

## «Тольяттинский государственный университет»

## (ИНСТИТУТ)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

(код и наименование направления подготовки)

(направленность (профиль))

# МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему **«Водозаборно-очистные сооружения при совместном отборе  
поверхностных и подрусловых вод»**

Студент

М.С. РЫСИН

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководи-  
тель

И.А. Лушкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

## Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

## Руководитель программы

ктн., доцент В.М. Филенков

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« » 20 г.

## Допустить к защите

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент М.Н. Кучеренко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия )

(личная подпись)

« » 20 г.

## Тольятти 2016 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                                                | 4  |
| 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ И КОНСТРУКЦИЙ<br>ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ОТБОРЕ<br>ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДРУСЛОВЫХ ВОД .....                                          | 7  |
| 1.1 Особенности классификации водозаборно-очистных сооружений.....                                                                                                           | 7  |
| 1.2 Водозаборно-очистные сооружения на основе фильтрующего<br>водоприема.....                                                                                                | 11 |
| 1.2.1 Особенности классификации и конструктивные особенности<br>водозаборов с фильтрующим водоприемом.....                                                                   | 12 |
| 1.2.2 Особенности отбора воды водозаборно-очистными сооружениями<br>различных конструкций.....                                                                               | 18 |
| 1.3 Инфильтрационные водозаборные сооружения. Методы расчета .....                                                                                                           | 30 |
| 1.4 Особенности водозаборно-очистных сооружений на перемерзающих и<br>пересыхающих реках .....                                                                               | 40 |
| 2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПИРАЛЬНО-НАВИТЫХ<br>ВОДОСБОРНЫХ УСТРОЙСТВ «ТЭКО-СЛОТ» В КОНСТРУКЦИЯХ<br>ИНФИЛЬТРАЦИОННО-ФИЛЬТРУЮЩИХ И ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ<br>ВОДОЗАБОРОВ ..... | 48 |
| 2.1 Конструктивные особенности спирально-навитых водосборных<br>устройств «ТЭКО-СЛОТ» .....                                                                                  | 48 |
| 2.2 Возможные направления применения спирально-навитых фильтрующих<br>элементов .....                                                                                        | 49 |
| 2.3 Конструктивные и производственные особенности лучевых водозаборов...                                                                                                     | 51 |
| 2.4 Конструкции ифильтрационно-фильтрующих водозаборных сооружений ..                                                                                                        | 56 |
| 3 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО<br>ВОДОЗАБОРА.....                                                                                                             | 58 |
| 3.1 Разработка технологической схемы инфильтрационного водозаборного<br>сооружения.....                                                                                      | 58 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1 Предлагаемые схемы модели инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения на базе фильтрующего элемента «ТЭКО-СЛОТ».....    | 58 |
| 3.1.2 Конструкция установки инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения .....                                                 | 60 |
| 3.2 Определение расчетного значения дебита водозаборно-очистного сооружения.....                                                     | 67 |
| 3.3 Результаты запуска опытной установки .....                                                                                       | 68 |
| 3.3 Рекомендации по выбору места расположения и строительства инфильтрационного водозабора с применением дрен-лучей «ТЭКО-СЛОТ»..... | 70 |
| ВЫВОДЫ .....                                                                                                                         | 71 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                                                                                               | 72 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы:** Стабильное обеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства качественной водой требует дальнейшего совершенствования систем водоснабжения. Водозаборные и очистные сооружения являются одними из важнейших элементов систем водоснабжения. От их конструктивного решения и условий эксплуатации во многом зависит надежность и технико-экономические показатели систем водообеспечения в целом.

Существующие конструкции водозаборов из поверхностных источников имеют известные недостатки: взвешенные вещества из рек, каналов и водохранилищ транспортируются с водой в береговые колодцы и приемные отделения насосных станций; выпавшие в самотечных трубах, оголовках и береговых колодцах крупные грубодисперсные взвеси и накапливаемый осадок необходимо периодически удалять, а решетки и сетки на водоприемных окнах – промывать от загрязнений. Все это усложняет работу водоприемников, увеличивая затраты на их эксплуатацию. Необходимость очистки вод поверхностных источников требует строительства громоздких и материалоемких отстойников, осветлителей, фильтров. Для обезвоживания и утилизации осадка, образующегося при очистке воды, требуются дополнительные технологические узлы, энерго- и трудозатраты. Исходя из этого, применение конструкций водозаборных сооружений и водоприемников с водоочистой функцией является актуальной задачей. Одним из направлений решения данной задачи является совместный отбор поверхностных и подрусловых вод с помощью комбинированных фильтрующих, инфильтрационно-фильтрующих и инфильтрационных водозаборно-очистных сооружений при достаточной мощности аллювиальных отложений.

Известны водоисточники, в которых русло реки непостоянно и пересыхает в летние, или замерзает в зимние периоды. Применение инфильтрационных водозаборно-очистных сооружений позволяет решить проблему недостатка воды подобных водоисточников.

В данной магистерской диссертации рассматривается область применения и конструктивные решения водозаборно-очистных сооружений с применением спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР». В рамках диссертации создана и испытана опытная модель инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения.

**Объект исследования:** водозаборно-очистные сооружения.

**Предмет исследования:** совместный отбор поверхностных и подрусловых вод водоисточников.

**Целью работы** является разработка конструкции и создание опытной модели водозаборно-очистного сооружения для совместного отбора поверхностных и подрусловых вод.

**Для реализации цели поставлены следующие научно-технические задачи:**

- Анализ существующих типов и конструкций водозаборных сооружений для совместного отбора поверхностных и подрусловых вод;
- Анализ возможной области применения спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР» в конструкциях водозаборных сооружений и водоприемников;
- Разработка конструкции водозаборно-очистного сооружения на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР»;
- Создание опытной модели инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения и анализ её работоспособности.

**Научная новизна заключается в:**

- Теоретическом обосновании конструкций водозаборно-очистных сооружений с применением спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР»;

– Разработке конструкции водозаборно-очистного сооружений на основе спирально-навитых водосборных устройств;

– Получение и анализ опытных данных о применении спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» в инфильтрационных водозаборно-очистных сооружениях.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что предлагаемые конструктивные решения на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР» позволят улучшить качество забираемой воды и снизить тем самым нагрузку на очистные сооружения.

**Личный вклад автора** состоит в обосновании темы, цели, задач и разработке конструктивных решений водозаборно-очистных устройств на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР», создание опытной модели и её испытание.

**На защиту выносятся:** конструкция водозаборно-очистного сооружения с применением спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ».

**Апробация работы.** Результаты работы представлены в сборниках трудов:

IV Всероссийской научно-практической конференции. Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья (г. Тольятти, ТГУ, 2015).

XVIII-ой Международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного благоустройства и экологии» (г. Пенза, МНИЦ ПГСХА, 2016).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, общих выводов, библиографии из 43 наименований. Общий объем работы 78 - стр., включая 41 иллюстрацию и 1 таблицу.

# 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТИПОВ И КОНСТРУКЦИЙ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ОТБОРЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДРУСЛОВЫХ ВОД

## 1.1 Особенности классификации водозаборно-очистных сооружений

В ряде случаев в качестве источника централизованного питьевого водоснабжения приходится использовать недостаточно пригодную для этих целей воду. Современные способы очистки и обеззараживания природной воды не всегда способны обеспечить получение химически безвредной, инфекционно безопасной и биологически полноценной питьевой воды.

Поэтому на водозаборно-очистные сооружения, входящие в единый техно-экологический комплекс с водоисточником, должны возлагаться прежде всего такие защитно-барьерные и водоочистные функции, которые не ухудшали бы качество воды в нем и не влияли отрицательно на гидрологический режим водотоков или гидрогеологический режим водоносных подземных пластов.

Как и для традиционных водозаборов систем водоснабжения, водозаборно-очистные сооружения делятся на *поверхностные* и *подземные*. По месту расположения по отношению к поверхностному водоисточнику они бывают *русловые, береговые и комбинированные*.

По компоновке и размещению в узлах подземных водозаборов они размещаются либо только в *прифильтровой зоне скважин, шахтных колодцев, каптаже родников и горизонтальных водосборов*, либо представляют собой *комплекс, часть которого размещена в зоне водоприема, а другая, вспомогательная – на поверхности земли*.

Различаются *водозаборно-очистные сооружения и по технологии улучшения качества воды на них*. Большой класс сооружений, наиболее применяемый на практике в настоящее время, реализует безреагентное осветление воды и механическое задержание грубых плавающих предметов. К этому

классу сооружений и устройств относятся решетки, сетки, фильтрующие оголовки и водоприемные окна, перекрытые фильтрующими кассетами. Они отличаются большой водопроницаемостью, обусловленной значительным размером ячеек сетки и решеток ( $\geq 2 \times 2$  мм) и крупностью гранул фильтрующей обсыпки ( $\geq 3...6$  мм). Их промывка обычно осуществляется обратным током воды непосредственно в водоисточнике или при периодической профилактике с подъемом и извлечением из корпусов оголовков или водоприемных колодцев фильтрующих кассет. Входные скорости в водоприемной части таких классических водозаборно-очистных сооружений колеблются в пределах 0,06...1,5 м/с. При небольших производительностях водозаборно-очистных узлов локальных и централизованных систем сельскохозяйственного водоснабжения и наличии условий для размещения сооружения в руслах водотоков или на их берегах без нарушения гидрологического режима площади водоприема таких сооружений могут быть увеличены. Это позволяет снизить скорость фильтрования исходной воды. Такое решение совместно с увеличением толщины и уменьшением гранул фильтрующего слоя обсыпки или уменьшением ячеек многослойных сеток или комбинированного сетчато-зернистого устройства позволяет существенно повысить эффект безреагентного осветления воды.

Более глубокое осветление воды достигается в *водозаборно-очистных сооружениях отстойного типа*. К таким относятся ковшевые водозаборы-отстойники; магистральные подводящие каналы, в концах которых размещены насосные станции; аванкамеры больших размеров на берегах больших и малых водотоков; отстойники Айрапетова, устраиваемые в руслах рек; наливные водоемы и водохранилища. В системах производственного оборотного водоснабжения отстойники, располагаемые на берегах и входящие в единый комплекс с водозабором, эксплуатируются как без применения, так и с применением коагулянтов и флокулянтов. В состав водозаборного узла в ряде случаев (системы орошения, сельхозводоснабжения, технического водо-

снабжения крупных предприятий, гидротехнические комплексы) включаются классические очистные установки: *гидроциклоны, сетчатые и зернистые фильтры*. Их монтируют на всасывающих или напорных водоводах насосов. Размещают их обычно на берегу или непосредственно в руслах водоисточников.

Особый класс водозаборно-очистных сооружений представляют *комплексы, предназначенные для биологической предочистки вод, содержащих органические загрязнения*: наливные водоемы (бассейны); специальные управляемые водохранилища; каналы и биоплато с высшей водной растительностью; береговые и русловые устройства, в которых размещены носители (искусственные волокна, высокопористые гранулированные и кусковые материалы) для прикрепленной (иммобилизованной) микрофлоры. В сооружениях этого типа дополнительно могут устраиваться системы принудительной аэрации или озонирования воды. В случае использования высших водных растений (камыш, рогоз, тростник и др.) в подводящих каналах должны предусматриваться устройства для своевременного изъятия отмирающих растений с исчерпанной сорбционной (адгезионной) способностью. Использование перечисленных выше технологических приемов и сооружений для предочистки.

Водозаборно-очистные сооружения и устройства из подземных водоисточников делятся по выполнению ими технологических функций водочистки на четко выраженных два класса: фильтрующие устройства, предотвращающие попадание в эксплуатационные колонны скважин и шахты инфильтрационных и горизонтальных водозаборов песка и других мелких частиц водоносных пород (механическое задержание) и сооружения для дегазации и физико-химической очистки воды от железа с помощью кислорода атмосферного воздуха, вводимого в прифильтровую зону.

Особый класс представляют *водозаборно-очистные станции блочного типа* заводского изготовления, размещаемые непосредственно в акватории

водотоков или водоемов, или в их руслах. Отличительной особенностью таких комплексов (станций) является то, что в их состав помимо водоприемных блоков и очистных элементов могут входить камеры размещения насосов, устройства для обеззараживания воды, баки для промывки очистных элементов. Такие комплексы, устраиваемые в руслах рек, не требуют дополнительных строительных конструкций на берегу. Иногда в них помимо традиционных приемов фильтрования и отстаивания реализуются процессы флотации, реагентной обработки (смешения и контактного фильтрования), электрообработки и др.

Практика показала, что при заборе воды инфильтрационными и фильтрующими водоприемниками, являющимися, по существу, водозаборно-очистными сооружениями, возможно получить воду, требующую лишь минимальной очистки и обеззараживания. Даже самые сложные конструкции водозаборно-очистных сооружений, обеспечивающих высокую степень предочистки воды, вполне оправданы. Оправданным при этом является и развитие обширного водоприемного фронта с малыми (ниже 0,005 м/с) скоростями водоотбора [1, 2, 3].

Следует особо отметить, что в каждом конкретном случае организации водоотбора, выбор водозаборно-очистного сооружения или устройства должен осуществляться, в первую очередь, с учетом гидрологических и гидрогеологических режимов существования водотоков и водоносных подземных пластов, эксплуатации водоисточников, их использования для энергетики, в качестве транспортных артерий и осуществления по ним лесосплава, особенностей зимних условий эксплуатации, зарегулированности стока, обеспечения рыбозащиты и правил охраны от техногенных загрязнений, а затем — в зависимости от технической и экономической целесообразности обеспечения разумной достаточности эффекта очистки воды.

## **1.2 Водозаборно-очистные сооружения на основе фильтрующего водоприема**

Фильтрующие водоприемники имеют достаточно широкий спектр применения. Сам факт предварительной фильтрации воды позволяет упростить её дальнейшую очистку. Уже на этапе забора воды достигается очистка от взвесей, решается проблема рыбозащиты.

Коллектив ВНИИ ВОДГЕО под руководством А.С.Образовского провел целевые исследования, касающиеся фильтрующего водоприема. Предпосылками к использованию фильтрующих водоприемников стали трудно-решаемые задачи водоснабжения: влияние шуги и льда на забор воды в холодные периоды года [4, 5]; проблема защиты рыбного хозяйства [6]; защита сооружений от загрязнений биогенного характера (водоросли, планктон и др.) [7]; совмещение защитной и очистной функции в одном сооружении [8...11]; предочистка воды из поверхностного водоема для подачи её на очистные станции или закачки в водоносные пласты [12...15] и др.

Перед обработкой, любые взвеси в воде, будь то наносы, планктон, водоросли и т.д., подлежат изъятию. Намного проще и эффективнее избавляться от подобных загрязнений на этапе забора воды из водоемисточника, ежели устраивать дополнительные сооружения для их задержания в процессе очистки на станции. Летом основной проблемой поверхностных источников является большое содержание водорослей и низшей водной растительности, зимой — ледовые помехи и шуга. Фильтрующие водоприемники обеспечивают:

1. Комплексную защиту водозаборов от всевозможных взвесей и помех при обычных и чрезвычайных проявлениях режима источников, возможен отказ от дорогостоящих и неудобных в эксплуатации водоприемных окон с решетками;

2. Предварительную очистку воды до той степени, когда требуется минимальная её очистка или очистка не требуется совсем. (инфильтрационные или фильтрующие водозаборные конструкции со встроенной загрузкой);
3. Гидрологический режим водоема практически не изменяется;
4. Отказ от необходимости избавляться от осажденных взвесей на очистных сооружениях;
5. Устройство фильтрующих водозаборов оправдано практически в любом климате;
6. Возможность регулирования объема водоотбора;
7. При применении соответствующих конструкций водоприемных устройств обеспечивается необходимая степень очистки.

Применение водозаборно-очистных сооружений с фильтрующим водоприемом позволяет уйти от влияния факторов, характерных для поверхностных водоисточников, в частности практически полное удаление из воды водорослей, планктона и других фитозагрязнений. Водозаборные сооружения с фильтрами, организованными под руслами водоемов позволяют вести отбор из рек с малыми расходами и из рек, подверженных перемерзанию в зимний период и пересыханию в летний. Отбор воды такими сооружениями происходит как из поверхностного источника, так и из подземных источников.

За годы исследований на тему предварительной очистки воды для инфильтрации [16], водоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий различной направленности [1...18] были сделаны выводы о перспективности применения фильтрующих водозаборно-очистных сооружений.

#### **1.2.1 Особенности классификации и конструктивные особенности водозаборов с фильтрующим водоприемом**

Забор воды в фильтрующих водозаборно-очистных сооружениях может осуществляться фильтрующим, инфильтрационно-фильтрующим методами, или их комбинацией. Основные области применения:

- широкий водоприемный фронт с применением береговых дрен, ряжей и т.д.;
- забор воды с уровня дна водоисточника или ниже него с применением каналов, дрен, галерей и т.д.;
- совмещенный забор воды из поверхностного источника и из-под его русла;
- инфильтрационный прием воды с фильтрацией, при такой схеме основным источником являются подрусловые воды, где фильтром является русло самой реки.

Технологические схемы водоприемных сооружений и их конструкции разнообразны по функциональным и принципиальным решениям. Водозаборное сооружение должно обеспечивать надежность водоснабжения при нормальных и экстремальных условиях, в соответствии с требуемой степенью надежности и местными условиями водоприема. Профессор Ю.И. Вдовин [5], предложил классифицировать водозаборно-очистные сооружения с фильтрующим водоприемом следующим образом (рис. 1.1): в зависимости от ориентации внешних фильтров относительно горизонта и направления забора воды: тип I – с поступлением воды сверху-вниз; тип II – снизу-вверх; тип III – с поступлением воды сбоку; тип IV – водоприемные сооружения с комбинированными многослойными фильтрами, вода поступает снизу, сверху и сбоку; тип V – смешанные водоприемные сооружения, вода в которые поступает сверху-вниз, сбоку из реки и снизу из подруслового потока.

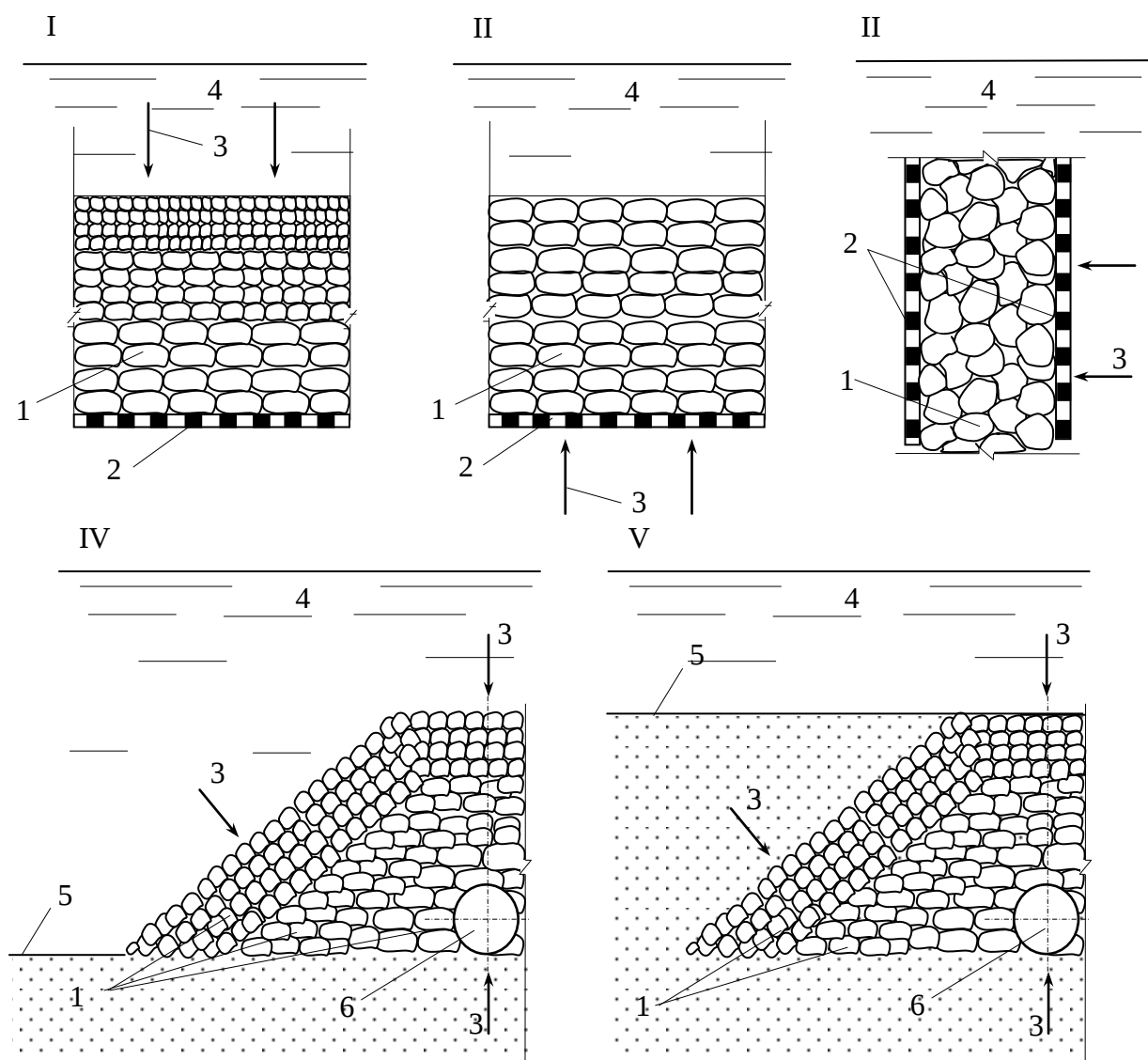


Рисунок 1.1 – Конструкции фильтрующих водоприемников

- I – фильтрация происходит сверху-вниз; II – фильтрация происходит снизу-вверх; III – фильтрация происходит сбоку;  
 IV – смешанный тип (сверху-вниз, сбоку); V – комбинированный водоприем (сверху-вниз, сбоку и снизу из подруслового потока);  
 1 – засыпка; 2 – дно фильтра; 3 – направление потока; 4 – водоем;  
 5 – дно водоема; 6 – водосборная труба

Фильтрующие элементы водозаборно-очистных сооружений при водотоборе должны обеспечивать задержание взвешенных загрязнений, таких как наносы, водоросли, сор, плавающие загрязнения и пр. Фильтрация может осуществляться через несколько слоев, как естественных (гравий, щебень, песчаные смеси), так и искусственных (полимерные загрузки, стекло и пр.). Выбор места установки фильтра зависит от функциональной схемы водозаборного сооружения, следует учитывать возможность влияния фильтров друг

на друга. Место расположения фильтра играет большую роль в достижении необходимой степени очистки воды от взвеси.

Водоприемные устройства фильтрующего типа применяют для забора воды из поверхностных источников. Фильтры обычно устанавливаются на уровне дна или под ним. При устройстве фильтрующих водозаборов не обязательно предусмотреть мероприятия по защите от засорения и кольматации. Для этого применяют обратную промывку или продувку.

Инфильтрационные водозаборы с фильтрующей функцией осуществляют отбор воды из поверхностных и подрусловых источников. Фильтры устраивают в аллювиальных слоях под руслом или под берегом. Возможно применение многослойной фильтрующей обсыпки вокруг водоприемных труб и колодцев [5, 18...21] и пр. На глубине 1-1,5 м прокладывается промывочная система трубопроводов с перфорацией, по которым подается промывная вода или воздух под давлением. Отбор воды осуществляют галереи, дренажи. Если фильтры располагают под дном, фильтрующим элементом может выбираться пористый бетон [22]. При развитии кольматации, фильтры забиваются, проницаемость фильтра снижается и водозабор превращается в инфильтрационно-фильтрующий.

Для большей части береговых фильтрующих и подрусловых водозаборных сооружений периодически должно проводиться восстановление фильтров. Фильтрующие элементы подвержены кольматации, для снятия за кольматированного слоя применяются земснаряды [5], обратная промывка водой под давлением [4, 10, 20], изменение скорости и направления потока воды в водоисточнике [25]. Совмещенные водозаборы, с возможностью забора воды из водоисточника и из-под его русла, а также инфильтрационно-фильтрующие водоприемники, в условиях сильной активности водорослей, показывают хорошие результаты. При глубине водоисточника 3-4 метра, взвешенные частицы распространяются практически по всему сечению потока, в связи с этим, водоприемные устройства логичнее располагать на уровне

дна или под ним. Могут применяться поддонные галереи, дрены. Как показывает практика, рано или поздно, фильтры подвержены кольматации, причем их прочистка не всегда обоснована с экономической точки зрения. Предлагается отказ от прочистки водосборных устройств и превращение их в инфильтрационные.

Для того, чтобы водозаборные сооружения смогли нести функцию водоочистки, удаляя водоросли и планктон, необходимо дооснащение и модернизация водоприемных устройств, а именно – добавление в их конструкцию фильтров. Фильтры обеспечивают очистку воды от взвесей. Водосборные устройства в этом случае играют роль первичных фильтров.

Существует достаточно много конструкций водоприемников, однако, окончательный выбор типа и конструкции фильтрующих элементов должен выбираться исходя из криогидрогеологических, мерзлотно-гидрологических и др. характеристик источников. В ходе научных изысканий, Ю.И. Вдовиным была предложена классификационная схема сооружений на основе фильтрующего водоприема (рис. 1.2).

Водоприемники, отнесенные к инфильтрационным, инфильтрационно-фильтрующим, комбинированным [5, 9, 26] обеспечивают радикальное решение проблемы очистки воды от взвесей в отбираемой воде. Водозаборно-очистные сооружения следует устраивать с расчетом на экстремальные условия водоотбора. Основную нагрузку несут фильтрующие элементы водоприемников, важно, чтобы надежность фильтров была достаточной для бесперебойного снабжения.

В последние годы в практике водоснабжения интенсивно внедряются водоприемные фильтрующие элементы, изготавливаемые путем намотки проволоки на каркасные конструкции или путем перфорации стальных труб (производство ООО ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР», компании «Экотон» и др.).

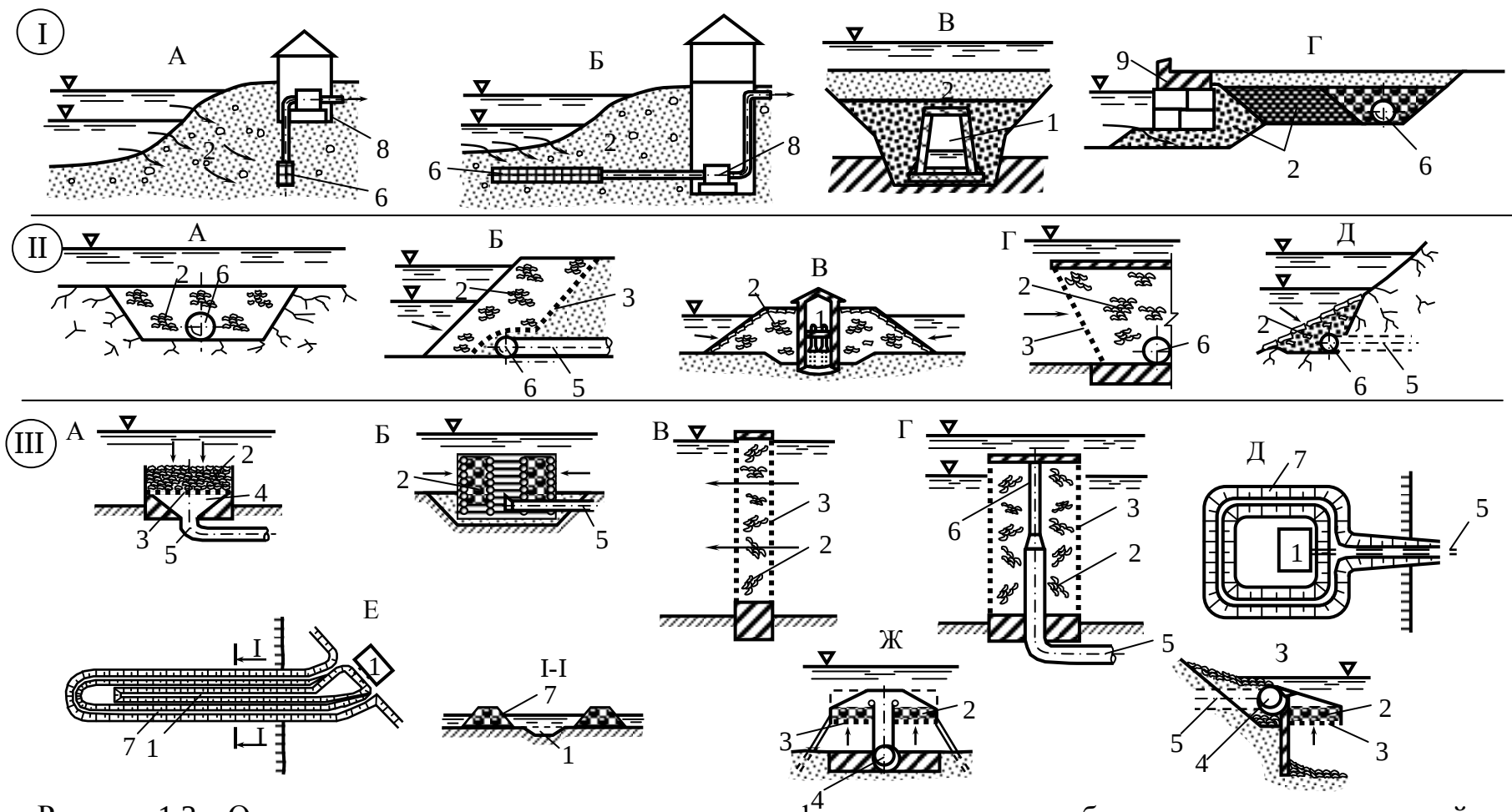


Рисунок 1.2 – Основные технологические схемы и типы фильтрующих водозаборно-очистных сооружений

I – инфильтрационные: А – береговой; Б – подрусовый; В – подрусовая галерея; Г – дрена на крупных водоемах; II – инфильтрационно-фильтрующие: А – подрусовая дрена; Б – откос; В – остров; Г – уступ; Д – береговая дрена; III – фильтрующие: А – оголовок; Б – ряжевый оголовок; В – стенка; Г – колонна; Д – колодец; Е – ковш; Ж – грибовидный; 3 – консольный 1 – береговой колодец; 2 – фильтр; 3 – решетка; 4 – аванкамера; 5 – водоотвод; 6 – дрена; 7 – фильтрующая дамба; 8 – насос; 9 – набережная; 10 – галерея; 11 – канал

### **1.2.2 Особенности отбора воды водозаборно-очистными сооружениями различных конструкций**

Водозаборно-очистные сооружения должны устраиваться в строгом соответствии с нормативными документами и требованиями, применяемыми к сооружениям водоотбора, обеспечивая очистку воды в различных природно-климатических и гидрологических условиях. Важно иметь в виду, что отбор воды из каждого конкретного источника сопровождается как рядом специфических требований, так и общими нормативами. Водоприемники должны разрабатываться индивидуально, с обязательным проведением изысканий и анализом влияния будущего сооружения на гидрологический режим водоема.

Конкретные условия (интенсивность взвесей, шуги и водорослей, природно-гидрологические особенности и др.) могут существенно изменять компоновку водозаборно-очистных узлов. Отдельные сооружения, входящие в состав водозаборно-очистного сооружения, могут представлять собой сложные инженерные сооружения, такие как плотины, защитные стенки, насосные станции, накопительные пруды, каналы с фильтрующей функцией и др. Характер источника, конструкция водоприемника, необходимость регуляционных мероприятий и др. являются основными критериями для выбора технологической схемы фильтрующего водоприема. Выделяют следующие технологии отбора: а – фильтрационный; б – инфильтрационно-фильтрующий; в – многосоставной. Каждая схема (рис. 1.2) имеет свои преимущества и недостатки, а также область эффективного действия. Требования федеральных законов, строительных и санитарных норм [9] по целому ряду параметров зачастую невыполнимы для большинства рек России и СНГ. К этим параметрам относятся соблюдение превышений низа водоприемников относительно дна ( $h_{н.в} \geq 0,5$  м), скорости входящего потока ( $v_{вх}$ ), мероприятия по борьбе с наносами и шуголедовыми помехами и др. Большая часть

фильтрующих водозаборов были построены с нарушением требований нормативов, являлись инновационными.

Расположение фильтров на под дном или на уровне дна зачастую единственный вариант организации водоприема из малых рек. Устройство водохранилищ на малых реках, в настоящее время, самый распространенный метод решения проблемы нехватки воды в источнике, однако строительство плотин и дамб влечет за собой большие расходы, также устройство водохранилищ негативно сказывается на гидрологическом режиме водоема и его флоре и фауне. Водозаборно-очистные сооружения фильтрующего типа позволяют забирать воду в достаточном количестве, при этом регулировать водоем не требуется [4, 5, 24...26], при подобных схемах водозабора возможен перевод воды из поверхностного источника под его русло и создание благоприятных условий для искусственного пополнения подземных вод [28...31]. В большей степени подобные схемы водоснабжения применялись в XX веке [15...24, 32], особенно – во второй его половине, в европейских странах. Устройство водозаборов без применения аккумулирующих мероприятий является приоритетным в водоснабжении. [33, 34, 35]. Перевод поверхностных вод в подрусловые можно осуществлять множеством способов, затраты ресурсов и трудоемкость минимальна.

На основании опубликованных исследований, а также проектных решений можно сделать вывод о том, что большая часть фильтрующих водозаборно-очистных сооружений в перспективе превращается в инфильтрационно-фильтрующий или совмещенный водозабор. В случаях, когда скорость входящего потока  $v_{вх}$  достаточно мала, и коэффициент фильтрации  $\Omega_{вх}$  со временем уменьшается, эффективность промывки раз от раза также снижается, что позволяет считать водозаборно-очистное сооружение инфильтрационно-фильтрационным.

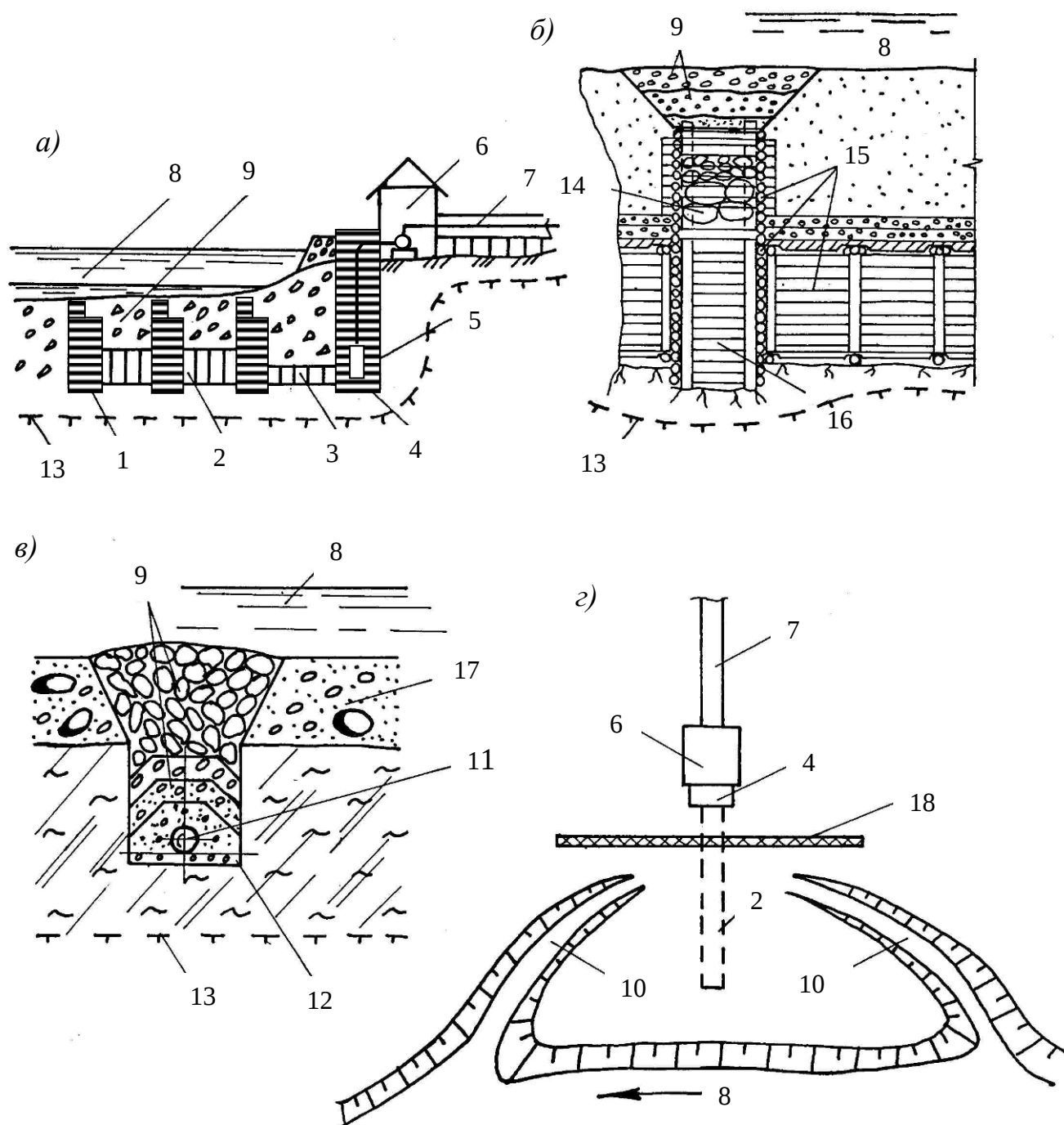


Рисунок 1.3 – Водозаборно-очистные сооружения комбинированного действия

*а* – галерея фильтрующего типа с водосборными колодцами; *б* – водосборный колодец с фильтрующей функцией; *в* – водосборная траншея; *г* – галерея с фильтрующими каналами; 1 – водосборный колодец; 2, 3 – соединительные галереи; 4 – объединяющий колодец или шахта; 5 – погружной насосный агрегат; 6 – здание насосной станции; 7 – напорные линии; 8 – водоисточник; 9 – фильтрующий слой; 10 – каналы для обводнения; 11 – перфорированная труба; 12 – дно котлована; 13 – гидроизоляционный слой; 14 – утепление; 15 – строительные конструкции галерей; 16 – колодец; 17 – грунт; 18 – шпунт

Водозаборно-очистные сооружения, предусматривающие удаление помех водоприему посредством сооружений, которые одновременно исполняют функции защитных и водозаборных, получают все большее распространение. В большинстве случаев – это фильтрующие стенки, дамбы, позволяющие облегчить забор воды и обеспечивая его защиту от шуголедовых помех, водорослей, сохранить нормальный температурный режим водоема, применение фильтрующих сооружений позволяет решить проблему рыбозащиты, улучшить качество забираемой воды, при всех этих плюсах, влияние такого водозабора на гидрологический режим водоема минимально.

Для водоемов наиболее целесообразны водозаборно-очистные сооружения с развитым водоприемно-фильтрующим фронтом: фильтрующие откосы, фильтрующие стенки и т.п. с фильтрами мощностью  $\geq 5,0$  м из каменно-песчаных смесей.

Водоприемники типа «фильтрующий откос» в первом приближении работают как горизонтальные префильтры (рис. 1.4). Для снижения нагрузки от взвешенных веществ (взвесь любых видов, водоросли, планктон и др.) на очистные и фильтровальные станции использование водоприема достаточно распространено в отечественном и зарубежном водоснабжении, хотя и в различных решениях. Фильтры из гравийно-галечниковых материалов крупностью 4...25 мм обладают как и сортированные материалы этой крупности  $K_f \approx 20...25$  м/сутки. Образующаяся пленка [14] на внешней стороне фильтрующего элемента создает условия, благоприятные для сорбции и окисления органики, при этом надобность в реагентах и обслуживании сооружения отпадает. Применение медленной фильтрации в сооружениях такого типа оказывается целесообразным и эффективным во всех географических и климатических зонах [5, 32]. Подобный метод водоотбора позволяет задерживать большой спектр органических взвесей. Крупность взвесей в воде колеблется от 2 до 20 мкм, среднее значение составляет 3-7 мкм.

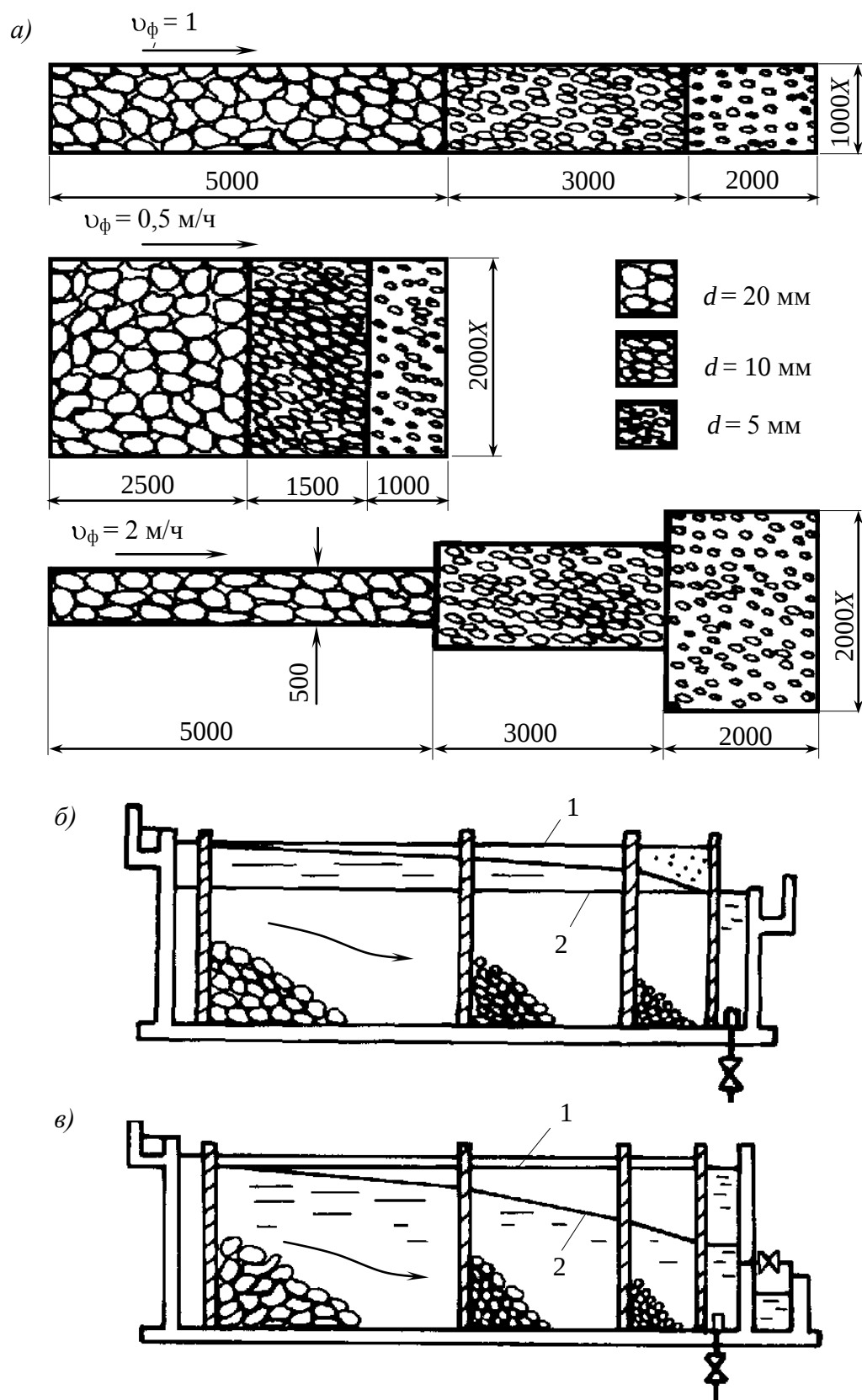


Рисунок 1.4 – Горизонтальные предварительные фильтры:

*а* – конструктивная схема с указанием скорости фильтрации; *б* – предварительный фильтр, уровень воды на выходе в котором постоянен; *в* – то же, но с непостоянным уровнем воды на выходе; 1 – отметка верха воды в чистом фильтре; 2 – то же, в загрязненном

В Швейцарии выявлено [28], что коэффициент фильтрации при горизонтальном отборе достаточно высок и устойчив, за счет того, что на загрузке фильтров происходит осаждение взвесей. Геометрические размеры и состав фильтрующих элементов практически не влияет на снижение коэффициента фильтрации в процессе эксплуатации. Регенерация фильтров – обязательный элемент эксплуатации. Грубая загрузка хорошо подвергается регенерации путем дренирования (часть фильтра при этом опорожняется). Мелкая загрузка с частицами размером 1,5–2,0 мм восстанавливается, тем же образом, что и медленные фильтры – продувкой или напорной промывкой, либо заменой фильтра.

Эффективность очистки фильтрующими откосами наиболее высока, когда скорость потока через тело фильтра постоянна. Когда скорость фильтрации различна в разных отсеках фильтра, эффективность фильтрации снижается. Если длина фильтра ~5м и крупность фильтрующей загрузки уменьшается с 20 до 5 мм, и мутностью 50–300 мг/л, цикл фильтрации составит 400 суток, осветленная вода после фильтрации будет иметь мутность порядка 0,7–5 мг/л, что удовлетворяет требованиям нормативных документов [14].

Для большей части малых водопотребителей (мелкие населенные пункты, отдельные посевные площади и др.) главным источником воды являются искусственные водоемы (пруды, зарегулированные ручьи и др.), подверженные перемерзанию и пересыханию. Наиболее сложной задачей забора воды из подобных источников в летний период является цветение. Решение этих проблем возможно путем устройства инфильтрационных или фильтрующих водосборов производительностью 3–50 м<sup>3</sup>/ч. Забор воды с предварительной фильтрацией позволяет эффективно бороться с водной растительностью и водорослями, активными в летний период года.

Совмещение водозаборных и водоочистных сооружений наиболее важно для малых объектов. В зависимости от характера водоисточников и условий проявления в них водорослей, шуголедовых помех, засоренности про-

мышленными и природными взвесями, наносами и пр. возможны различные приемы, сооружения и устройства для защиты. Комбинирование водозаборных сооружений с фильтрами ведет к улучшению качества забираемой воды. Возможно устройство плавучих водозаборов-отстойников с тонкослойными модулями. Системы, в которых применяется увеличение количества подрусовых вод для последующего забора воды из-под русла также можно считать смешанными водозаборными сооружениями с функцией предварительной очистки.

Водоприемные сооружения с функцией очистки зачастую являются наиболее экономичным решением для снабжения малых населенных пунктов или отдельных ферм. Для таких сооружений характерна простота эксплуатации и сравнительно низкие затраты на строительство. Возможно использование различных исполнений фильтрующих и инфильтрационно-фильтрующих сооружений с различными видами загрузок, от естественных (гравий, песок, щебень) до синтетических (волоконистые, эластичные и др.). После прохождения воды предварительной фильтрации на фильтрационных водозаборно-очистных сооружениях последующая очистка зачастую сводится к обеззараживанию [5, 18, 29].

При небольших объемах забора воды ( $Q_{\text{вх}}$  до  $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) возможно использовать конструкции водоприемных устройств, разработанных СибНИИ-ГиМ и пр. [4, 5]. На рис. 1.5, показаны различные конструкции водоприемников: колодца с фильтрующими стенками (а), водозаборы ряжевого типа (б), фильтрующие дренажные трубы (в).

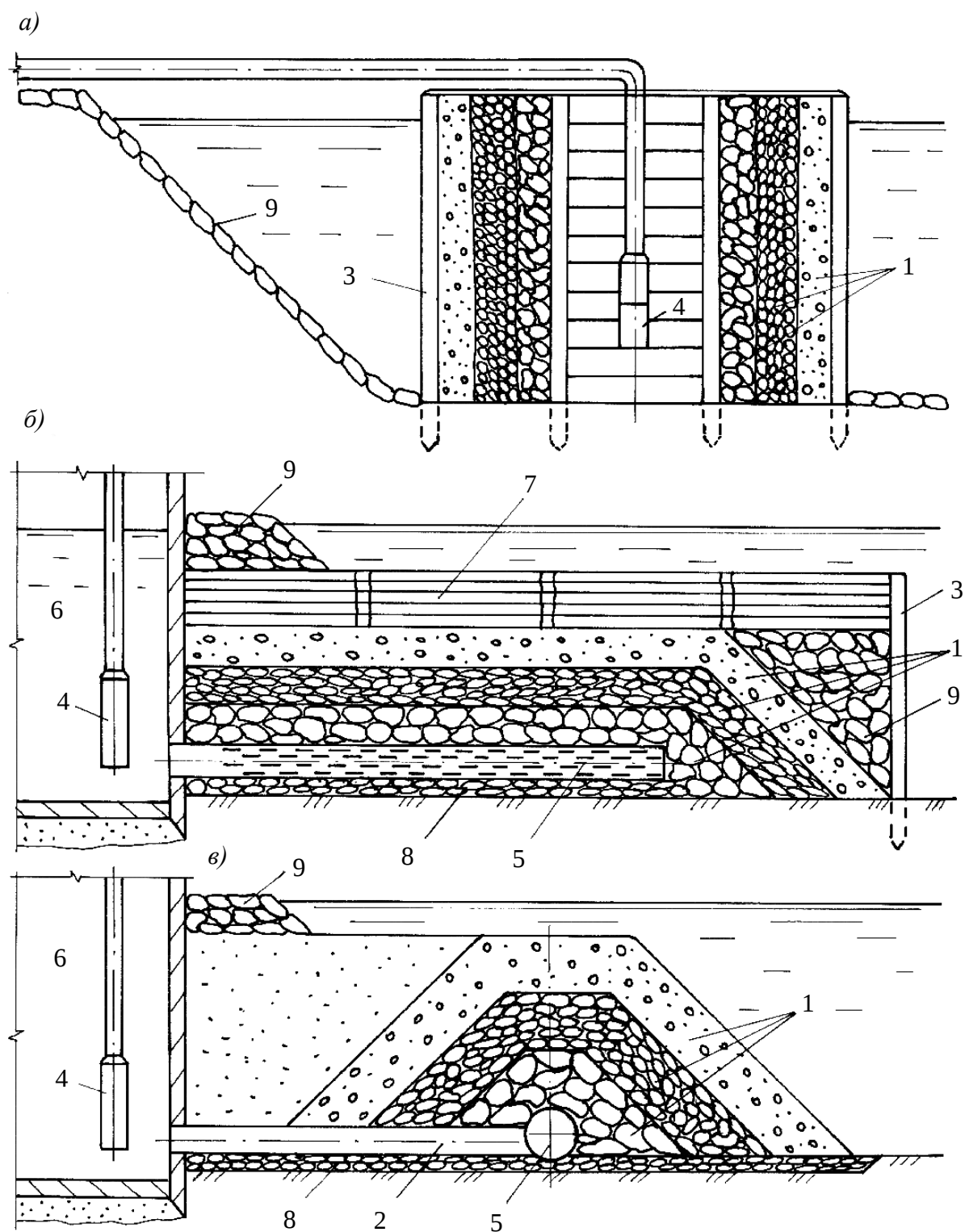


Рисунок 1.5 – Водоприемники из малых водоемов  
( $Q_{\text{вх}} \leq 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ )

*а* – колодец с фильтрующими стенками; *б* – горизонтальная дрена; *в* – откос с фильтрующим слоем; 1 – проницаемый слой; 2 – безнапорный подающий трубопровод; 3 – ряж; 4 – насосный агрегат; 5 – дренарующая труба; 6 – водоприемный колодец; 7 – фашина; 8 – нижний водонепроницаемый слой; 9 – берегоукрепительное сооружение

Конструктивное исполнение подобных водозаборных сооружений достаточно просто и доступно. Для их сооружения не требуется привлечение специальных организаций, материалы и составные части таких водозаборов возможно найти практически в любой местности. Очистная способность таких водозаборов, при соответствующей толщине фильтра (2-2,5 м) достаточно высока\*. Взвешенные вещества, фитопланктон и другие крупно- и среднedisперсные загрязнения при низких скоростях фильтрации (0,02–0,005 м/с) задерживаются фильтрами. Время от времени необходима регенерация фильтров путем подачи промывной воды в установленные в фильтре промывные перфорированные трубы [5, 29].

Строительство фильтрующих и инфильтрационно-фильтрующих водозаборных сооружений на малых водотоках – наиболее приемлемая и эффективная альтернатива дорогостоящим водозаборам, предусматривающим регулирование источника водоснабжения. В летнее время водная растительность в таких источниках стоит наиболее остро. Так как значительная часть водопотребителей РФ и СНГ получают воду именно из таких источников, проблема организации отбора малого количества воды (300–1000 м<sup>3</sup>/сутки) актуальна. Н.В.Ереснов [19], М.Н.Черепашинский [37], А.А.Сурин [36] и др. говорили о трудности снабжения малых объектов, не имеющих единой системы водоснабжения. В случае применения водозаборно-очистных станций, которые имеют минимальное влияние на гидрологический режим водоема, проблема решается.

Увеличение фронта водоприема при этом снижает скорости входящего потока в сооружение. Обеспечение  $v_{вх} \leq 0,05...0,005$  м/с обеспечивает высокую степень очистки воды от шуги, водорослей и т.д. Решается задача обеспечения рыбозащиты и попадания в водозаборное сооружение фитозагрязнений. Необходимую для исключения завихрений потока скорость фильтрации  $v_{ф.ср.}$  в горизонтальных водоприемниках, можно определить по формуле Ха-зена:

$$v_{\text{ф. ср}} = \frac{JC \sqrt{1,7+0,03t_{\text{в}}} d_{\text{ф}}^2}{t_{\text{в}}}, \quad (1.1)$$

Где  $J$  – напорный градиент;

$C$  – 1000;

$t_{\text{в}}$  – температура воды, °C;

$d_{\text{ф}}$  – внутренний диаметр дренажного устройства, м.

Для практики предельный расход входящего потока  $Q_{\text{вх.мах}}$  через водосборные устройства, по формуле И.М. Квашнина равен:

$$Q_{\text{вх.мах}} = m_0 + D_{\text{ф.вы}} L_{\text{вы}} v_{\text{ф.мах}}, \quad (1.2)$$

Где  $m_0$  – высота русловых отложений до низа водосборного устройства, м;

$D_{\text{ф.вы}}$  – наружный диаметр фильтра водосборного устройства, м;

$L_{\text{вы}}$  – длина рабочей части водосборного устройства, м;

$v_{\text{ф.мах}}$  – максимальная скорость входящего потока, м/с

$$v_{\text{ф.доп.}} = 65 \sqrt{K_{\text{ф.алл}}}, \text{ м/с}, \quad (1.3)$$

где  $K_{\text{ф.алл}}$  – коэффициент фильтрации обводненных пород аллювия, м/сутки.

Последняя формула предложена С.К.Абрамовым и В.С.Алексеевым. Рассматривая систему «дрена (водосборная труба, галерея) – слой аллювия – речной поток» как единую систему, зависящую от сопротивления фильтрующего слоя, критический  $Q_{\text{вх.кр}}$ , обеспечивающий требуемую степень очистки забираемой воды, определяется формулой И.Ф.Володько, сходной с формулой (1.2):

$$Q_{\text{вх.кр}} = 2\pi r_{\text{ф}} m_{\text{алл}} K_{\text{ф.алл}} J_{\text{кр}}, \quad (1.4)$$

Где  $r_{\text{ф}}$  – внешний радиус фильтрующей обсыпки фильтра, м;

$m_{\text{алл}}$  – мощность аллювия, м;

$J_{\text{кр}}$  – критический градиент, т.е. исключаяющий кольяматацию фильтрующей обсыпки дрены и ее суффозию.

При достаточно малых слоях аллювия ( $\geq 3-4$  м) и слабых его фильтрационных характеристиках ( $K_{\phi} \leq 10-12$  м/сутки), необходимы конструкции водоприемников с фильтрами, способными к самостоятельной промывке проходящим речным потоком, при этом фильтрующие элементы располагаются в непроницаемых для воды жестких ложементках. Предусмотрена промывка фильтров. Подобная конструкция разработана, исследована и внедрена в практику водоснабжения завода и поселка из ручья (Пензенская обл.).

Замысел разработки конструкции водоприемника с фильтрующей функцией, без возведения регулирующих сооружений на водоеме, возник довольно давно. А.А.Сурин и его ученики успешно воплотили индустриализацию изготовления сборных элементов гравийно-трубчатых галерей (дрен) на многих объектах [36, 18] при организации забора воды из малых рек. Участки стальной или тонкостенной железобетонной водосборной трубы перфорируют до 30–40%. Каждый участок трубы изготавливается длиной 2,5–5,0 м и имеет многослойный фильтр (рис. 1.6).

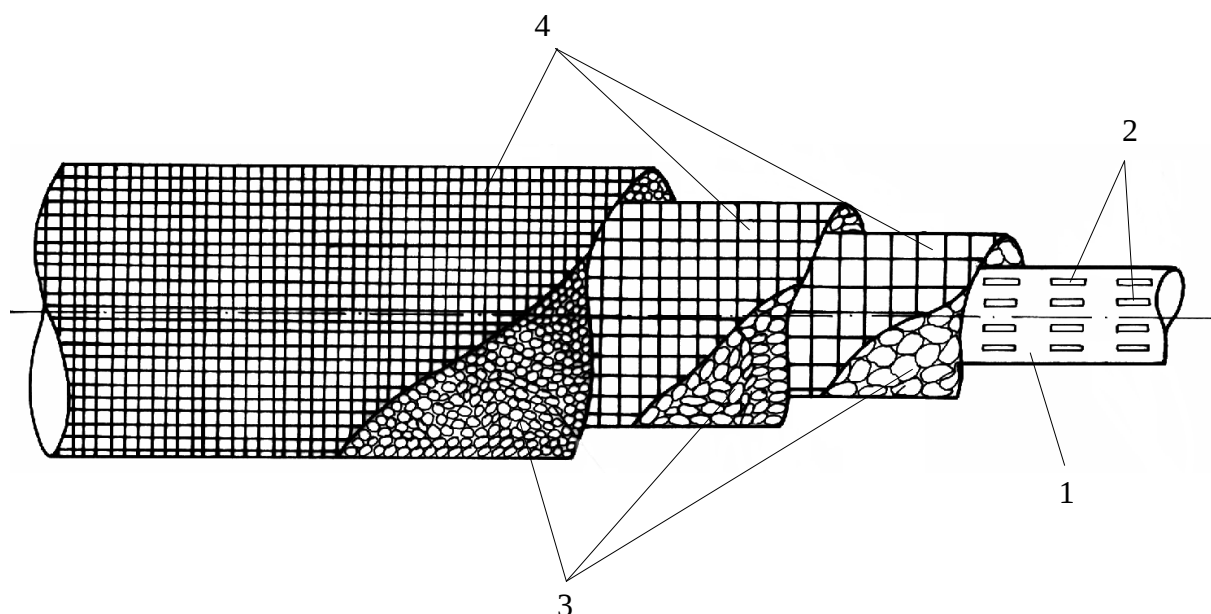


Рисунок 1.6 – Дрена с трехслойным фильтром

1 – труба; 2 – перфорация; 3 – фильтр; 4 – поддерживающие сетки

Толщина фильтра выбирается из расчета 3-5-10 диаметров обсыпки и в заводских условиях фиксируется металлической сеткой. Размер ячейки вы-

бирается равным  $0,8d_1$  ( $d_1$  – диаметр фильтрата первого слоя фильтра). Нижняя часть дрены фиксируется обручем из стали; дренаю приводят в вертикальное положение и засыпают первый слой фильтрата. Полученная конструкция обжимается проволокой. Изготовление второго слоя происходит следующим образом: на полученную вышеописанным способом трубу одевается сетка. Диаметр сетки выбирается равным диаметру трубы + толщина первого слоя\*2 + толщина фильтра второго слоя\*2. Диаметр отверстий сетки принимается до  $0,8d_2$  ( $d_2$  – диаметр фильтрата второго слоя фильтра). Последующие слои изготавливаются аналогичным способом.

Готовые отрезки укладываются в траншею, соединяются муфтами и засыпаются защитным слоем или местным грунтом. Диаметр каркаса галереи определяется по  $Q_{\text{отб.тр.}}$  из уравнения

$$D_k = \frac{Q_{\text{отб. тр.}}}{f\pi l v_\phi}, \quad (1.5)$$

где  $D_k$  – внутренний диаметр каркаса, м;

$Q$  – водоотбор, м<sup>3</sup>/сутки;

$f$  – коэффициент скважности водоприемной трубы (перфорации), %;

$l$  – длина водоприемной трубы, м;

$v_\phi$  – расчетная скорость входящего потока, м/сутки.

Ранее говорилось, что скорость фильтрационного потока  $v_\phi$  может быть определена по формуле (1.3). Ф.И.Письменский после изучения данных, полученных опытным путем в ЦНИИС, предложил определять  $v_\phi$  следующим образом:

$$v_\phi = 65 \sqrt[3]{K_{\text{ф.алл}}}. \quad (1.6)$$

Результаты исследований В.С.Алексеева, И.Ф.Володько и С.К.Абрамова при этом не опровергаются, в виду того, что размер частиц в фильтре берется в 7–10 раз больше диаметра включений, составляющий до

50% от общей массы грунта (определяется по кривой однородности отложений).

### **1.3 Инфильтрационные водозаборные сооружения.**

#### **Методы расчета**

В случаях, когда грунт русла состоит из водопроницаемых пород, вода водоисточника насыщает подрусловые отложения, в результате чего образуется грунтовый поток, который движется в том же направлении, что и река. Этот поток называют подрусловым. Глубина его заложения определяется границей водопроницаемых грунтов. За счет их проницаемости происходит так же и подпитка водоисточника.

Инфильтрационные водозаборно-очистные сооружения предназначены для отбора воды из подрусловых течений.

Инфильтрационно-фильтрующие конструкции имеют ряд неоспоримых преимуществ перед классическими для России русловыми и береговыми водозаборами: забор воды производится как из поверхностного источника, так и из-под русла того же источника. В случае если источник водоснабжения подвержен перемерзанию в холодное время года, инфильтрационно-фильтрующий водозабор способен потребителей, а также, за счет фильтрации, обеспечивать предочистку воды. Известны примеры сооружений, реализованных специалистами различных проектных организаций, авторами научных статей и научно-исследовательских институтов (КФ ВНИИ ВОДГЕО, «ЯкутНИПРОалмаз», «Дальстройпроект» и др.) Использование инфильтрационно-фильтрующих водозаборно-очистных сооружений, вкупе с верной оценкой местных условий, позволяет отказаться от организации плотин, изменения русла реки и др.

При заборе воды из перемерзающих и малых рек для потребителей до 5-10 тыс. м<sup>3</sup>/сут, устройство инфильтрационно-фильтрующего водоприема наиболее эффективно с экономической точки зрения. На рис. 1.7 показаны примеры схем водозаборов из водоемов, сохраняющих талики в холодное

время года, и из полностью перемерзающих рек, причем подрусовой и поверхностный сток зарегулированы, что важно для большей части криолитозоны. Рекомендуется применение сезонного регулирования стока с обводнением подрусовых отложений. На рис. 1.7, а показан пример забора воды с обводнением талика путем устройства фильтрующей дамбы из перемерзающей реки.

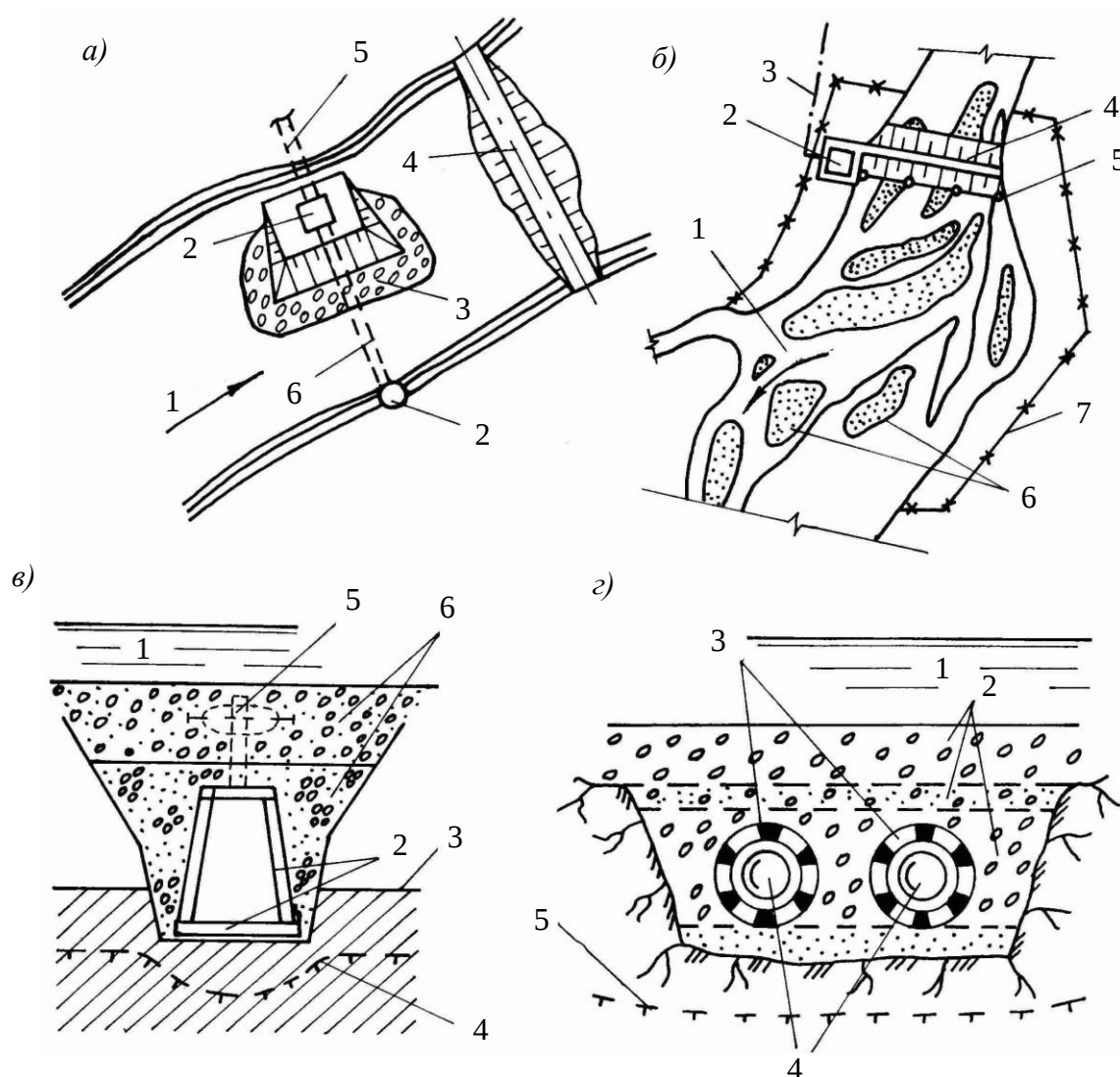


Рисунок 1.7 – Инфильтрационно-фильтрующие водоприемники из перемерзающих рек с регулированием подрусовых вод

а – фильтрующей плотиной: 1 – ручей; 2 – водоприемный колодец; 3 – фильтр; 4 – фильтрующая дамба; 5 – самотечно-всасывающие трубы; 6 – дрены; б – глухой плотиной: 1 – река; 2 – водозабор-насосная; 3 – водоводы; 4 – глухая плотина; 5 – водосборная дрена; 6 – острова; 7 – ограда; в – галерея: 1 – источник; 2 – элементы деревянных галерей; 3 – грунт; 4 – граница мерзлоты; 5 – экран; 6 – фильтр; г – фильтрующая траншея: 1 – источник; 2 – фильтр; 3 – дрены; 4 – паропровод; 5 – граница мерзлоты

Водозаборные сооружения и водоприем из водоемов с малым расходом

(1,5-3,0 тыс. м<sup>3</sup>/сут.), при наличии мерзлоты, так же сложен, как и при отборе из значительного количества воды. В маломощных водоемах (озера, перемерзающие реки и т.д), возможности водоотбора сложны и ограничены, влияние помех – максимально, т.к. зачастую водопотребители не имеют достаточных ресурсов для обеспечения бесперебойного водоснабжения (электроэнергия, пар, теплая отработавшая вода и др.) При таких обстоятельствах, достичь надежности водоснабжения можно только за счет применения специфических конструкций и тщательного выбора места расположения водозаборных сооружений.

Инфильтрационные водозаборно-очистные сооружения с забором воды из-под русла или из толщи аллювиального слоя, могут устраиваться с возможностью промывки фильтрующих слоев или без нее. Большинство водозаборов подрусового типа, построенных в мерзлоте, целесообразно отнести к инфильтрационно-фильтрующим. Только инфильтрационных водозаборов в зонах вечной мерзлоты практически нет, так как их создание сопровождалось нарушением естественного аллювиального слоя вокруг водоприемных конструкций. Водоотбор в этих сооружениях осуществляется путем инфильтрации через фильтры, разработанные и устроенные схожими с естественными аллювиальными отложениями. Примеры устройства подобных водозаборно-очистных сооружений представлены на рис. 1.8, *а* – под крупным источником, *б* – в акваториях морей, на рис. 1.7, *в*, *г* на реках, подверженных перемерзанию, при чем, при такой конструкции, отбираемая вода полностью осветляется от взвеси. Также полностью устраняются шуго-ледовые помехи, засорения, наносы. При скорости входящего потока  $v_{вх} \leq 0,02$  м/с, отбор воды не оказывает воздействия на образование наносов в водоприемной зоне. Если  $v_{вх}$  удастся сделать в 2-3 раза меньше (до 0,005 м/с) и высота фильтрации  $h_{\phi}$  меньше 2,0 м, очистка воды фактически не требуется.

Следует различать понятия комбинированного водоприема и комбинированных водоприемов на Севере и в средней полосе.

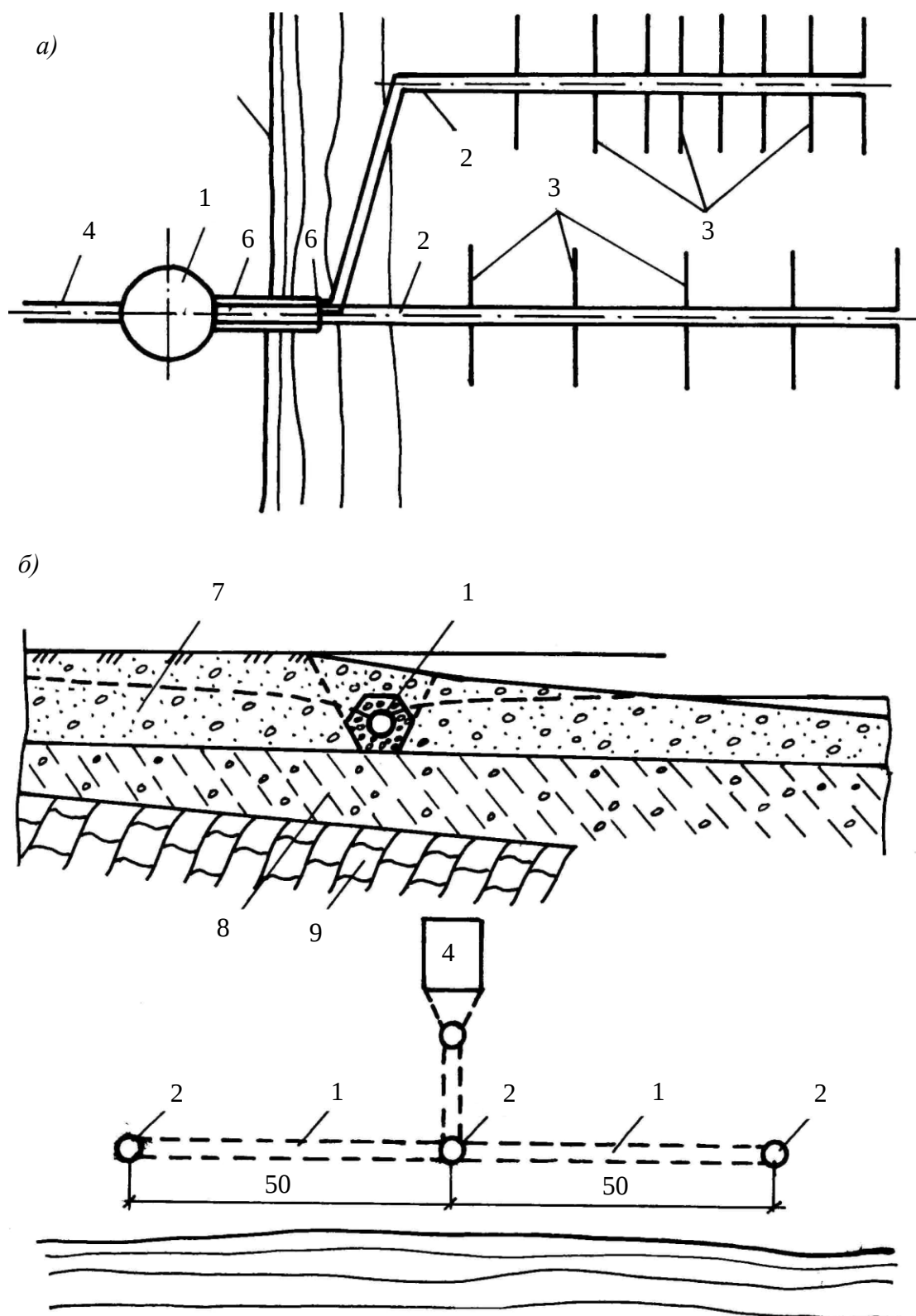


Рисунок 1.8 – Крупные инфильтрационные водозаборы

*а* – лучевой водозабор г. Якутска на р. Лена: 1 – береговая шахта; 2 – самотечные трубы; 3 – дрены; 4 – напорный водовод; 5 – берег; 6 – штольня; *б* – морской водозабор: 1 – дрена; 2 – колодцы; 3 – водосборный колодец; 4 – насосная станция; 5, 6 – максимальный и минимальный уровни; 7 – фильтрующие грунты; 8 – суглинок; 9 – скала

А.С.Образовский к комбинированным водозаборам относит сооружения, в составе которых два или более разнотипных водоприемника, при чем каждый из них в одних и тех же условиях способен заменять другой, либо эти водоприемники работают в разных фазах водного режима. А.Г. Аверкиев называет комбинированным водозабором применение в водозаборно-очистном сооружении фильтрующих и обычных оголовков. При такой конструкции секции с фильтрующим назначением работают во время повышенного содержания сора и шуги. Открытые водоприемники лучше показывают себя при наносах, но более чувствительны к наличию в воде шуголедовых помех. Так как шуголедовые помехи характерны для холодного времени года, а наносы – для летнего, чередование метода отбора позволяет обеспечить надежное водоснабжение потребителей.

Водозаборы, дополнительно защищенные фильтрующим слоем, показывают более высокие показатели по надежности. В качестве фильтрующего слоя может использоваться гравий, щебень, галька и т.д. Фильтрующие слои могут организовывать обсыпкой водоприемных устройств, сооружением дамб и иных сооружений.

При отборе воды из-под русла, поступление воды из реки в грунт увеличивается за счет подсасывания дрен. Этот процесс называется инфильтрацией, водоприемники, работающие по этому принципу, называются инфильтрационными.

Инфильтрационные водозаборно-очистные сооружения, предназначенные для забора речной воды, имеют ряд неоспоримых преимуществ. В первую очередь это практически полное отсутствие в получаемой воде взвеси, которая неминуемо присутствует в речной воде, также снижается цветность. Инфильтрационные водозаборно-очистные сооружения решают проблему водоотбора из малых и неглубоких водоемов, а также рек, подверженных сезонным перемерзаниям и пересыханиям. Перед проектированием таких водозаборов необходимо убедиться в отсутствии возможности забора

грунтовых вод, которые могут отрицательно сказаться на качестве получаемой воды.

Водоприемник с лучевыми дренами также может использоваться для забора воды из подземного источника, не имеющего подпитки из открытых водоемов, однако конструкция лучевых водозаборов налагает определенные ограничения, в частности, водоносные пласты должны быть небольшой мощности и должны располагаться не глубже 15–20 м.

Для бестраншейной прокладки лучей-дрен разработаны конструкции буровых головок, которые позволяют размывать грунт перед головкой и облегчать проходку. Для лучей большой длины применяют телескопические трубы, позволяющие обойтись без резьбовых или сварных соединений. Развитие технологии бестраншейной проходки упрощает строительство лучевых водозаборов.

В связи с тем, что производство работ по устройству лучевых водозаборов связано с бестраншейной прокладкой труб, устройство их в гальковых грунтах или грунтах, подверженных кольматации не рекомендуется.

При расчете дрена, галерей и водоприемных колодцев применяются те же методы, что и для расчета обычных подземных водозаборных сооружений. Расчет лучевых водозаборов имеет несколько особых требований, в частности количество забираемой дренами воды будет зависеть от расположения её относительно реки (перпендикулярно руслу, параллельно руслу, под углом к руслу). Также значительным будет влияние степени заиливания русла в месте отбора, а также взаимное расположение лучей. Практика показывает, что вследствие влияния лучей друг на друга дебит лучей может быть снижен на 20 и более процентов.

Для проектирования и расчета лучей применяются формулы для расчета горизонтальных водозаборных сооружений, но с учетом различных коэффициентов.

Снижение производительности лучевых водозаборов, сооружаемых в береговой зоне рек с подрусловыми лучами-дренами, вызывается кольматаци-

цией русловых отложений и водоприемной поверхности дрен. При восстановлении производительности дрен используют механическую чистку ершом, промывку их с применением гидронасадок и реагентную обработку путем задавливания реагента за контур фильтра. В равной степени затруднительна и очистка закольматированного слоя русловых отложений, проницаемость которых уменьшается при интенсивном водозаборе. Для этой цели применяют очистку русла реки с использованием земснарядов, специальные водоструйные приспособления и рыхлители дна.

Инфильтрационные водозаборы устраиваются параллельно берегам рек и водоёмов, а также под руслами их (подрусловые водосборы). Сооружения могут быть: *вертикальными* (скважины, колодцы) и *горизонтальными* (галереи, трубопроводы, штольни), а также *комбинированными* (рис. 1.9).

При расчёте рассматриваются те же вопросы, что и при проектировании горизонтальных водосборов. Горизонтальные инфильтрационные водосборы конструктивно оформляются так же, как и горизонтальные водосборы. Гидравлический расчёт инфильтрационных водозаборов осуществляется по различным формулам.

Для берегового водозабора, расположенного перпендикулярно потоку подземных вод (рис. 1.10), расход м<sup>3</sup>/сут, определяется по формуле С.Ф.Аверьянова:

$$Q = \frac{2a}{1+a} \left[ Q_2 + \frac{kT(h-h_0)}{l_1} \right] L, \quad (1.7)$$

где  $a$  – коэффициент, определяемый из выражения  $a = \frac{1}{1 + \frac{h_0}{l_1} A}$ ;

здесь  $A$  – коэффициент, вычисляемый по формуле  $A = 1,47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi b}{2h_0}}$ ;

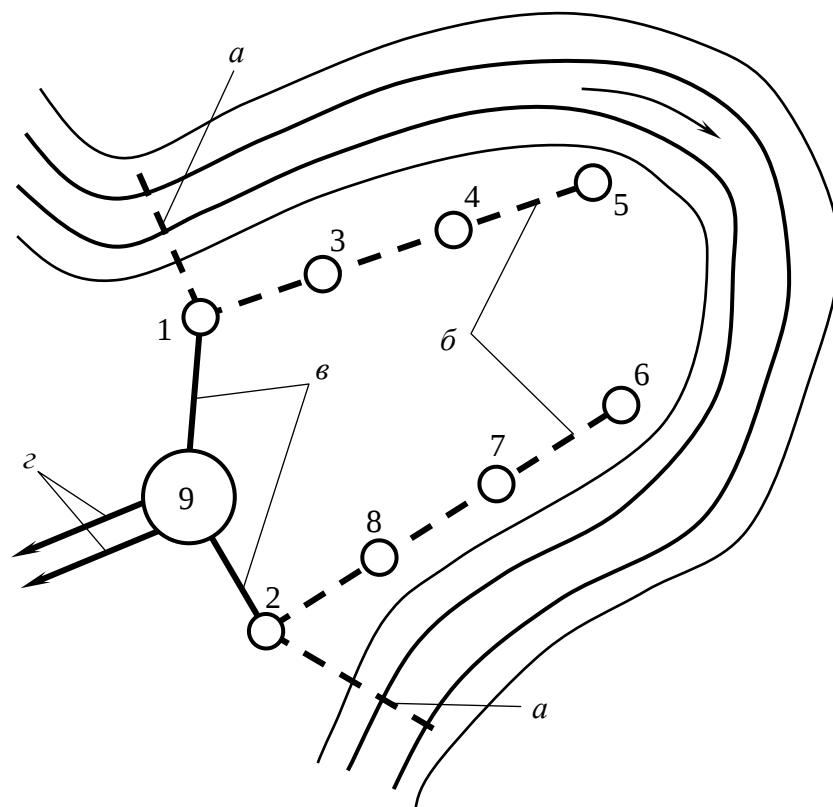


Рисунок 1.9 – Схема инфильтрационного водозабора

$a$  – подрусловые линии;  $б$  – береговые линии;  $в$  – линии, транспортирующие воду;  $г$  – подача воды в сеть;

1 и 2 – сборные колодцы; 3, 4, 5, 6, 7 и 8 – смотровые колодцы; 9 – общий сборный колодец, совмещенный с насосной станцией

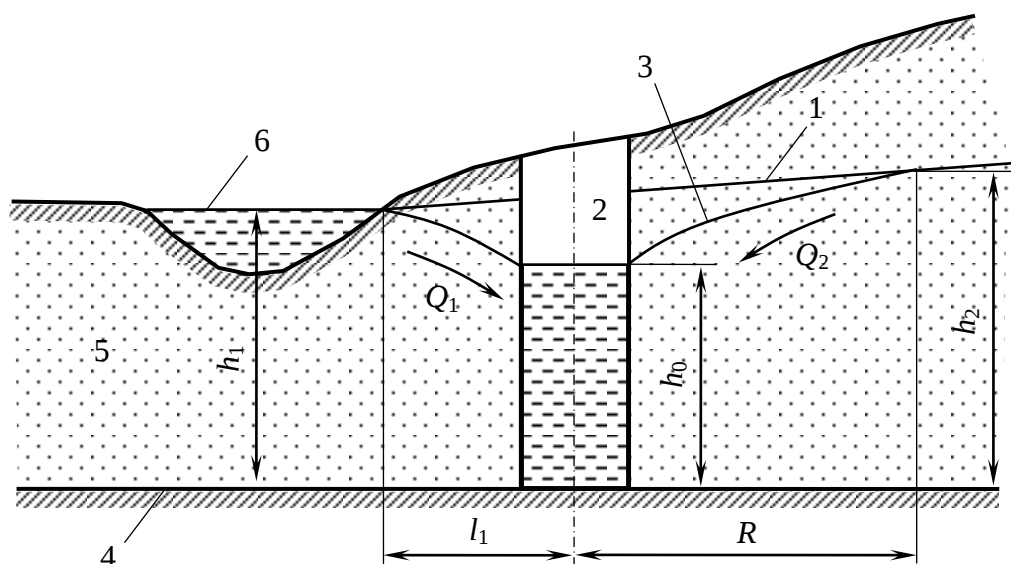


Рисунок 1.10 – Расчетная схема притока воды к совершенному горизонтальному инфильтрационному водозабору при отдаленной области питания подземных вод

1 – статистический уровень; 2 – водозабор; 3 – депрессионная кривая; 4 – водоупор; 5 – водоносный слой; 6 – водоем

$h_0$  – превышение уровня воды в водосборе над водоупором, м;

$l_1$  – расстояние водосбора от береговой линии водоёма, м;

$b$  – ширина водосбора, включая и фильтрующую обсыпку, м;

$Q_2$  – расход потока подземных вод, протекающих со стороны водораз-

дела на 1 м, равный:  $Q_2 = k \frac{h_2^2 - h_0^2}{2R}$  (рис. 1.10);

$k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;

$T$  – величина, равная  $\frac{h_1 + h_0}{2}$  (средняя мощность фильтрационного потока на участке от водоёма до водосбора);

$h_1, h_2$  – высота напора в водоёме над водоупором, м;

$L$  – длина водосбора, м.

Значения коэффициента приведены в табл. 1.1.

Формула (1.7) применима для случая, когда к инфильтрационному водозбору, расположенному на берегу водоёма, подземные воды притекают из отдалённой области питания.

Таблица 1.1 – Значения коэффициента  $A$

|         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $b/h_0$ | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| $A$     | 2,64 | 2,20 | 1,95 | 1,76 | 1,62 | 1,51 | 1,41 | 1,32 | 1,25 |
| $b/h_0$ | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 |
| $A$     | 1,18 | 1,07 | 0,97 | 0,89 | 0,81 | 0,75 | 0,61 | 0,50 | 0,41 |
| $b/h_0$ | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 | –    |
| $A$     | 0,34 | 0,28 | 0,22 | 0,14 | 0,07 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | –    |

Для берегового совершенного водозабора, расположенного между двумя водоёмами нормально потокам воды из них (рис. 1.8), расход, м<sup>3</sup>/с, находится по формуле Дюпюи:

$$Q = L(Q_1 + Q_2) \quad (1.8)$$

где  $Q_1 = -\frac{k(h_1^2 - h_0^2)}{2l_1}$ ,  $Q_2 = \frac{k(h_2^2 - h_0^2)}{2l_2}$ .

Обозначения приведены на рис. 1.11.

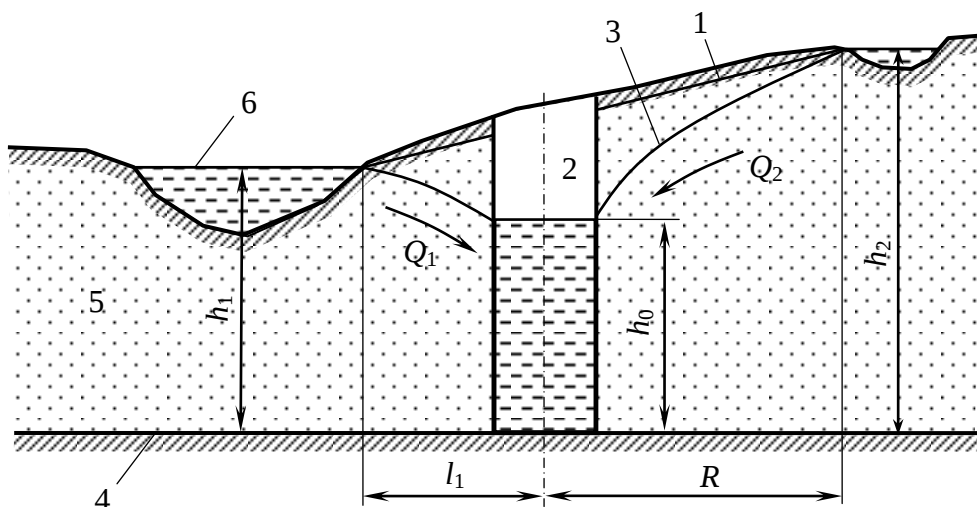


Рисунок 1.11 – Расчетная схема притока воды к совершенному горизонтальному инфильтрационному водозабору, расположенному между двумя водоисточниками

1 – статистический уровень; 2 – водозабор; 3 – депрессионная кривая; 4 – водоупор; 5 – водоносный слой; 6 – водоем

Расход воды подруслового водозабора с водоприёмной частью, расположенной на подошве пласта (рис. 1.12, а), вычисляется по формуле В.И.Аравина и С.Н.Нумерова:

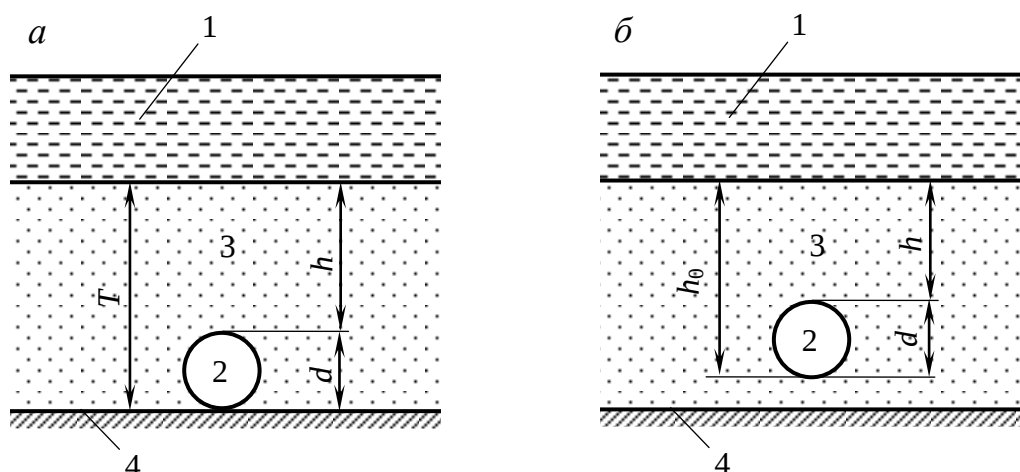


Рисунок 1.12 – Расчетные схемы притока воды к подрусловому водозабору

а – совершенному; б – несовершенному; 1 – водоем; 2 – водозабор; 3 – подрусловый водоносный пласт; 4 – водоупор

$$Q = Lkq_{\text{уд}}, \quad (1.9)$$

где  $Q$  – производительность подруслового водозабора, м<sup>3</sup>/с;

$k$  – коэффициент вертикальной фильтрации, определяемый как средне-взвешенный для двух слоёв – верхнего, сильно заиленного ( $\approx 0,5$  м), и нижнего естественного грунта;

$q_{\text{уд}}$  – удельный приток (приток на один метр длины водосбора), м, равный

$$q_{\text{уд}} = \frac{h}{0,73 \lg \operatorname{ctg} \left( \frac{\pi d}{8T} \right)}. \quad (1.10)$$

Для несовершенных горизонтальных водосборов (рис. 1.12, б) расход вычисляется по формуле (1.9), но удельный приток, м<sup>3</sup>/ч, в этом случае определяется из выражения

$$q_{\text{уд}} = \frac{h}{0,37 \lg \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{8} - \frac{4h - Td}{T} \right) \operatorname{ctg} \left( \frac{\pi}{8} - \frac{d}{T} \right) \right]}. \quad (1.11)$$

При глубоком залегании водоупора ( $T = \infty$ ) выражение для удельного притока упрощается:

$$q_{\text{уд}} = \frac{h}{0,37 \lg \left( \frac{4h}{d} - 1 \right)}. \quad (1.12)$$

Для исключения кольматации донных грунтов рек и других водоёмов скорость движения воды должна составлять  $k \leq 0,01\text{--}0,04$  мм/с.

#### 1.4 Особенности водозаборно-очистных сооружений на перемерзающих и пересыхающих реках

Очень часто, источниками водоснабжения являются средние и малые реки, подверженные перемерзанию и пересыханию в отдельные периоды года и на определенных участках. Для решения проблемы водоотбора из таких водоемов возможно регулирование объемов подрусловых вод, либо постоянный забор воды из-под русла водоема. Применение подрусловых водозаборно-очистных сооружений позволяет обойтись без строительства водохранилищ,

которые сложны в возведении и влекут значительные денежные затраты. Для малых и средних водоисточников целесообразно применение инфильтрационных и фильтрующих водозаборно-очистных сооружений, рассмотренных ранее.

Надежность водоприемника можно увеличить путем обводнения подрусловых грунтов, для этого применяются различные методы: устройство водозадерживающих стенок (шпунтов), увеличение коэффициента фильтрации грунта (рассечки, взрывные работы) и другие. Водоприемники, устроенные с применением подобных мер, относятся к комбинированным, типы таких сооружений смогут быть разными, однако все они способны осуществлять отбор как из-под русла реки (зимой), так и из поверхности водоисточника (летом). Схемы представлены на рис. 1.13.

Водоприемники, инфильтрационно-фильтрующего типа обеспечивают надежную защиту водозаборного сооружения от любых крупных загрязнений, в том числе от шуги. За счет предварительной фильтрации достигается достаточно высокая степень предочистки воды, что во многих случаях дает возможность отказаться от некоторых фильтрующих сооружений на площадке очистных сооружений. Расчет водоприемников и их конструктив, применение мер регулирования поверхностных и подрусловых вод должны определяться индивидуально в каждом конкретном случае. На перемерзающих реках в ходе строительства каптажных сооружений целесообразно применение деревянных конструкций. Устройство колодцев, водопупоров и стенок из бетона или камня не всегда выгодно из-за значительных трудозатрат и низких тепловых характеристик, а также из-за того, что строительство водозаборов в северных регионах как правило производится в зимнее время.

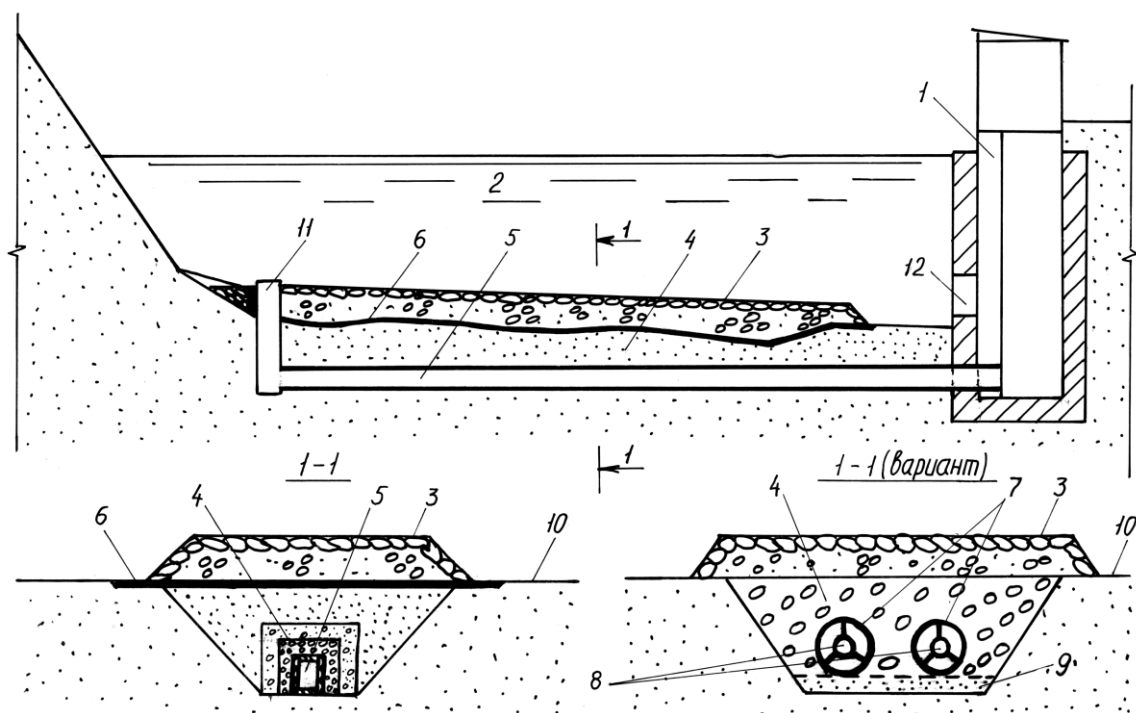


Рисунок 1.13 – Водоприемники инфильтрационно-фильтрующего типа

1 – водоприемный колодец; 2 – река; 3 – каменная наброска; 4 – фильтр; 5 – галерея; 6 – выстилка фашинами; 7 – дрены; 8 – паровые трубы; 9 – подготовка; 10 – дно реки; 11 – колодец; 12 – водоприемные окна

В каждом случае при выборе метода водоотбора из рек, подверженных замерзанию или пересыханию, должна быть проведена оценка возможности накопления и регулирования запаса воды, сочетаний температуры и влажности местных грунтов. Одной из важнейших задач является сохранение необходимого запаса воды в период замерзания, при чем должны быть учтены потери на испарение, фильтрацию, образование льда и др. Для расчета объема водопотребления применяется формула:

$$Q_{б.н.} = q_{сут} n k_l k_n \alpha, \quad (1.13)$$

где  $Q_{б.н.}$  – потребление воды в период замерзания водоема,  $м^3$ ;  $q_{сут}$  – объем потребления воды в сутки,  $м^3$ ;  $n$  – продолжительность периода замерзания, сут;  $k_l$  – коэффициент льдообразования (1,25-1,50);  $k_n$  – коэффициент прерывистости (неравномерности) водоснабжения (1,5-2,2);  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий остатки запаса воды в регулирующем сооружении (1,2-1,5).

Для водоприема из пересыхающих и перемерзающих рек применяются горизонтальные береговые и подрусовые водосборы. Наиболее полно использовать водные запасы перемерзающих водоисточников, а также сократить затраты на оптимизацию забора воды в период перемерзания, возможно применение колодцев-водосборов и водосборных труб, устраиваемых под руслом реки. Дрены необходимы для обеспечения обводнения протоков. Промерзание подрусовых отложений в местах устройства водозаборов на малых и средних оецнивается на основании гидротермических и гидрогеологических исследований, данные получают путем отбора проб в створах водозаборных сооружений. В прирусловой зоне подрусовые воды располагаются значительно ниже промерзающих, при этом форма зоны зависит от рельефа берега, морфологии русла. Так, для относительно пологих берегов, зона промерзания обширна (до 30-50 м). Подобная ситуация особо ярко выражена на мелководных участках перемерзающих рек. Для рек с вогнутыми берегами зоны промерзания могут достигать 5-20 м. При устройстве водосборных дрен длиной от 150 до 250 м, следует учесть, что водоем может иметь мелководные и глубокие участки. Изменение глубины реки влияет на мощность зоны перемерзания, а соответственно и на режим водоотбора. Примером подрусового водозабора на перемерзающей реке может служить водозабор г. Якутска (рис. 1.14).

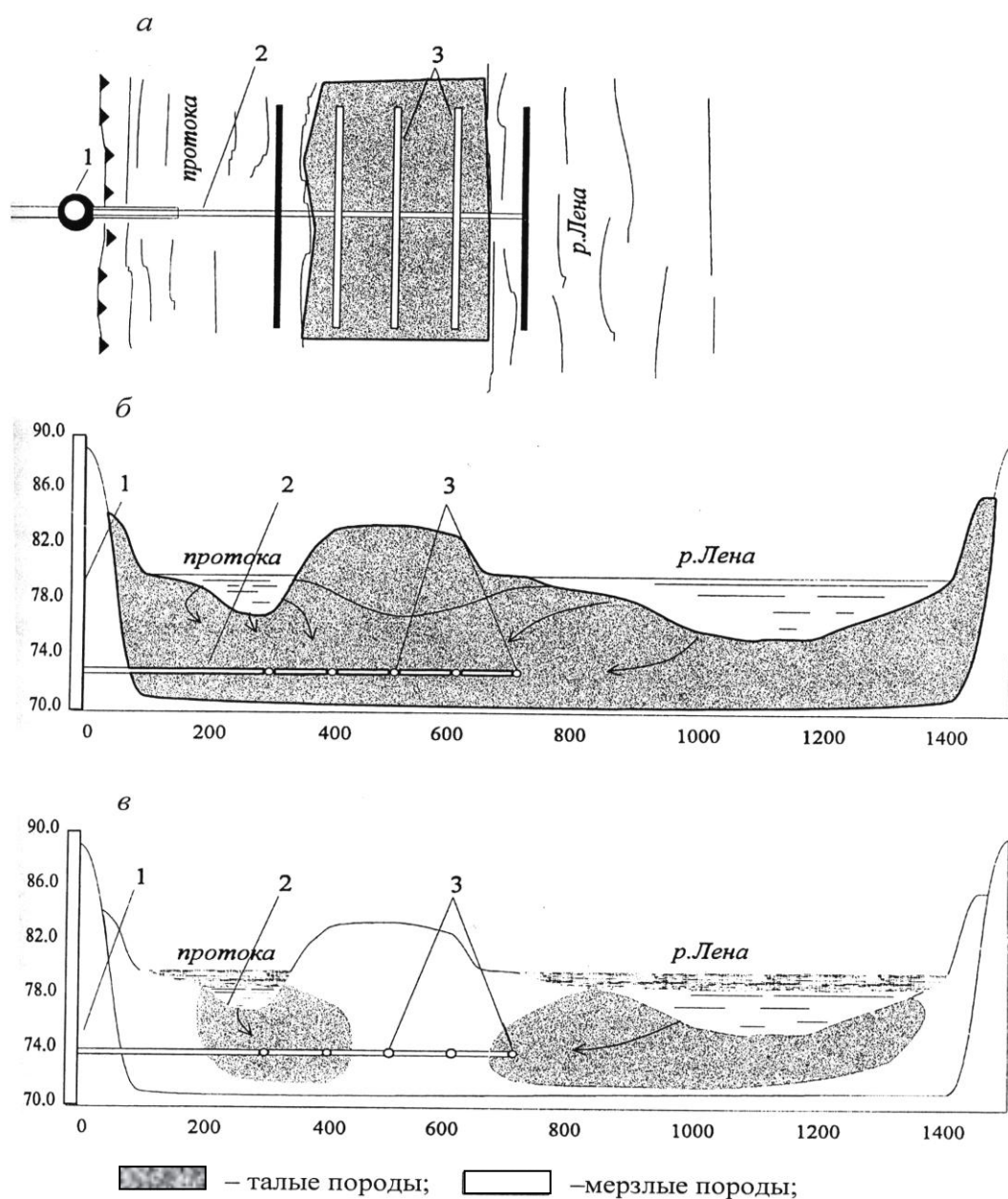


Рисунок 1.14 – Подрусловый водозабор г. Якутска из талика под протокой р. Лены (1992 г.)

а – схема; б – разрез эксплуатационного пласта; в – мерзлотная обстановка к концу зимнего периода 1 – береговая шахта; 2 – водосборные трубы; 3 – дрены

Граница перемерзания может переходить ниже уровня таликовых вод, что образуя водонепроницаемый слой, изменяющий характеристики подруслового потока. Данные об эксплуатации водозаборно-очистных сооружений на перемерзающих реках, а также исследовательские данные показывают, что при промерзании водоема, фильтрационный режим поверхностных вод изменяется с безнапорного на напорно-безнапорный. Когда динамический уровень воды

стабилизируется выше зоны промерзания, поток под руслом реки становится напорным, напор будет равняться разнице динамического уровня и проникновения нулевой температуры в грунт, за исключением случаев, когда уровень грунтовых вод превышает глубину промерзания грунта.

Со стороны водоема положение напорной линии в фильтрующей зоне определяется местом соприкосновения со дном реки нижней кромки льда, для береговой зоны – точкой пересечения депрессионной поверхности и границы промерзания. Подобные случаи изменения условий работы подзаборов отмечены в разных районах с вечной мерзлотой (Приамурье, Якутия, Приморье, Коми). В бассейнах рек Индигирки и Колымы наиболее подходящим признан водоотбор с применением фильтрующих водоприемников (подрусловых галерей), обсыпанных до уровня дна валунами и крупнодисперсным гравием.

Из-за значительной площади водосборных галерей (дрен) и низкой скорости входящего потока ( $v_{\text{вх}} \leq 0,03$  м/с) достигается значительная очистка исходной воды. При больших сечениях галерей (до  $2 \dots 3$  м<sup>2</sup>) и малых  $v_{\text{вх}}$  ( $\leq 0,005$  м/с) фильтрующие водоприемники неизбежно обречены стать инфильтрационными, т.к. неизбежен их кольматаж. При обследовании многих водозаборов на Севере авторами не отмечалось случаев прохода сквозь фильтры водоприемников засорений, водорослей, хвои, молоди рыб, шуги и т.п., что свидетельствует о высокой эксплуатационной надежности сооружений фильтрующего водоприема.

Примеры удачно решенных водозаборов рек, подверженных перемерзанию Северо-Востока [4] приведен на рис. 1.15.

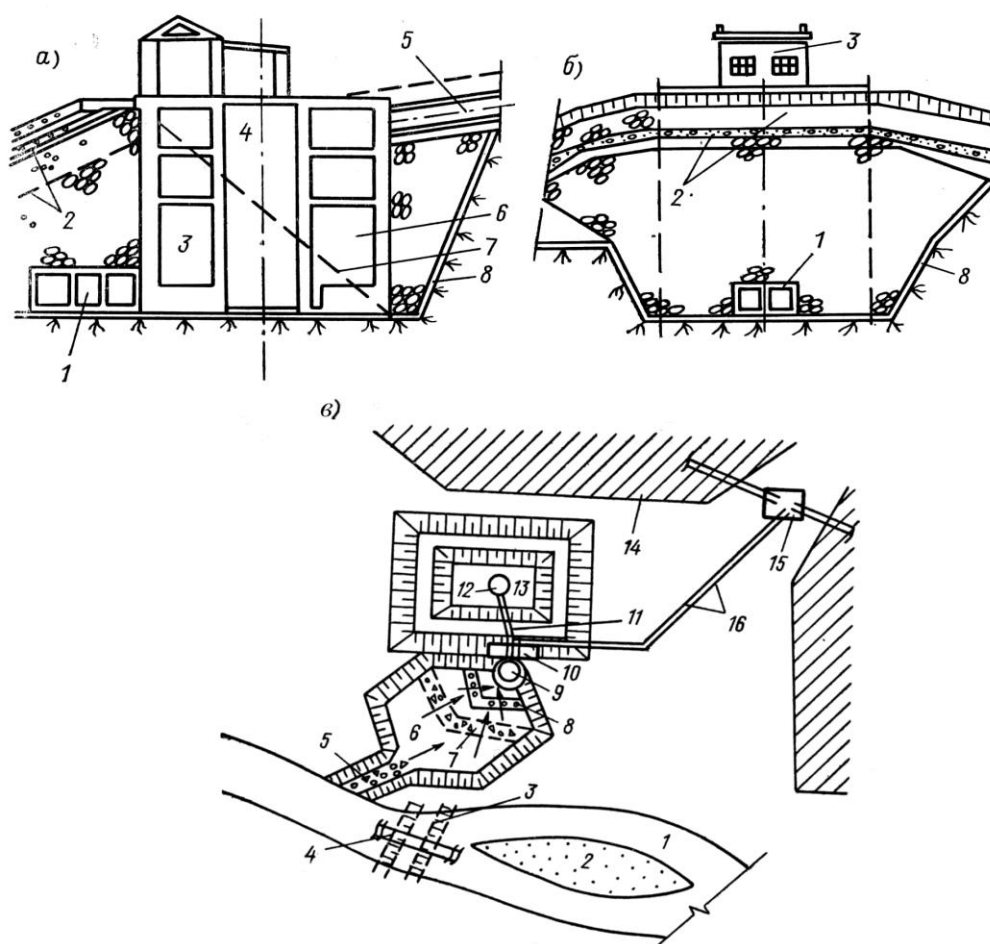


Рисунок 1.15 – Примеры водозаборов из перемерзающих рек

*а, б* – водозабор откосного типа из водохранилищ (разрезы): 1 – галерея; 2 – фильтр; 3 – шахта; 4 – машинное отделение; 5 – канал для коммуникаций; 6 – очистная станция; 7 – граница выемки; 8 – выемка в скале; *в* – водозабор из пруда-копани: 1 – водоток; 2 – пески; 3 – плотина; 4 – водосброс; 5 – фильтрующая траншея; 6 – водоем; 7 – фильтрующая дамба; 8 – фильтрующий колодец; 10 – насосная котельная; 11 – подача воды на намораживание; 12 – водосборная шахта; 13 – льдохранилище; 14 – водопотребитель; 15 – циркуляционная насосная станция; 16 – водовод

Запас воды создается в водохранилищах, либо в искусственных прудах-накопителях (копанях). Пополнение запаса происходит весной и летом путем закачки или через каналы. Пруды-накопители могут устраиваться в руслах ручьев, озерах и т.д. Водоотбор рек, подверженных перемерзанию может осуществляться без прогрева дна, путем применения фильтрующих или инфильтрационных водоприемников, что значительно снижает нагрузку на очистные сооружения.

Для стабильного отбора воды из пересыхающих и перемерзающих рек необходимо устройство сооружений для регулирования и обводнения водоносных горизонтов, а также для накопления количества воды, достаточного

для достаточного снабжения потребителей в бессточный период. Для увеличения запаса воды применяются следующие меры: искусственное создание льда в руслах рек, закачка воды в грунтовые слои и под русло.

Возможны и другие приемы использования запасов воды перемерзающих источников. На перемерзающих реках лед всегда стаивает на местах; ледохода, как такового, нет, поэтому, возможно использовать облегченные подпорные сооружения для аккумуляции воды меженного стока (резинотканевые плотины, сезонные ледовые плотины с полимерными пленочными экранами, фильтрующие летом плотины, превращаемые зимой в нефилтрующие и др.). Высокая степень предочистки воды, в случае применения инфильтрационно-фильтрующих водозаборных сооружений, и последующее удешевление процесса очистки обосновывает затраты на проведение гидрогеологических исследований и изысканий, что в конечном счете значительно упростит процесс водоподготовки.

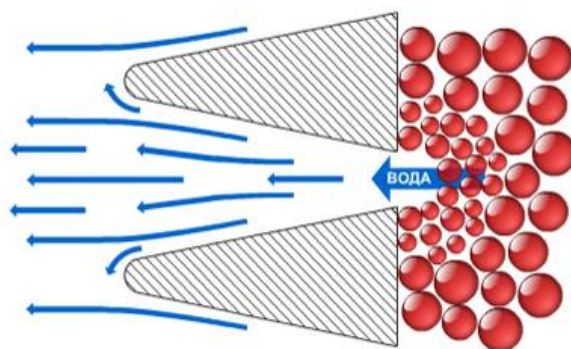
## **2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПИРАЛЬНО-НАВИТЫХ ВОДОСБОРНЫХ УСТРОЙСТВ «ТЭКО-СЛОТ» В КОНСТРУКЦИЯХ ИНФИЛЬТРАЦИОННО-ФИЛЬТРУЮЩИХ И ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОДОЗАБОРОВ**

### **2.1 Конструктивные особенности спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ»**

Одним из основных элементов конструкций водозаборных сооружений является водосборное устройство. В качестве таких устройств, возможно, применять спирально-навитые фильтрующие элементы конструкции «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬР». Такие элементы получают путем намотки проволоки специального треугольного сечения на стрингеры треугольного, прямоугольного или круглого сечения, формирующие цилиндрический каркас. При навивке проволоки на каркас, с помощью специального станка (рис. 2.1), осуществляется сварка в каждой точке касания со стрингером. Размер щели спирально-навитых фильтрующих элементов формируется задаваемым шагом намотки проволоки. Диффузорное расширение щели и проволока треугольного сечения обеспечивают особые гидравлические условия при водоприеме. В случае попадания в зазор мелкой фракции фильтрующего материала, его осколков или мелких взвешенных частиц они не забивают поверхность фильтрования. Эффект Коберли позволяет говорить о невозможности забивания щели и сохранении ламинарного потока (рис. 2.2) [38].



Рисунок 2.1 – Навивка проволоки на каркас на станке



Сохранение ламинарного потока

Рисунок 2.2 – Распределение потока в спирально-навитых фильтрующих элементах

Общий вид спирально-навитых фильтрующих и каркасно-проволочных элементов представлен на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Общий вид и конструкция спирально-навитых фильтрующих элементов

Данные элементы могут быть выполнены любых размеров ( $D = 50 \dots 900$  мм;  $L = 3000$  мм, длина формируется стыковыми соединениями через муфту, либо сварным кольцевым соединением).

## 2.2 Возможные направления применения спирально-навитых фильтрующих элементов

Спирально-навитые фильтрующие элементы широко применяются в дренажно-распределительных устройствах напорных фильтров. Однако перспективным направлением их применения могут быть водозаборные сооружения. Данные устройства могут быть применены как самостоятельные водоприемные сооружения, так и в составе различных конструкций фильтрующих и инфильтрационно-фильтрующих водоприемников.

Основные конструктивные решения водоприема с применением спирально-навитых фильтрующих элементов представлены на рис. 2.4 [39].

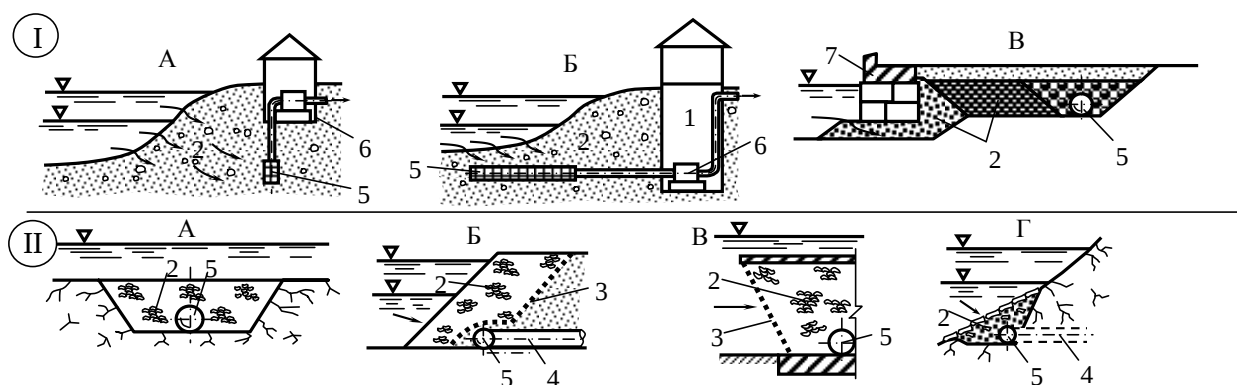


Рисунок 2.4 – Основные технологические схемы и типы водозаборных сооружений с возможным применением спирально-навитых фильтрующих элементов

I – инфильтрационные: А – береговой; Б – подрусловый; В – дрена на крупных водоемах; II – инфильтрационно-фильтрующие: А – подрусловая дрена; Б – откос; В – уступ; Г – береговая дрена;

1 – береговой колодец; 2 – фильтр (аллювий); 3 – решетка (поддерживающая конструкция); 4 – водоотвод; 5 – спирально-навитой фильтрующий элемент; 6 – насос; 7 – набережная

**I. Инфильтрационные водозаборные сооружения (рис. 2.4, I).** Вертикальные инфильтрационные водозаборы со спирально-навитыми фильтрами на трубчатых колодцах (скважинах) (рис. 2.4, I, А). Лучевые инфильтрационные водозаборы (рис. 2.4, I, Б). Строительство данного водозабора может осуществляться методом горизонтального бурения.

**II. Инфильтрационно-фильтрующие водозаборные сооружения (рис. 2.4, II).** Водоприемники инфильтрационно-фильтрующего типа предназначены для отбора поверхностных и подрусловых вод, фильтрующие элементы водозаборов при подобной конструкции располагаются в источнике водоснабжения, в донной зоне, в откосе на берегу либо под руслом источника. Для данного типа водоприемников должна быть предусмотрена частичная или полная регенерация фильтров в случае из засорении (забивке, кольматации) шугой, взвесью, наносами и т.п. [10, 12]. Основным применением инфильтрационно-фильтрующих водозаборов является водоотбор из мелких и перемерзающих в зимний период рек, при этом отбор происходит как с поверхности, так и под руслом. Фильтры подобных сооружений должны размещаться в намывных возвышениях русла ниже дна или в под берегом. В слу-

чае, если берег сложен из скальных пород, для устройства подобного водозабора необходимо устройство мощных фильтрующих обсыпок водопримемных элементов в несколько слоев.

Область возможного применения спирально-навитых фильтрующих элементов достаточно широка и многообразна для водоисточников с различными условиями (от очень тяжелых – до легких).

### 2.3 Конструктивные и производственные особенности лучевых водозаборов

Лучевые водозаборы — это сооружения, основным элементом которых являются фильтрующие лучи, располагаемые горизонтально в водоносном пласте. Лучи радиально расходятся от шахтных колодцев. Лучи играют роль водосборных устройств, шахты служат для накопления собранной воды.

Применение лучевых водозаборов целесообразно, когда верх водоносного пласта расположен не глубже 10 м от поверхности земли и его мощность <20 м. Устройство лучевых водозаборов особенно эффективно, когда вертикальные скважины из-за малой мощности водоносного пласта имеют малый дебит. Лучевые водозаборы так же имеют возможность сбора инфильтрационных вод.

Можно выделить несколько типов лучевых водозаборов, конструкции из диктуются расположением водозабора относительно водоисточника (рис. 2.5).

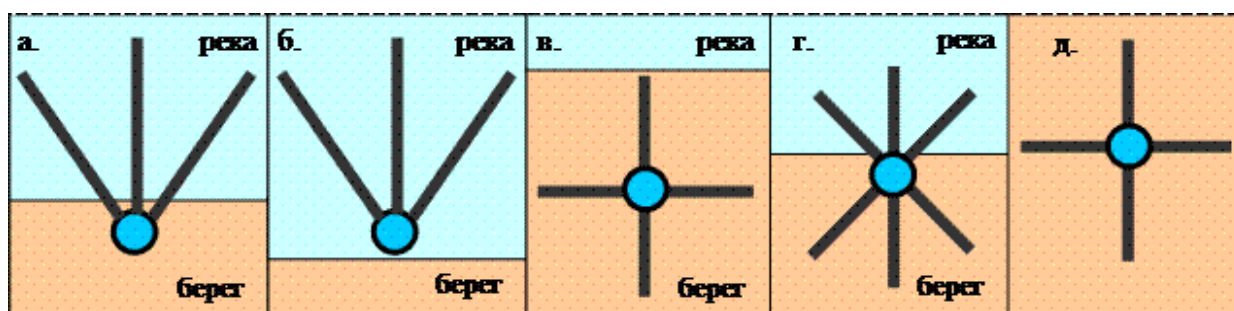


Рисунок 2.5 – Типы лучевых водозаборов

а, б – подрусловой, колодец на берегу (а) и в русле реки (б);  
в – инфильтрационный береговой;  
г – совмещенный – лучи расположены как на берегу, так и под руслом;  
д – лучевой водозабор, расположенный на большом расстоянии от водоисточника.

В зависимости от местных условий могут быть применены следующие схемы (рис. 2.6):

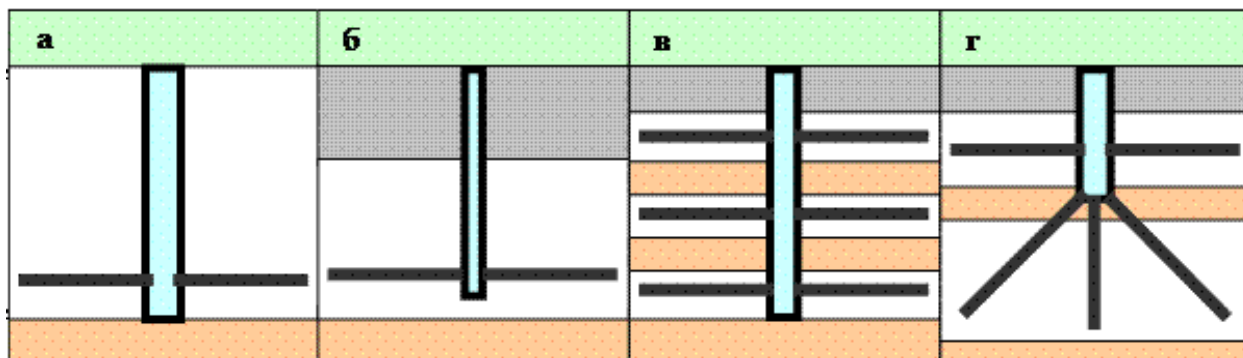


Рисунок 2.6 – Схемы лучевых водозаборов

а – классический лучевой водозабор с одноярусным расположением лучей;  
 б – лучевой водозабор малой производительности с пробуренным водосборным колодцем (скважиной);  
 в – водозабор, в котором дрены (лучи) расположены на разных уровнях;  
 г – комбинированный, нижние скважины обеспечивают каптаж нижнего напорного горизонта, верхние горизонтальные – забор воды из верхнего безнапорного горизонта.

Лучевые водозаборы, организованные в несколько ярусов, обеспечивают более полный захват воды из подземных горизонтов, что увеличивает производительность сооружения.

Увеличения производительности так же можно достичь путем увеличения поверхности водоприема.

Приемный колодец 1 (рис. 2.7) предназначен для накопления воды, поступающей из-под русла через водосборные трубы-дрены 2. В колодце или в здании над ним устанавливается насосный агрегат 3 для подачи собранной воды на дальнейшую очистку. Диаметр колодца должен выбираться с учетом необходимости размещения оборудования для бестраншейной прокладки дрен.

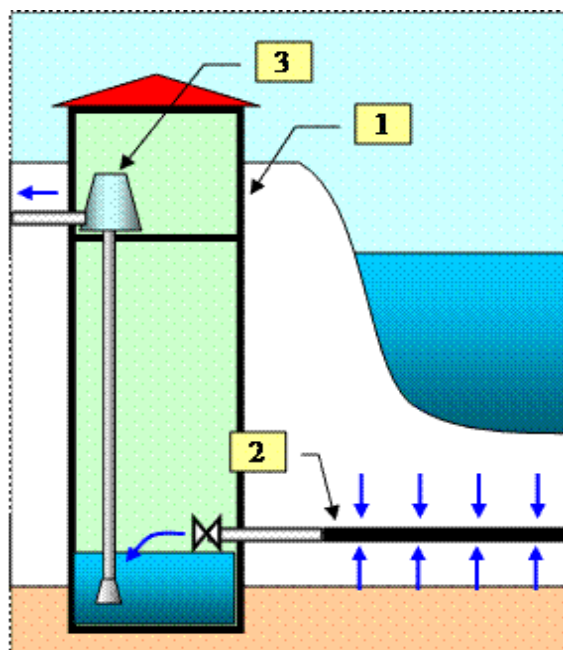


Рисунок 2.7 – Инфильтрационный лучевой водозабор

Дно колодца должно быть на 0,5-1,5 м ниже уровня прокладки водосборных дрен.

Материал водосборного колодца должен выбираться с учетом местных условий. При проектировании подобных водозаборов необходимо учесть выталкивающую силу обводненного грунта.

Отметка верха водоприемного колодца должна быть, как минимум, на 0,5 м выше уровня воды в источнике в период половодья для исключения затопления колодца поверхностными водами.

Количество, глубина заложения, направление водосборных дрен должны назначаться исходя из местных гидрогеологических, эксплуатационных и др. условий.

Для обеспечения оптимального фильтрационного режима, а также наиболее экономичного использования подруслового пространства, угол между дренами длиной менее 20 м рекомендуется принимать не менее  $20^\circ$ . При большом количестве водосборных дрен ( $>8$ ) и значительной их длине ( $>40$  м), подрусловые лучи на расстоянии равном 0,2 длины должны устраиваться из сплошных труб. Водоприемные дрены должны изготавливаться из стальных или полимерных щелеванных или перфорированных труб, обеспе-

чивающих долговечность водозаборного сооружения. Скважинность из должна быть не более 20%. Лучи-фильтры (дрены) должны оборудоваться отсекающими задвижками, устанавливаемыми в водоприемном колодце.

Самый простой и надежный способ прокладки дрен – продавливание. Для прокладки таким способом дрены изготавливаются из нескольких отрезков определенной длины, выбираемой исходя из характеристик проходческого оборудования. Соединение труб при этом происходит сваркой или путем резьбового соединения звеньев. На рисунке 2.8 показана схема установки для продавливания горизонтальной скважины.

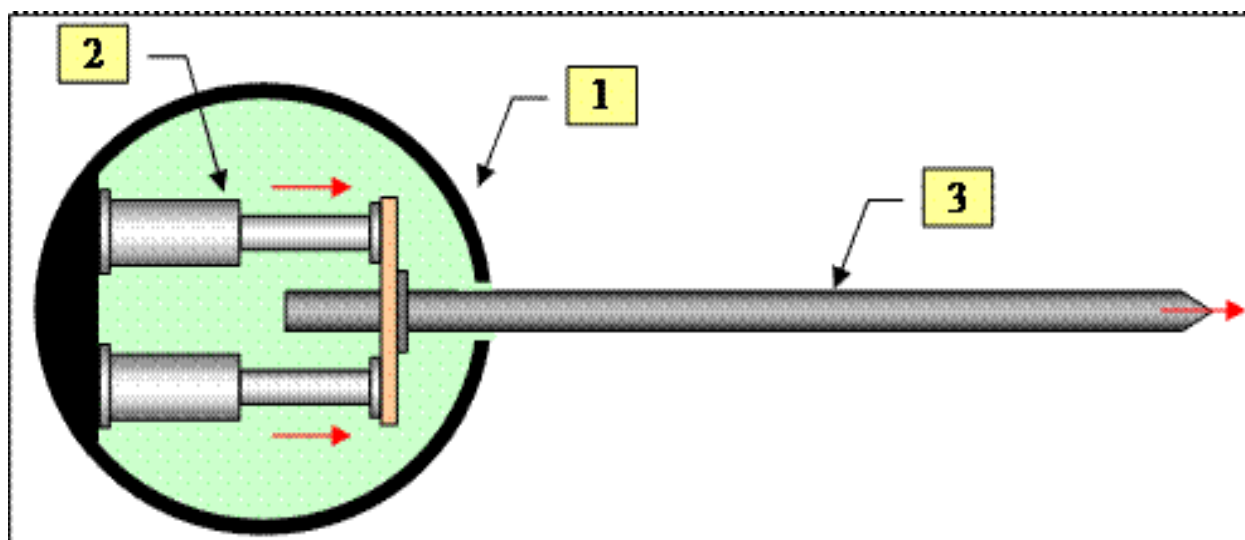


Рисунок 2.8 – Продавливание лучей бестраншейным способом

1 – водоприемный колодец, 2 – домкрат, 3 – водоприемная дрена

Для облегчения продавливания первое звено оборудуется буровой головкой. На рис. 2.9 показана буровая головка, с отверстиями, через которые подается вода. Порода размывается водой, подаваемой через канал 2. Удаление размытой породы происходит через канал 3. Размытая порода отводится из скважины через отверстия в буровой головке и далее поступает в колодец (шахту), откуда удаляется на поверхность. При горизонтальном продавливании характерно изменение направления вверх. Для соблюдения проектной отметки буровая головка имеет специальную конструкцию, в которой в нижней части отверстий для забора породы больше чем в верхней. Буровая головка после окончания работ остается в забое.

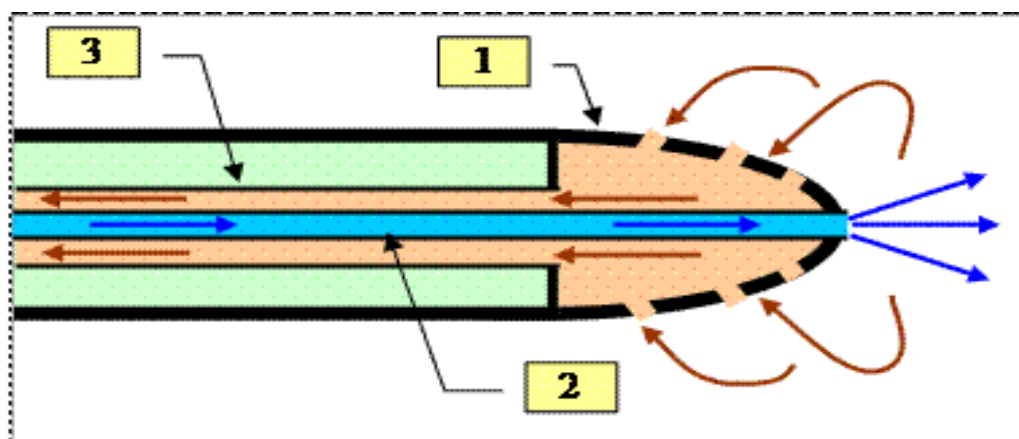


Рисунок 2.9 – Буровая головка

Для прокладки труб могут применяться различные способы: описанное выше продавливание, вращательное бурение, виброударное бурение.

Существует два основных способа устройства горизонтальных скважин:

- в грунт вдавливаются сами дрены (водосборные трубы);
- в грунт вдавливаются обсадные трубы, сами дрены прокладываются внутри обсадных труб. Обсадные трубы в последствии удаляются.

Вдавливание непосредственно дрен в грунт целесообразно применять в грунтах, крупность частиц которых 0,5-50 мм. Прочность дрен при этом должна быть такой, чтобы исключить их разрушение под воздействием прессы (домкрата).

Обсадные трубы применяются при устройстве горизонтальных скважин в песчаных и суглинистых грунтах. Использование обсадных труб позволяет расширить диапазон применяемых фильтров.

Для выбора фильтра горизонтальной скважины следует руководствоваться теми же указаниями, что и при вертикальном бурении, но с учетом особенностей конкретно выбранного способа бурения.

Для перекачки воды из водосборного колодца могут применяться как горизонтальные «сухие», так и вертикальные (скважинные или стационарные) погружные насосные агрегаты.

«Сухие» насосы должны устанавливаться в специально оборудованной насосной станции, расположенной выше уровня воды в колодце. Либо на плавучем понтоне. Очень важно при этом правильно подобрать насосный агрегат, расстояние от оси насоса до уровня воды в колодце должно быть меньше высоты всаса насоса.

Вертикальные скважинные насосы должны применяться, когда глубина всаса больше 7 м. Самые распространенные марки скважинных насосов это Grundfos, Wilo, KSB и др., эти насосные агрегаты устанавливаются непосредственно в водоприемной шахте. Применение подобных насосов оптимально с точки зрения затрат на строительство за счет исключения наземного сооружения (павильона) для размещения насосного оборудования и запорно-регулирующей арматуры. Также, погружные насосы имеют лучшие, по сравнению с «сухими» насосами, КПД и энергоэффективность.

Для контроля рабочих параметров насосов обязательна установка манометров и расходомеров на каждой напорной линии. Чтобы исключить пуск насосов «на сухую», необходимо предусмотреть защиту от сухого хода.

## **2.4 Конструкции инфильтрационно-фильтрующих водозаборных сооружений**

Для инфильтрационно-фильтрующих водоприемников характерна возможность отбора воды совместно из подруслового и поверхностного источника. При этом повышается возможность кольматации и возникает необходимость частичной или полной регенерации водоприемника. Это обстоятельство накладывает дополнительные требования на водозабор.

Инфильтрационно-фильтрующие водозаборы представляют собой повторяющие контуры дна, берега сооружения (дрены), а также насыпные – откосы, уступы. Применительно к этим сооружениям предлагается конструкция дрены рис. 2.11.

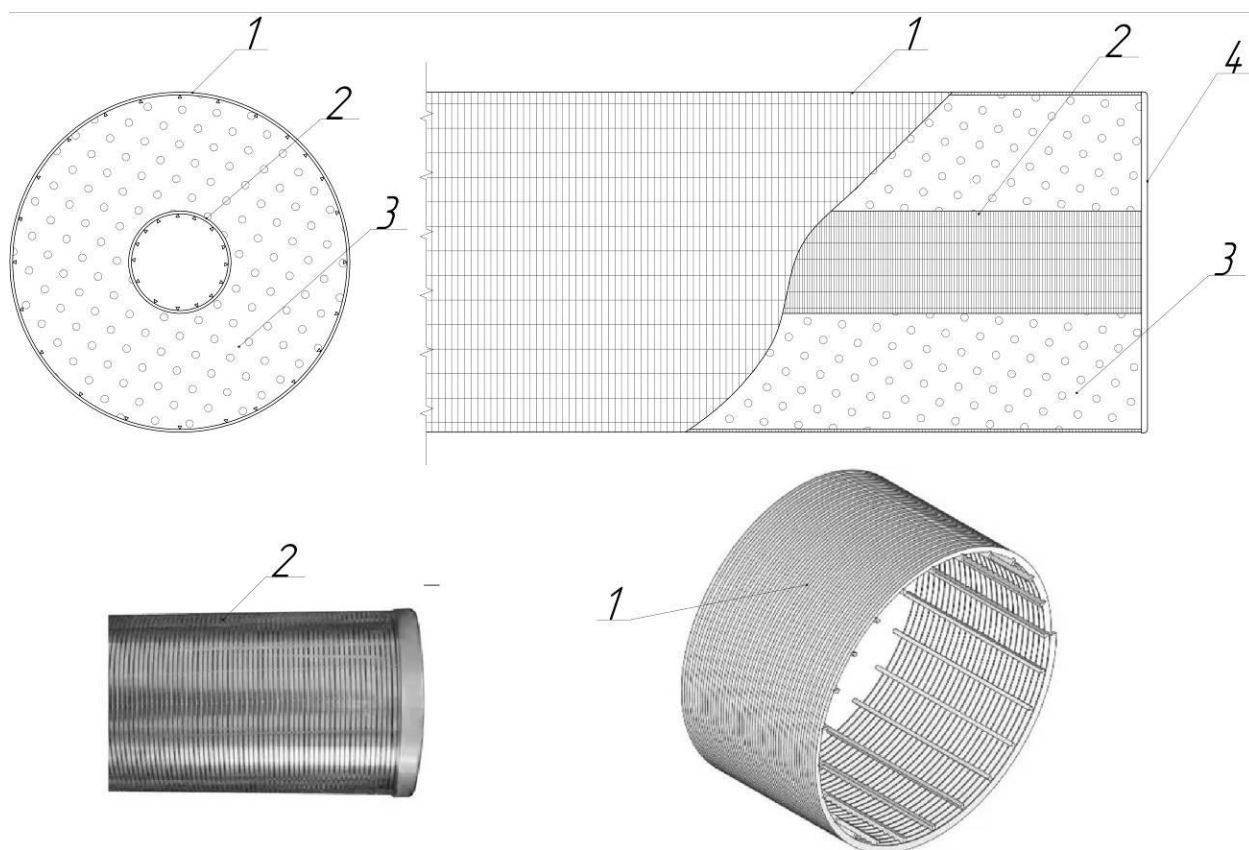


Рисунок 2.11 – Водосборная дрена с фильтрующей засыпкой из спирально-навитых фильтрующих элементов «ТЭКО-СЛОТ»

1 – внешний поддерживающий каркасно-проволочный корпус; 2 – внутренний спирально-навитой водосборный элемент; 3 – фильтрующая загрузка; 4 – заглушка

Дрена представляет собой коаксиально расположенные спирально-навитые элементы, между которыми засыпается фильтрующий материал (щебень), крупность которого назначается в зависимости от внешней фильтрующей засыпки. Ширина щели назначается в зависимости от крупности фильтрующего засыпного материала. Применение водосборной дрены с фильтрующей засыпкой из спирально-навитых фильтрующих элементов «ТЭКО-СЛОТ» возможно в конструкциях водозаборных сооружений представленных на рис. 1.1, IV, IV, рис. 2.1, II, рис. 2.4, II.

### 3 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ВОДОЗАБОРА

#### 3.1 Разработка технологической схемы инфильтрационного водозабора водозаборного сооружения

##### 3.1.1 Предлагаемые схемы модели инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения на базе фильтрующего элемента «ТЭКО-СЛОТ»

Предложены две схемы инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения. Общие виды представлены на рисунках 3.1 и 3.2.

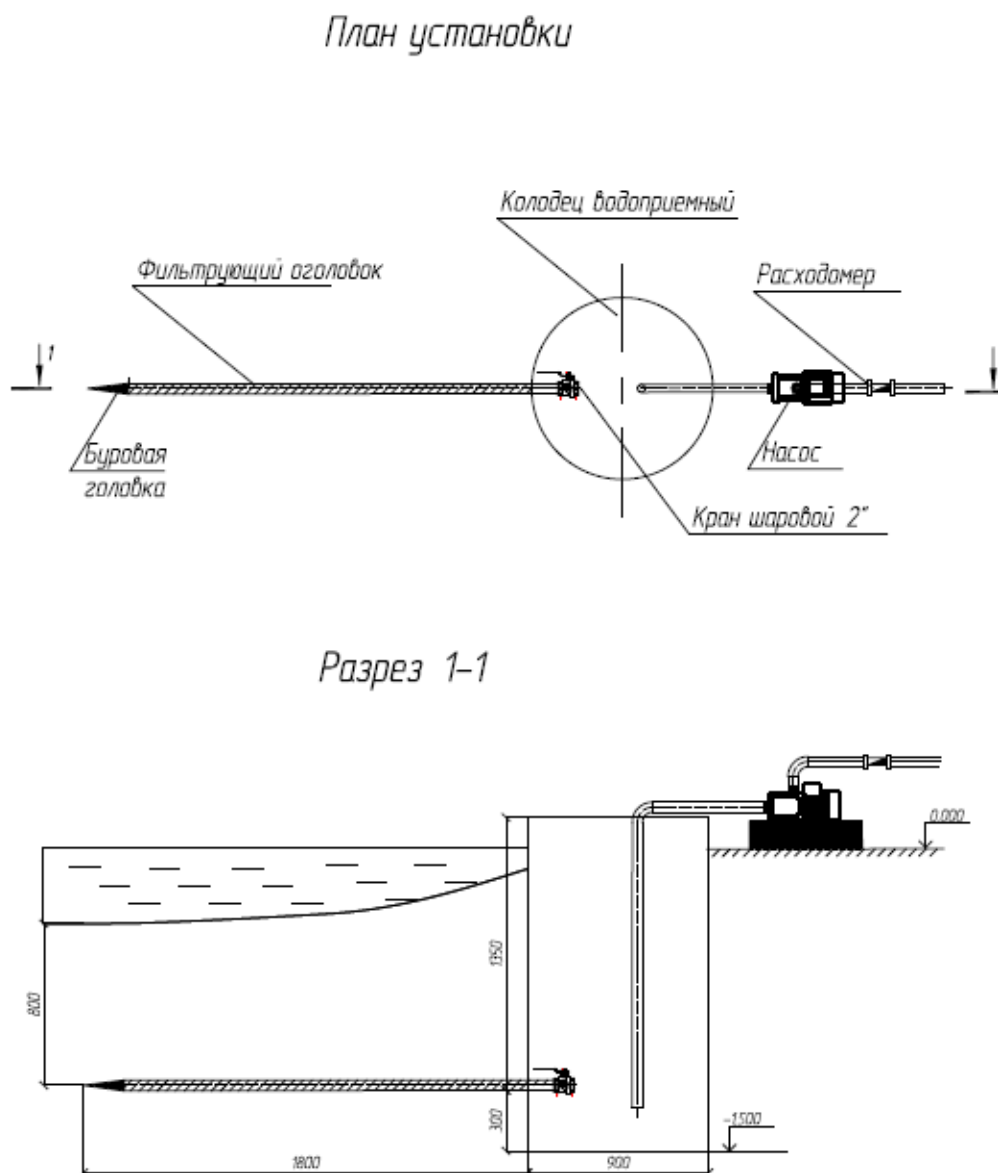
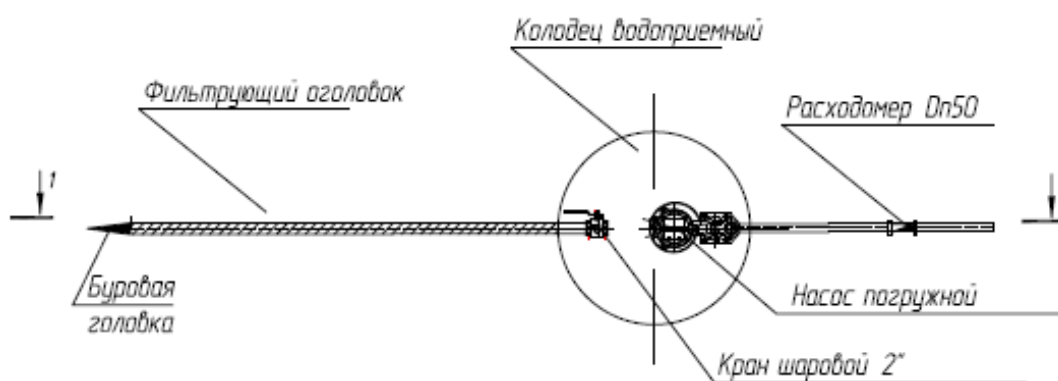


Рисунок 3.1 – Модель инфильтрационного водозабора с  
самовсасывающим насосом

## План установки



## Разрез 1-1

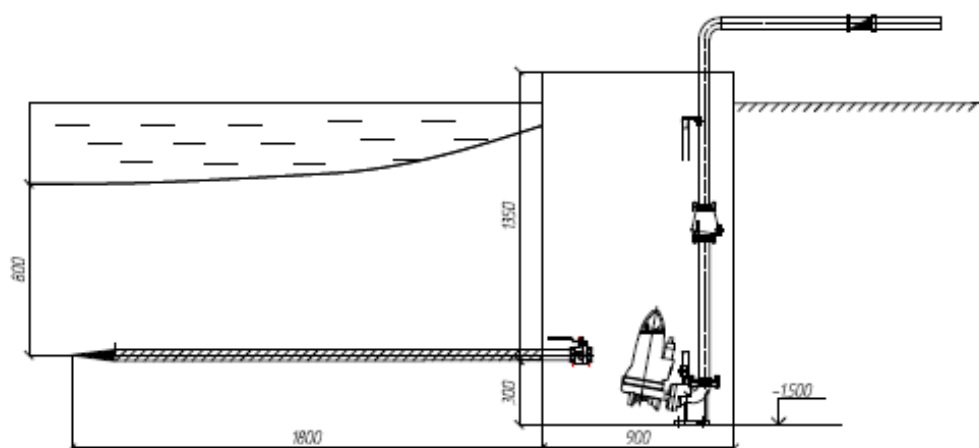


Рисунок 3.2 – Модель инфильтрационного водозабора с погружным насосным агрегатом

На рисунке 3.1 показан инфильтрационный водозабор с дренажной системой, уходящей под русло реки. При данной конструкции вода фильтруется через русловый грунт, фильтрующий элемент «ТЭКО-СЛОТ» и затем попадает в водоприемный колодец, после чего откачивается насосным агрегатом, установленным за пределами колодца. На напорной линии насосного агрегата предполагается установка обратного клапана и расходомера. На подающем трубопроводе на входе в колодец предусмотрена отсекающая задвижка.

На рисунке 3.2 показана конструкция водозаборно-очистного сооружения с применением погружного насоса. В настоящее время на рынке насосного оборудования все большее распространение получают погружные насосы стационарной установки. Их использование обусловлено лучшими гидравлическими, технико-экономическими, а также эксплуатационными показателями. При подобной конструкции насосный агрегат устанавливается на дно водоприемного колодца на систему автоматической трубной муфты с возможностью вертикального перемещения по направляющим, что значительно упрощает монтаж/демонтаж насосного агрегата. На напорном трубопроводе насоса также предусмотрена установка обратного клапана и расходомера. На подающем трубопроводе предусмотрена отсекающая задвижка.

Для испытания опытной модели водозаборно-очистного сооружения принята конструкция с самовсасывающим насосом и водоприемным колодцем (рис. 3.1).

### **3.1.2 Конструкция установки инфильтрационного водозаборно-очистного сооружения**

Разрабатываемое модульное инфильтрационное водозаборно-очистное сооружение состоит из следующих основных частей:

- колодец из полипропилена габаритами  $d = 900$  мм,  $h = 1400$  мм;
- луч-дрена на базе фильтрующего элемента «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР» с шаровым краном;
- насосного агрегата марки CALPEDA NGXM 4;
- электромагнитного расходомера-счетчика марки СУР-97.

Технологическая схема установки показана на рисунке 3.3.

## Технологическая схема установки

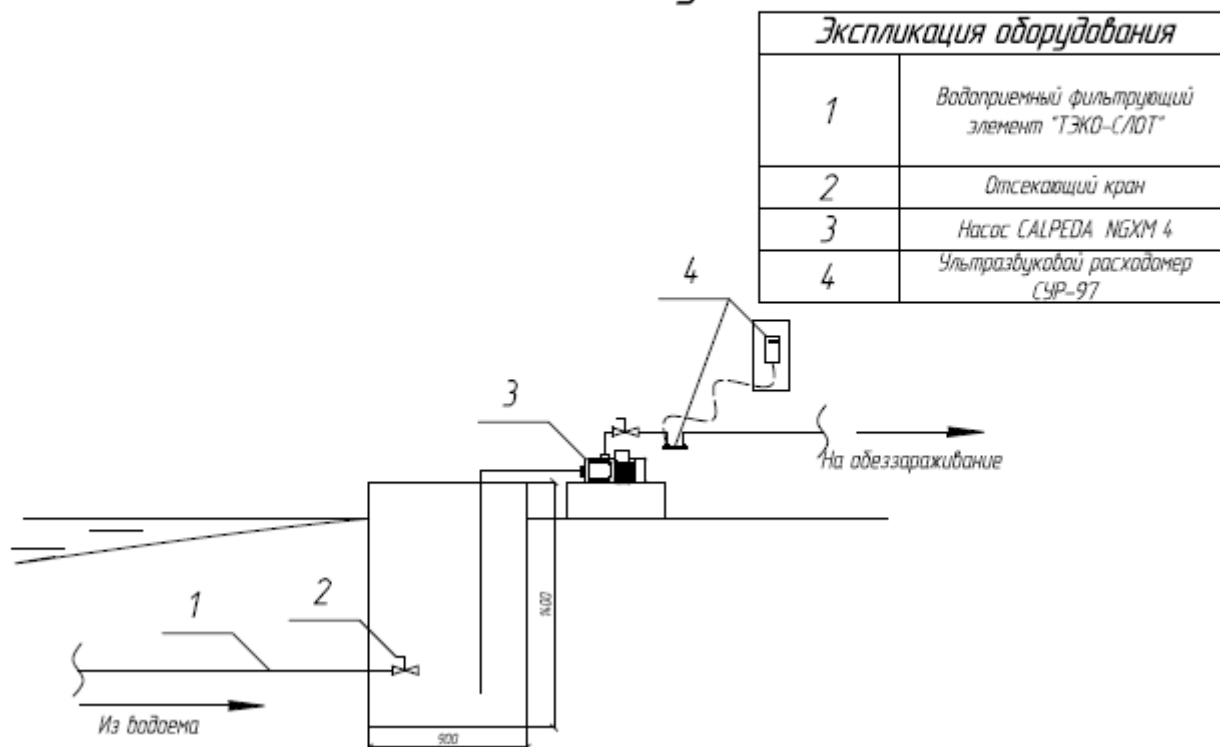


Рисунок 3.3 – Технологическая схема водозаборного сооружения

На рисунке 3.4 показаны габаритный чертеж и кривая рабочей характеристики насоса CALPEDA NGXM 4.

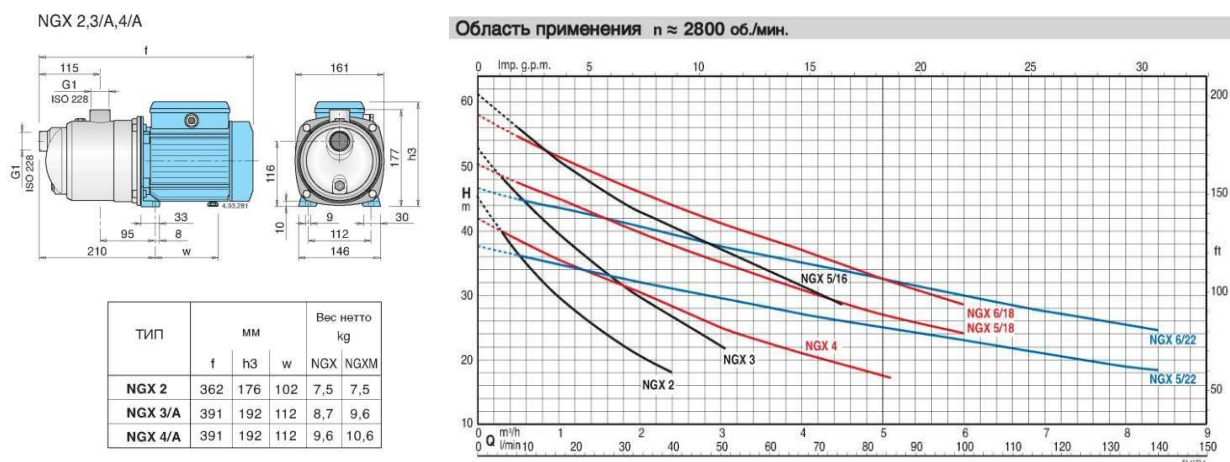


Рисунок 3.4 – Характеристики насосного агрегата CALPEDA NGXM 4

1. Водоприемный колодец устанавливается в обводненном грунте в непосредственной близости от русла реки. В связи с этим, необходимо «утяжелить» корпус для предотвращения его выталкивания. Дно колодца

выполнено в виде «юбки», которая позволяет прикрепить его посредством анкерных болтов к бетонному фундаменту для исключения возможности всплытия. При устройстве колодцев в обводненном грунте обязательно проведение расчета на всплытие.

Общий вид корпуса представлен на рисунке 3.5, 3.6.



Рисунок 3.5 – Общий вид корпуса водоприемного колодца.



Рисунок 3.6 – Общий вид колодца

2. Луч-дрена на базе фильтрующего элемента «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «ПП «ТЭКО-ФИЛЬТР».

Общий вид и конструкция луча-дрены показан на рисунке 3.7.

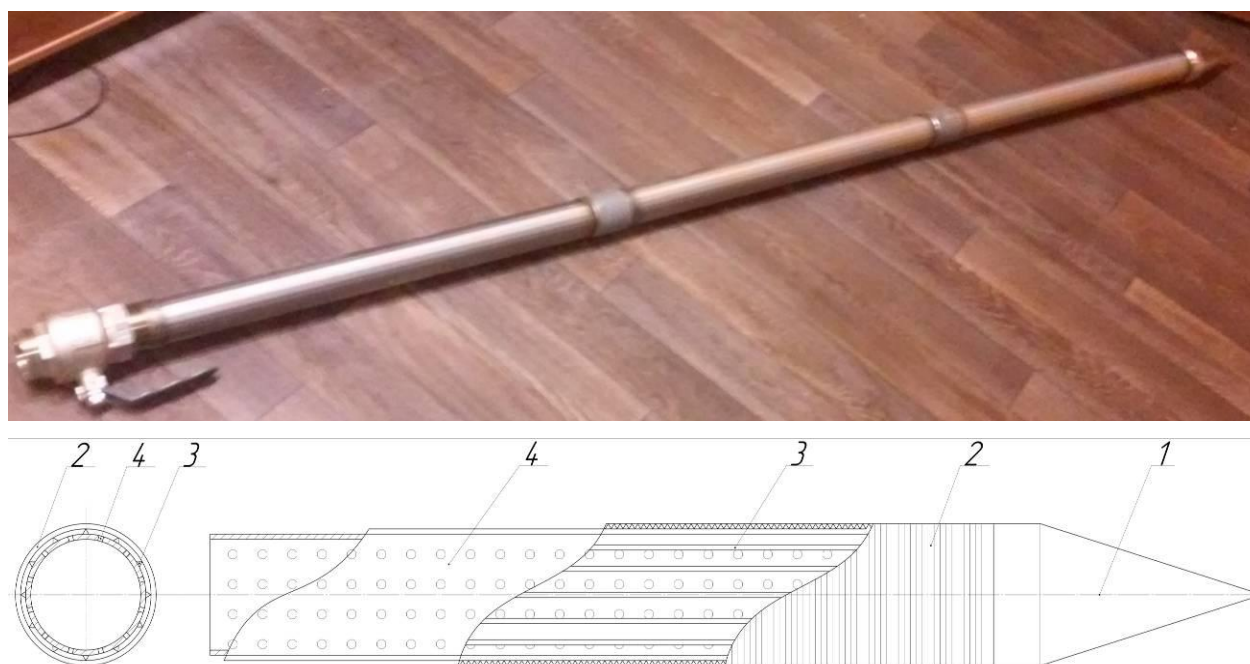


Рисунок 3.7 – Общий вид луча-дрены

1 – наконечник (для осуществления прокола); 2 – навитая проволока треугольного сечения; 3 – продольный проволочный каркас (стрингеры); 4 – перфорированный водосборный трубопровод

Водосборная дрена состоит из щелевой трубы, которая представляет собой конструкцию, получаемую путем намотки проволоки треугольного сечения на продольные направляющие (стрингеры). Сечение проволоки может быть треугольным, прямоугольным или круглым. Шаг намотки проволоки определяет ширину щелевого зазора.

Продольные и поперечные элементы соединены между собой сваркой в каждой точке пересечения. Таким образом, элементы из проволоки треугольного сечения создают гладкую фильтрующую поверхность со щелями, имеющими диффузное расширение в направлении пропускания фильтруемой среды, а опорные элементы образуют жесткий каркас. Применение проволо-

ки специального треугольного профиля обеспечивает полное исключение возможности забивания щели фильтрующего элемента (рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Щелевой фильтрующий элемент

Для достижения необходимых прочностных характеристик, луч-дрена дополнительно усилен гладкой перфорированной трубой. Перфорация на водоприемном перфорированном трубопроводе выполняется в виде круглых отверстий  $d$ , расположенных в линейном порядке (см. рис. 3.9), со скважностью  $\psi \leq 18\%$ .

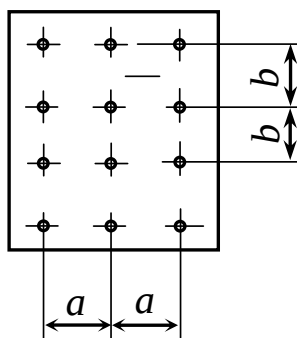


Рисунок 3.9 – Разбивка круглых отверстий на водосборном трубопроводе

Площадь перфорации водоприемно-промывного трубопровода определяется по формуле:

$$\Omega_{\text{п}}^{\text{тр}} = \frac{2\pi r L \psi}{100}, \text{ м}^2.$$

Количество отверстий, при площади одного отверстия  $\Omega_{\text{отв}}$ ,  $\text{м}^2$ , составит:

$$n_{\text{тр}} = \frac{\Omega_{\text{п}}^{\text{тр}}}{\Omega_{\text{отв}}}, \text{ шт.}$$

$$\text{Количество отверстий в ряду } m_{\text{тр}} = \frac{L}{b}, \text{ шт.}$$

$$\text{Количество рядов } N_{\text{тр}} = \frac{n_{\text{тр}}}{m_{\text{тр}}}, \text{ шт.}$$

$$\text{Расстояние между рядами составит } a = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{N_{\text{тр}}}, \text{ мм.}$$

Использованный в опытной модели щелевой фильтрующий элемент имеет ширину прозоров 100 мкм (возможно изготовление с меньшей шириной прозоров, в зависимости от крупности окружающего грунта), что позволяет избежать попадания песка и донных отложений в водоприемный резервуар.

Для обеспечения удобства прокладки лучей бестраншейным методом, дрена может быть изготовлена из отрезков длиной до 3000 мм, соединяются отрезки муфтой, или путем сварки через соединительные кольца (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Муфтовое соединение луча-дрены

На конце дрены предусмотрена головка цилиндрической формы, обеспечивающая возможность прокладки луча бестраншейным методом с применением гидравлических домкратов (рис. 3.11, 3.12).



Рисунок 3.11 – Буровая головка луча-дрены



Рисунок 3.12 – Машина для бестраншейной прокладки

При малых длинах водосборных дрен (до 6 м), возможно проведение работ с устройством траншеи. При этом водозабор в начале эксплуатации будет работать в инфильтрационно-фильтрующем режиме до восстановления грунтом исходного состояния.

### 3.2 Определение расчетного значения дебита водозаборно-очистного сооружения

Определим расчетный расход водозаборно-очистного сооружения. По формуле (1.12):

$$q_{\text{уд}} = \frac{0.8}{0,37 \lg \left( \frac{4 \cdot 0.8}{0.05} - 1 \right)} = 1.20 \text{ м}^3/\text{час}.$$

По формуле (1.9) определим расчетную производительность водозаборно-очистного сооружения:

$$Q = 1,2 \cdot 0,208 \cdot 1,20 = 0,29 \text{ м}^3/\text{час}.$$

На рисунке 3.13 представлен общий вид опытной модели водозаборно-очистного сооружения в сборе.



Рисунок 3.13 – общий вид установки в сборе

### 3.3 Результаты запуска опытной установки

Цель эксперимента – определение возможности совместного отбора поверхностных и подрусловых вод с применением фильтрующих элементов «ТЭКО-СЛОТ».

Для проведения экспериментальных работ был выбран участок берега Куйбышевского водохранилища в районе городского пляжа г. Жигулевска (рис. 3.14). Берег сложен песками среднезернистыми и супесями с включением незначительного количества частиц ила.



Рисунок 3.14 – Выбранный участок берега

Земляные работы выполнялись с помощью экскаватора-погрузчика ЭПБ-11 (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Экскаватор-погрузчик ЭПБ-11

На рисунке 3.16 зафиксировано начало поступления воды в колодец (емкость). На начальном этапе, после засыпки котлована, приток воды в колодец был незначительным.



Рисунок 3.16 – Начало работы водозаборного сооружения

В дальнейшем приток воды увеличивался и достиг максимального значения при повышении уровня в колодце выше шарового крана.

В ходе эксперимента получены данные только о фактическом дебите водозаборного сооружения, результаты сведены в таблицу 3.1.

Таблица 2 – Дебит водозаборного сооружения

| Расчетное значение, м <sup>3</sup> /час | Опытные данные, м <sup>3</sup> /час |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| 0,29                                    | 0,12                                |

Данные о фактическом качестве воды в береговом колодце определить не удалось из-за приливной волны (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Положение установки после приливной волны

### **3.3 Рекомендации по выбору места расположения и строительства инфильтрационного водозабора с применением дрен-лучей «ТЭКО-СЛОТ»**

При выборе места расположения инфильтрационного лучевого водозабора с применением дрен-лучей «ТЭКО-СЛОТ» необходимо учитывать следующие условия:

1. Общее геологическое строение территории расположения источника:

- глубина (абсолютная отметка) залегания кровли водоносного горизонта;

- мощность водоносного горизонта, водовмещающие породы (песок, супесь и др.);

- условия и места питания и разгрузки водоносного горизонта;

- общие сведения о водообильности;

- сведения о существующем и перспективном использовании водоносного горизонта.

2. Общие сведения о гидрогеологических условиях района (топографические условия, почвенные, санитарная характеристика участка водозабора, характеристика подруслового горизонта, принятого к эксплуатации, литологический состав пород, мощность, характер перекрытия, динамический уровень и др.).

3. Данные о степени проницаемости водоносных слоёв, о перекрывающих горизонтах, о возможности влияния зоны питания на качество воды (применение дрен-лучей возможно при коэффициенте фильтрации пород более 5 м/сут).

4. Санитарная характеристика местности, прилегающей к водозабору до возможного источника его загрязнения.

5. Гранулометрический состав пород (для определения размера щелей).

При выборе способа строительства водозабора наиболее предпочтительным является метод прокола. Возможно, применение горизонтально-направленного бурения.

## ВЫВОДЫ

1. В результате анализа существующих типов и конструкций водозаборных сооружений с водоочистой функцией выявлена возможная область применения спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР».

2. Анализ возможной области применения спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» при совместном отборе поверхностных и подрусловых вод показал основные направления их использования:

- Инфильтрационные водозаборы;
- Инфильтрационно-фильтрующие водозаборы.

3. Предложены две конструкции водозаборно-очистных сооружений и водоприемников на основе спирально-навитых водосборных устройств «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР»:

- водосборная дрена-луч «ТЭКО-СЛОТ»;
- конструкция инфильтрационного водозабора с применением дрена-лучей «ТЭКО-СЛОТ».

4. В ходе эксперимента подтверждена возможность отбора воды из подрусловых потоков путем применения дрена-лучей «ТЭКО-СЛОТ» производства ООО «Производственное предприятие «ТЭКО-ФИЛЬТР».

5. Фактический дебит установки составил 0,12 м<sup>3</sup>/ч (2,88 м<sup>3</sup>/сут).

### **Основные положения диссертации опубликованы в 2 статьях автора:**

1. Рысин М.С., Лушкин И.А. Водозаборно-очистные сооружения при совместном отборе поверхностных и подрусловых вод. В сборнике: Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья, сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной). 2015. С. 179-185.

2. Рысин М.С., Лушкин И.А. О возможности применения инфильтрационных водозаборов на водохранилищах волжского бассейна. Сборник трудов XVIII-ой Международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного благоустройства и экологии» (г.Пенза, МНИЦ ПГСХА, 2016). 2016. С. 70-74.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / Под ред. Михайлова К.А. и Образовского А.С.. – М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.
2. Вдовин Ю.М. Водоснабжение на Севере. – Л.: Стройиздат. Л.о., 1987. – 172 с.
3. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: Изд. НУМЦ Госкомэкологии РФ, 1999. – 338 с.
4. Образовский А.С., Ереснов Н.В., Ереснов В.Н. и др. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. – М.: Стройиздат, 1976.
5. Вдовин Ю.И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере: Дис. ...д-ра техн. наук. – М., 1996.
6. Ереснов В.Н. Исследования затопленных водоприемников с рыбозащитными фильтрующими устройствами: Автор. дис. ...канд. техн. наук. – М., 1979.
7. Мелкумов М.Д. Разработка и исследования морских водозаборов из Каспийского моря для Бакинской бухты: Автор. дис. ...канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1970.
8. Кузовлев Г.М. Специальные гидротехнические сооружения на атомных предприятиях. – М.: Атомиздат, 1973.
9. ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. Пособие к СНиП – М.: Стройиздат, 1990.
10. Аверкиев А.Г., Макаров И.И., Синотин В.И. Бесплотинные водозаборные сооружения. – Энергия. Л.о., 1969.
11. Мезенева Е.А. Совершенствование водозаборно-очистных сооружений фильтрующего типа: Автор. дис. ...канд. техн. наук. – Н.-Новгород, 1993.
12. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Госстройиздат, 1971.
13. Орлов Г.А., Шевелев Ф.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. – М.: Стройиздат, 1987.

14. Орлов Г.А., Железнова Г.Л. Перспективные методы подготовки питьевой воды. – М.: ЦНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1987.
15. Wegelin M., Boller M. Particle Removal by Horizontal-Flow Roughing Filtration. – Aqua, 1988, N3, p.115...127.
16. Стрелков А.К., Быкова П.Г. и др. Способы и сооружения для очистки природных и сточных вод. – Куйбышев: Изд. Куйбышевск. госуниверситета, 1987.
17. Журба М.Г. Микроорошение: проблемы качества воды. – М.: Колос, 1994.
18. Письменский Ф.И. Сборные гравийно-трубчатые галереи // Транспортное строительство. – 1957. – № 1. – С. 14...17.
19. Маньковский Г.П., Ереснов Н.В. и др. Водоснабжение промпредприятий и населенных мест. – Ч. I. – М.–Л.: ОНТИ, 1938.
20. Малишевский Н.Г. Водоприемники из открытых водоемов – Харьков: Изд. ХГУ, 1958.
21. Минц Д.М., Мельцер В.З. Упрощенный метод технологического моделирования процесса фильтрования // Сб. науч. тр. / АКХ. Водоснабжение. – Вып. 98. – М. 1973. – С. 128...143.
22. Хазиков Н.Г. Инфильтрационный водозабор в суровых климатических условиях // Сб. тр. / ЛИСИ. – Л., 1968. – Водоснабжение и канализация в Восточной Сибири и Кр. Севере. – С. 87...96.
23. Кузовлев Г.М. О проектировании водохранилищных и морских водозаборов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1966. – № 1. – С. 18...23.
24. Порядин А.Ф. Устройство и эксплуатация инфильтрационных водозаборов. – М.: Стройиздат, 1984.
25. Лосиевский А.И. Борьба с перекатами путем применения "наносоуправляющих" сооружений. – М.: Речиздат, 1940.
26. Вдовин Ю.И. Теория и практика фильтрующего водоприема для систем водоснабжения. – М.: ВИНТИ, 1998.
27. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. – М.: Стройиздат, 1992.
28. Trueb E. Horizontaldurchflossene Kiesfilter zur Vorreinigung von oberflaechen wasser, besonders in Entwicklungslaendern // 3R International. – 1982. – P. 1...2.

29. Порядин А.Ф. Водозаборы в системах централизованного водоснабжения. – М.: Изд. НУМЦ Госкомэкологии РФ, 1999.
30. Берданов В.М., Боголюбов К.С. и др. Искусственное пополнение подземных вод в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1978.
31. Альтшуль А.Х., Усенко В.С., Чабан М.О. Регулирование запасов подземных вод. – М.: Колос, 1977.
32. Fruhling A. Wasserversorgung der Städte. – Berlin, 1904.
33. Wegelin M. Particle Removal by Horizontal – How Roughing Filtration. – Aqua. – 1987. – N 2. – P. 80...88.
34. Hall I.I. A ready-made water filter plant. – Amer. City. – 1987. – Vol. 72. – N 8. – P. 115...126.
35. Шейко Г.К. Инфильтрационное водоснабжение. – Харьков: Изд. ХИ-ИКС, 1940.
36. Сурин А.А. Водоснабжение. – Ч. 1. Вода и водосборные сооружения. – М.-Л.: ОНТИ, 1932.
37. Черепашинский М.А. Водоснабжение. – С.-Пб., 1905.
38. Интернет сайт ООО ПП “ТЭКО-ФИЛЬТР” <http://www.teko-filter.ru/>
39. Журба, М.Г. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / М.Г. Журба, Ю.И. Вдовин. – М.: Изд. Астрель, 2003. – 468 с.
40. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3-х томах. Том 2. Очистка и кондиционирование природных вод. 2-е издание дополненное и переработанное. Научно-методическое руководство и общая редакция М.Г.Журбы. – М.: Из-во АСВ, 2004.
41. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Госстройиздат, 1985. – 131 с.
42. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Издание третье, переработанное и дополненное – М.: Стройиздат, 1982–440с.
43. Классификаторы технологий очистки природных вод. Журба М.Г., Нечаев А.П., Ивлева Г.А., Говорова Ж.М. и др. -М.: ГПИ Союзводоканалпроект, 2000. – 118 с.