью 2 т для подачи оборудования, материалов и людей.

Лучевые горизонтальные скважины сооружены методом Фельмана с использованием толстостенных обсадных труб диаметром 254 мм. Продавливание осуществляли 2 спаренными гидравлическими домкратами реверсивного действия, развивавшими давление по 75 т

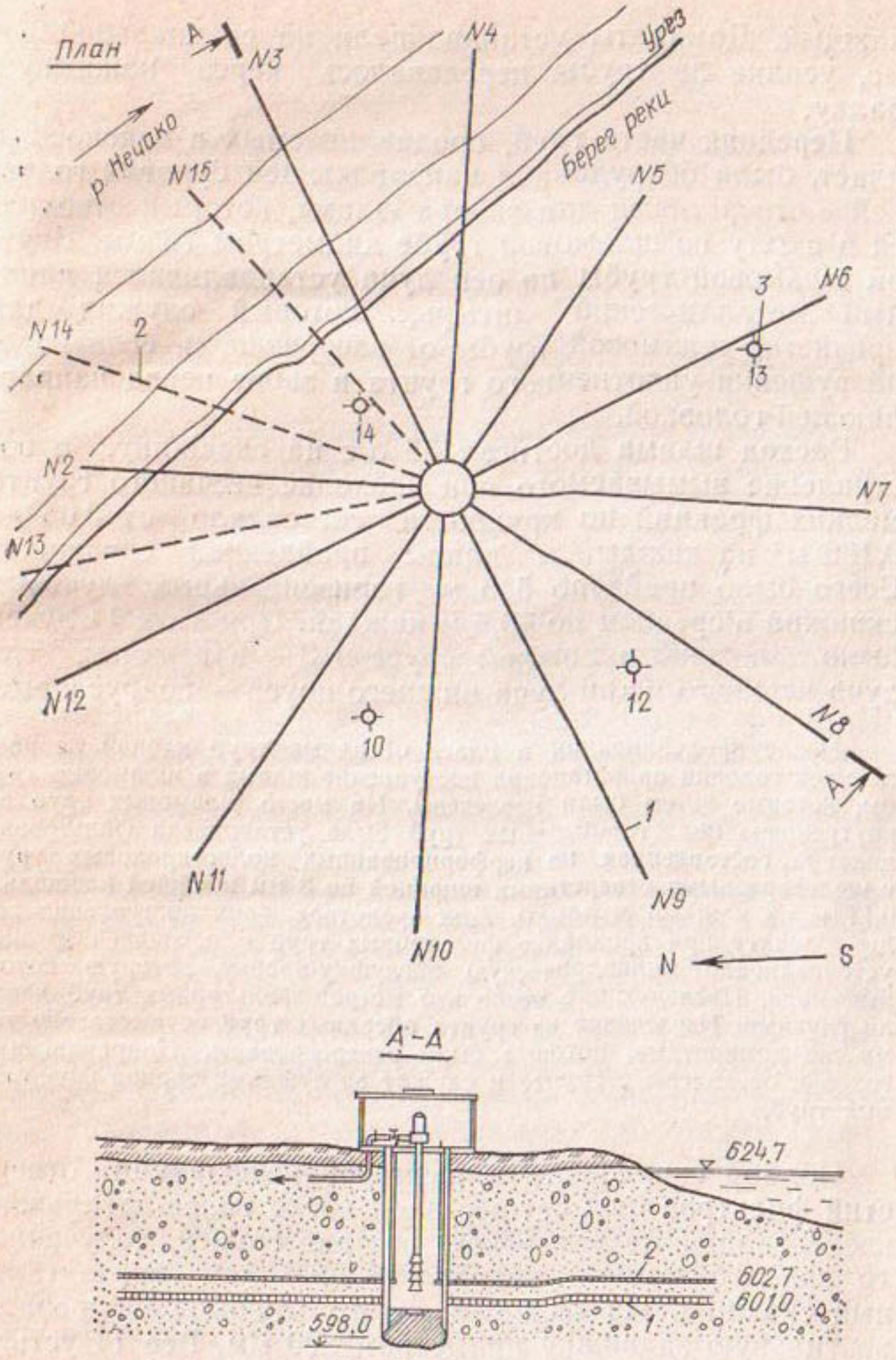


Рис. 4.17. Схема двухъярусного лучевого водозабора в Принс Джордж (Канада)

1 — лучи нижнего яруса; 2 — лучи верхнего яруса; 3 — наблюдательные скважины гидрорежимной сети

каждый. Домкраты устанавливали на специальной раме, усилие на трубы передавалось через нажимную балку.

Передняя часть труб, продавливаемых в водоносный пласт, была оборудована направляющей буровой головкой с отверстиями для забора шлама, который отводился в шахту по шламовой трубе диаметром 76 мм. Внутри шламовой трубы по оси луча устанавливался длинный металлический штырь, который служил для прочистки шламовой трубы от засорения, и, если надо, разрушения уплотненного грунта в забое перед направляющей головкой.

Расход шлама достигал 38 л/с на скважину, а поступление вымываемого при проходке песчаного грунта мелких фракций по крупности составляло от 0,06 до 0,186 м^3 на каждый м длины пройденной скважины. Всего было пройдено 545 м горизонтальных лучевых скважин в среднем по 43,6 м каждая. При этом 11 лучей было заложено в нижнем ярусе и 3 — в верхнем, три луча верхнего и три луча нижнего яруса — подрусловые.

После продавливания в пласт обсадных труб клапан направляющей головки приостановил поступление шлама в шламовые трубы, которые затем были извлечены. На место шламовых труб во внутреннюю полость обсадных труб была установлена фильтровая колонна, составленная из перфорированных полистироловых труб с щелеобразными отверстиями шириной по 3 мм и общей площадью 0,17 м^2 на каждый м длины. Для предотвращения поступления воды в шахту при прокладке фильтровых труб в последней из них устанавливали цилиндрическую заглушку-пробку, которую потом вынимали. Последующие несколько метров фильтровых труб делали глухими. Извлечение из грунта обсадных труб осуществлено теми же домкратами, которые были реверсированы. Направляющие головки оставлены в грунте и служат заглушками торцов фильтровых труб.

Подбор скважности и размеров перфорации отверстий фильтров был осуществлен после более детального исследования механического состава грунта, полученного при его вымыве в процессе проходки горизонтальных скважин. На конце каждого луча монтировали вентильную задвижку диаметром 200 мм. Все 14 устьев скважин объединены одной круговой трубой — коллектором. В водосборной камере установлено 3 погружных насоса марки В-2250 Флайт с подачей воды вверх по общей водоподъемной трубе. Мощность двигателя каждого насоса составила 88 л. с.

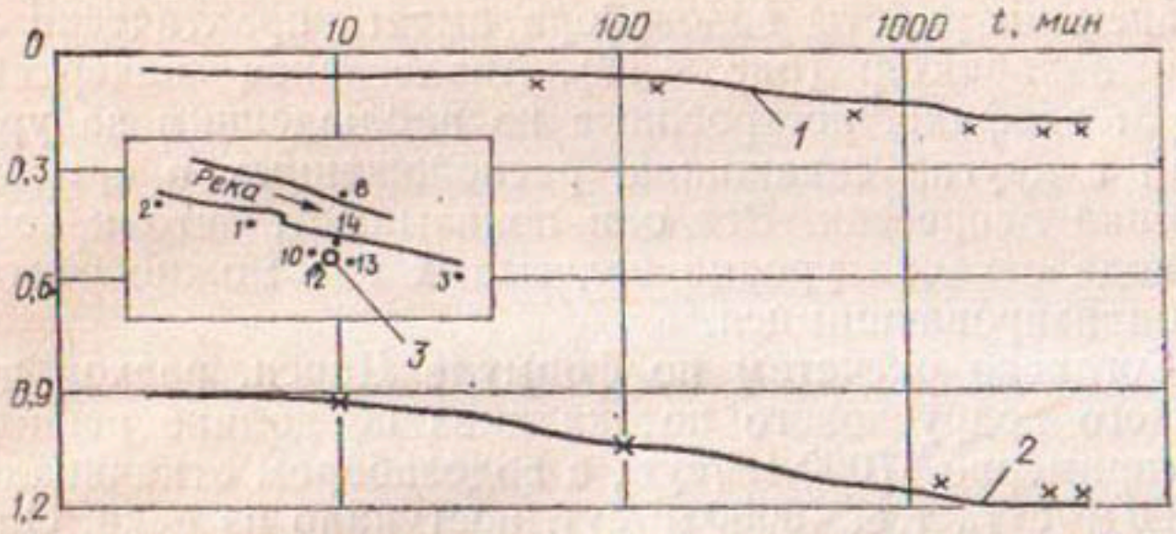


Рис. 4.18. Зависимость понижения уровня воды H от времени *t*.

1 — в наблюдательной скважине № 1 (186 м от лучевого водозабора); 2 — то же, № 10 (24 м от водозабора); 3 — лучевой водозабор

Опытная прокачка водозабора в течение 72 час показала, что при общей производительности 670 л/с каждый из лучей, работающий отдельно без взаимодействия с другими, обеспечивает 126 л/с. Таким образом, удельный водоприток, который по предварительным расчетам должен был составить 0,8 л/с на 1 м длины, был превышен.

Для наблюдений за изменением уровня подземных вод и формированием депрессионной воронки в пределах самих лучей было пробурено дополнительно 4 пьезометрических скважины с автоматическим замером уровней электроуровнемером. Такой же прибор был установлен и в водосборной камере водозабора. Расход воды, изливающейся из напорного патрубка от водоподъемной трубы определяли по мерному водосливу размером 0,6×0,5 м. Одновременно измеряли температуру, химический и бактериологический состав воды в реке, наблюдательных скважинах и в водосборной камере.

Согласно результатам 3-суточных опытных откачек, произведенных эксплуатационными насосами, депрессионная воронка уже за это время достигла противоположного берега реки — наблюдательная скважина № 8 показала понижение уровня от первоначального на 5 м. В то же время наблюдательные скважины № 2 (882 м вверх по течению реки) и № 3 (1190 м вниз по течению) на откачку не среагировали. Зависимость колебания уровня воды в наблюдательных скважинах № 1 и № 10

от времени работы водозабора имеет практически линейный характер (рис. 4.18). Аналогичное начертание имеют графики, построенные по наблюдениям за уровнями в других скважинах, расположенных в пределах воронки депрессии. Все они показывают, что к концу периода откачки уровни подземных вод можно считать стабилизировавшимися.

Согласно расчетам по формуле Дарси, расход подземного подруслового потока вниз по долине реки равен примерно 17000 м³/сут., а водозабором откачивалось 57000 м³/сут., т. е. 40000 м³/сут. поступало из реки. Определив площадь воронки депрессии, можно оценить величину инфильтрации, которая оказалась равной 0,25 м/сут. (в расчете на каждый м² поверхности подруслового потока). С учетом повышения температуры в летнее время по сравнению с зимней почти в 2 раза и соответствующего изменения вязкости воды инфильтрация должна возрасти в 1,5 раза и достигнуть 0,37 м/сут. Вместе с тем в летнюю межень могут снизиться градиенты подруслового потока и соответственно уменьшится доля подземного водоотбора.

Дальнейшим резервом повышения производительности лучевого водозабора является увеличение действующего напора на радиальную систему горизонтальных скважин путем понижения динамического уровня воды в водосборочной камере. Кроме того, в перспективе предполагается строительство еще одного лучевого водозабора, который будет находиться на расстоянии 760—920 м от первого вверх или вниз по течению Нечако.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов С. К.** Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. — М.: Стройиздат, 1973.

2. **Алексеев В. С., Гаврилко В. М. Гребенников В. Т.** Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами. — М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1975.

3. **Альтшуль А. Х., Усенко В. С., Чабан М. О.** Регулирование запасов подземных вод. — М.: Колос, 1977.

4. **Анатольевский П. А., Разумов Г. А.** Горизонтальные водозаборные скважины. — М.: Недра, 1970.

5. **Анпилов В. Е.** Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. — М.: Недра, 1984.

6. **Анпилов В. Е., Пономаренко Ю. В., Луговой В. П.** Опыт сооружения лучевых скважин в мелкозернистых песках. — Гидротехническое строительство, № 3, 1982.

7. **Бабушкин В. Д., Бунтман А. Д., Малышев Л. И., Хасин М. Ф.** Осушение выработок в неоднородных водоносных системах. — М.: Недра, 1978.

8. **Бакшеев И. С.** Исследование установок по сооружению горизонтальных лучевых дрен из вертикальных скважин для осушения нерудных месторождений. — В кн.: Механизация технологических процессов в промышленности строительных материалов. — М., 1980.

9. **Биндеман Н. Н., Язвин Л. С.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. — М.: Недра, 1970.

10. **Боревский Б. В., Самсонов Б. В., Язвин Л. С.** Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек.— М.: Недра, 1979.

11. **Ведерников В. В., Дзекцер Е. С.** Оценка дренированности территории. — Водные ресурсы, № 3, 1984.

12. **Веригин Н. Н., Васильев С. В., Разумов Г. А., Шерхудов Б. С.** Фильтрация из водохранилищ и прудов. — М.: Колос, 1975.

13. **Волынов М. А.** О расчете трубопроводов с проницаемыми стенками. — Гидротехническое строительство, № 7, 1977.

14. **Временные** методические рекомендации по технологии сооружения лучевых дренажных скважин буровой установкой УЛБ-130.— ВИОГЕМ, Белгород, 1981.

15. **Временная** инструкция по проектированию защитных мероприятий от подтопления грунтовыми водами зданий и сооружений.— ВИОГЕМ, Белгород, 1978.

16. **Гавшина З. П., Дзекцер Е. С.** Условия подтопления грунтовыми водами застраиваемых территорий. — М.: Стройиздат, 1982.

17. **Галич Р. А., Ключникова И. П., Егунов В. Ю.** Защита от подтопления территорий с реконструируемой застройкой при помощи лучевого дренажа. — В кн.: Современное состояние и тенденции развития больших городов в СССР и за рубежом. — М.: МГЦНТИ, вып. 11, 1986.

18. **Еременко Ю. Г., Жуков Н. Я.** Повышение производительности шахтных колодцев горизонтальными лучевыми фильтрами. — В кн.: Эксплуатация обводнительно-оросительных систем, вып. XIV, ч. 1, Южгипроводхоз Минводхоза РСФСР, Ростов-на-Дону, 1973.

19. **Мироненко В. А., Шестаков В. М.** Основы гидромеханики. — М.: Недра, 1974.

20. **Насберг М. В.** Расчет водозабора подземных вод для орошения и обводнения пастбищ. — В кн.: Доклады ВАСХНИЛ, № 2, М., 1970.

21. **Олейник А. Я.** К вопросу о расчете пространственной фильтрации воды к горизонтальной дрене конечной длины в однородном потоке. — В кн.: Фильтрационные исследования и расчеты.—Киев: Наукова думка, 1967.

22. **Олейник А. Я.** Геогидродинамика дренажа. — Киев: Наукова думка, 1981.

23. **Основания,** фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика. — М.: Стройиздат, 1985.

24. **Полубаринова-Кочина П. Я.** Теория движения грунтовых вод. — М.: Наука, 1977.

25. **Порядин А. Ф.** Устройство и эксплуатация инфильтрационных водозаборов. — М.: Стройиздат, 1977.

26. **Пособие** по проектированию сооружений для водозабора подземных вод. — М.: Стройиздат, 1989.

27. **Проектирование** водозаборов подземных вод/Под ред. Бочевера Ф. М. — М.: Стройиздат, 1976.

28. **Разумов Г. А., Сахаров Е. Н., Станкевич А. Е.** Лучевые водозаборы в Польской Народной Республике//Водоснабжение и санитарная техника, 1968, № 5.

29. **Разумов Г. А.** Исследование вопросов устройства лучевых водозаборов водоносных пластах малой мощности//Рефер. сб. Инженерные изыскания в строительстве, вып. 5(33), ЦИНИС Госстроя СССР. — М., 1976.

30. **Разумов Г. А., Плотников С. Б.** Опыт устройства лучевых водозаборов//Водоснабжение и санитарная техника. № 9, 1974.

31. **Разумов Г. А.** Метод горизонтального водопонижения при строительстве подземных сооружений//Инженерные изыскания в строительстве, реф. информ., вып. 6 (71), серия XV, ЦИНИС Госстроя СССР. — М., 1978.

32. **Разумов Г. А.** Расчеты лучевых дренажей//Инженерные изыскания в строительстве, реф. информ., вып. 3(56), серия XV, ЦИНИС Госстроя СССР. — М., 1977.

33. **Разумов Г. А. Подземная вода. Водозаборные сооружения, дренаж, ирригация.** — М.: Наука, 1975.

34. **Разумов Г. А.** Комбинированный дренаж слабопроницаемых грунтов и использование подземных вод для орошения в комплексе с поверхностными водами. Сб. статей советских специалистов на IX Международном конгрессе по ирригации и дренажу. — М., 1975.

35. **Рекомендации** по проектированию и расчетам защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. — М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1979.

36. **Рекомендации** по инженерно-гидрогеологическому обоснованию защитного дренажа территорий, подтапливаемых подземными водами. — М.: Стройиздат, 1985.

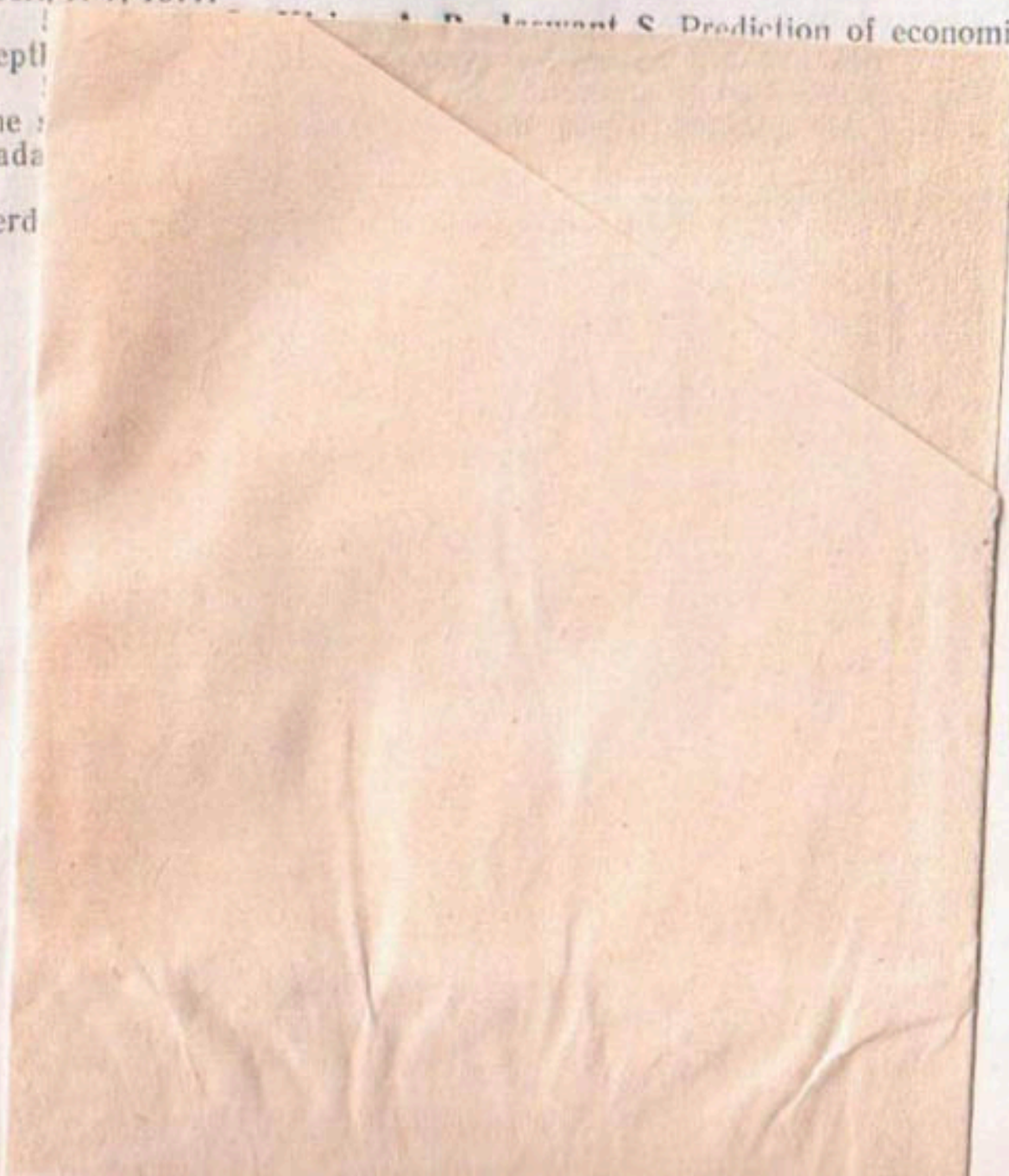
37. **Рекомендации** по технологии и механизации разработки траншей для строительства подземных сооружений способом «стена в грунте». НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. — М., 1982.

38. **Рекомендации** по проектированию и эксплуатации систем искусственного пополнения подземных вод.—М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1976.

39. **Рудиков В. С., Заржецкий Е. В.** Опыт сооружения малых лучевых водозаборов. — В кн.: Технический прогресс при строительстве скважин на воду. — М., 1974.

40. **Руководство** по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. НИИОСП. им. Н. М. Герсеванова.— М.: Стройиздат, 1977.

41. **Смыгунов Г. И.** Применение колодцев с горизонтальными лучевыми фильтрами для водопонижения. — М.: Энергия, 1975.
42. **СНиП 2.04.02.84.** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1985.
43. **Справочник** по осушению горных пород. — М.: Недра, 1984.
44. **Шестаков В. М.** Динамика подземных вод. — М.: изд. МГУ, 1979.
45. **Филахтов А. Л., Лубинец Г. К., Писанко Н. В.** Опыт возведения сооружений методом «стена в грунте». — Киев: Будівельник, 1981.
46. **Фомин Б. Н.** Эффективность дренажных систем на промышленных площадках в различных гидрогеологических условиях. Обз. инф. Специальные строительные работы, вып. 2, ЦБНТИ Минмонтажспецстроя. — М., 1984.
47. **Хасин М. Ф.** Использование телескопических фильтров для откачки подземных вод.//Энергетическое строительство, № 3, 1977.
48. **Хордикайнен М. А.** Гидрогеологические исследования лучевых водозаборов и опыт их эксплуатации//Гидрогеология и инженерная геология. — ВИЭМС Мингео СССР, 1977.
49. **Archambault G., Deremaux M., Molinari P.** Le puits à drains rayonnants//Techn. at sci. munic, N 4, 3—13, IV, 1974.
50. **Bourgeois P. O., Brownell J. D., Kirk J. W.** Canada's largest water well.//Ground Water, N 1, 1974.
51. **Hampel J.** Regenerance studni s horizontalnimi sberaci//Vodni hosr., N 7, 1977.



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Глава 1. **Типы и конструкции горизонтальных водозаборов и дренажей** 6
1. Развитие строительства, проектирования и исследований в области горизонтальных и лучевых водозаборов и дренажей . 6
2. Горизонтальные водозаборы 11
3. Лучевые водозаборы 38
4. Лучевой дренаж 59
Глава 2. **Гидрогеологические расчеты водозаборов и дренажей** . 84
1. Общие положения 84
2. Горизонтальные линейные водозаборы 113
3. Лучевые водозаборы 114
4. Горизонтальные линейные дренажи 123
5. Лучевые дренажи 125
6. Линейные ряды параллельных горизонтальных скважин . 131
Глава 3. **Строительство горизонтальных и лучевых водозаборов и дренажей** 135
1. Открытый способ строительства 135
2. Устройство водосборных камер 140
3. Проходка горизонтальных радиальных скважин лучевых водозаборов методом продавливания 146
4. Интенсификация проходки горизонтальных скважин лучевых водозаборов и дренажей 160
5. Направляющие головки для бестраншейной проходки горизонтальных скважин 176
6. Экспериментальные исследования проходки горизонтальных скважин 177
Глава 4 **Опыт строительства и эксплуатации лучевых водозаборов** 197
1. Практика применения лучевых водозаборов 197
2. Головные сооружения водопровода г. Уфы 210
3. Лучевые водозаборы в Польской Народной Республике . 225
4. Инфильтрационный водозабор в Принс Джордж (Канада) . 233
Список литературы 239

ИБ № 4497

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

РАЗУМОВ ГЕННАДИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ И ДРЕНАЖЕЙ

Редакция литературы по инженерному оборудованию
Зав. редакцией И. В. Соболева
Редактор М. В. Степанова
Мл. редактор И. Г. Ларионова
Технический редактор Т. В. Кузнецова
Корректор И. А. Кирьянова

ИБ № 4497

Сдано в набор 08.09.87. Подписано в печать 09.03.88. Т-06376. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 12,6. Усл. кр.-отт. 12.91. Уч.-изд. л. 12,64. Тираж 13 000 экз. Изд. № AVI—1968. Зак. 940. Цена 65 коп.

Стройиздат. 101442, Москва, Каляевская, 23а
Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

Цена 65 коп.

РАЗУМОВ ГЕННАДИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ — старший научный сотрудник, кандидат технических наук, более 30 лет работает в области гидротехники и инженерной геологии, связанной с научными исследованиями и проектированием объектов водоснабжения и дренажа.

Им разработаны научные основы гидрогеологического расчета систем водозаборов подземных вод, в частности создана теория оценки производительности лучевых водозаборов и водопонижения лучевых дренажей. Результаты исследований вошли во Всесоюзные нормативные документы и справочные пособия.

По методике автора запроектированы и построены водозаборы в Рустави, Уфе, Пензе, Каунасе и др.

Разумов Г. А. опубликовал более 100 научных трудов, в том числе 6 монографий. Им получено 15 авторских свидетельств на изобретения. Некоторые его работы напечатаны в Канаде, Франции, ГДР, Болгарии, Чехословакии.