

Министерство образования и науки Украины
ИВАНО-ФРАНКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА

А.К. СУДАКОВ
И.И. ЧУДЫК
Я.М. ФЕМЯК
Д.А. СУДАКОВА
О.М. ФЕДЫК

БУРЕНИЕ СКВАЖИН НА ВОДУ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

СУДАКОВ Андрій Костянтинівич
ЧУДИК Ігор Іванович
ФЕМ'ЯК Ярослав Михайлович
СУДАКОВА Діана Андріївна
ФЕДИК Остап Михайлович

Наукове видання

БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН НА ВОДУ

Монографія

Друкується в авторській редакції

Монографія розрахована на науковців, викладачів, студентів спеціальностей «Нафтогазова інженерія та технології», «Гірництво», а особливо на студентів іноземців з Білорусії і Казахстану й інших фахівців, які займаються бурінням свердловин на воду.

Дрогобич
Посвіт
2020

УДК 622.233:551.49
Б 92

Рекомендовано до друку:

Вченою радою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (протокол №03/609 від 21 травня 2020 року).

Рецензенти:

Васильєв Л. М. - д-р техн. наук, проф. провідний науковий співробітник Інституту геотехнічної механіки НАН України;

Хоменко О. Є. - д-р техн. наук, проф. кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»;

Восвідко І. В. - д-р техн. наук, проф. кафедри буріння свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Б 92 **Судаков А. К., Чудик І. І., Фем'як Я. М. Судакова Д. А., Федик О. М. Буріння свердловин на воду: Монографія.** – Дрогобич: «Посвіт», 2020. – 332 с.

ISBN 978-617-7835-87-4

Розглянуто питання вибору способу буріння, конструкції свердловини, бурового устаткування, інструменту, технології буріння, вибору фільтру, технології обладнання свердловини гравійними фільтрами, проведення дослідних відкачувань. Наведені приклади розрахунків фільтру, конструкції свердловини, режимів буріння, роботи ерліфта, струминних насосних установок, цементування та ін.

Для різних геолого-гідрогеологічних умов дано методи розтину і освоєння водонасного горизонту. Детально розглянуто проблему ліквідації свердловин.

Усі представлені матеріали служать основою проектування сучасних ефективних технологій спорудження свердловин на воду.

Монографія розрахована на науковців, викладачів, студентів спеціальностей «Нафтогазова інженерія та технології», «Гірництво», а особливо на студентів іноземців з Білорусії і Казахстану й інших фахівців, які займаються бурінням свердловин на воду.

УДК 622.233:551.49

© Судаков А. К., Чудик І. І.,
Фем'як Я. М., Судакова Д. А.,
Федик О. М., 2020.

ISBN 978-617-7835-87-4

© "Посвіт", 2020



инженерии и бурения Национального технического университета «Днепропетровская политехника».

Научная деятельность посвящена разработке технологий бурения в сложных условиях.

Автор 9 учебников и монографий, более 170 научных статей и 30 патентов.



Чудык Игорь Иванович – доктор технических наук, проректор по научной работе, профессор кафедры бурения скважин Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа.

Научная деятельность посвящена разработке технических средств и научно-методических основ управления качественным энергоэффективным процессом сооружения нефтегазовых скважин.

Автор 5 учебников и монографий, более 120 научных статей и более 20 патентов.



Фемьяк Ярослав Михайлович – доктор технических наук, заведующий кафедрой бурения скважин Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа.

Научная деятельность посвящена разработке технологии бурения нефтегазовых скважин с использованием кавитационных процессов.

Автор 2 монографий, более 100 научных статей, более 10 патентов.



ческой и прикладной механики Национального технического университета «Днепропетровская политехника».

Научная деятельность посвящена разработке технологий бурения в сложных условиях.

Автор 2 монографий, более 60 научных статей, более 10 патентов.



Федык Остап Михайлович – ассистент кафедры бурения скважин Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа, старший преподаватель кафедры бурения скважин Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа, преподаватель спецдисциплин цикловой подготовки специальности «Горное дело», (Бурение скважин) ДВНЗ «Дрогобычский колледж нефти и газа», инженер по бурению и восстановлению скважин, инженер по охране труда.

Научная деятельность посвящена разработке технологии усовершенствования техники и технологии становления герметичности заколонного пространства скважин.

Автор 1 монографии, более 15 научных статей

Оглавление

ГЛАВА 1 Скважины на воду	9
1.1. Общие сведения о скважинах на воду.....	9
1.2 Типы и конструкции гидрогеологических скважин.....	11
1.3 Долговечность буровых скважин.....	16
1.4 Выбор и расчет конструкции скважины.....	28
1.4.1. Конструкция скважин при вращательном бурении с прямой промывкой.....	34
1.4.2. Конструкция скважин при вращательном бурении с обратно-всасывающей промывкой.....	36
1.4.3. Конструкция скважин при ударноканатном бурении.....	37
ГЛАВА 2 Технологии бурения скважин	39
2.1. Общие сведения.....	39
2.2. Выбор способа бурения.....	39
2.2.1. Технология вращательного бурения скважин с прямой промывкой.....	39
2.2.2. Технология вращательного бурения скважин с обратной промывкой.....	42
2.2.3. Технология бурения скважин ударно-канатным способом.....	43
2.2.4. Технология бурения скважин с гидротранспортом керна и пневмотранспортом шлама.....	44
2.3. Выбор буровой установки.....	46
2.3.1. Отечественные буровые установки.....	46
2.3.2. Зарубежные буровые установки.....	52
2.4. Геолого-технический наряд и план-график сооружения скважины... ..	58
ГЛАВА 3 Технологии вскрытия водоносных горизонтов	60
3.1. Классификация способов вскрытия пластов.....	60
3.2. Вскрытие водоносных горизонтов с прямой промывкой водой.....	61
3.3. Вскрытие водоносных горизонтов глинистыми, специальными растворами и воздухом.....	62
3.4. Вскрытие водоносных горизонтов с применением газожидкостных смесей (ГЖС) и тампонируание скважин в условиях низких пластовых давлений.....	66
ГЛАВА 4 Технологии создания фильтров	79
4.1. Выбор и расчет фильтра.....	79
4.2. Установка трубчатых фильтров.....	86
4.3 Гравийные фильтры.....	87
4.3.1. Область применения гравийных фильтров буровых скважин	87
4.3.2. Конструкции и технологии создания гравийно-засыпных фильтров	117
4.3.3. Конструкции и технологии создания гравийно-опускных фильтров	181
4.4 Бесфильтровые скважины.....	245

ГЛАВА 5 Технологии освоения водоносных горизонтов	249
5.1. Причины кольматации.....	249
5.2. Откачка эрлифтом.	250
5.3. Откачка струйным насосом	254
5.4. Промывка по зафильтровому пространству.....	271
5.5. Способ разглинизации водоносных пластов через промывочное окно.....	273
5.6. Кислотная обработка.....	275
5.7. Восстановление проницаемости водоносных горизонтов с помощью пневмовзрыва.....	276
5.8. Желонирование и свабиврование (поршневание).....	278
ГЛАВА 6 Опробование скважин	279
6.1. Метод опережающего опробования.....	279
6.2. Съёмный испытатель пластов СИП-3.....	280
6.3. Приборы для гидрогеологических исследований в скважинах.....	281
6.3.1. Приборы для измерения и регистрации уровня воды в скважинах.....	281
6.3.2. Измерение дебита и скорости потоков в скважинах.....	283
6.3.3. Измерение температуры воды в скважинах.....	284
6.3.4. Измерение пластового давления.....	285
6.4. Пробоотборники воды.....	285
ГЛАВА 7 Водоподъемное оборудование	288
7.1. Погружные центробежные насосы.....	288
7.2. Струйные насосы.....	289
7.3. Эрлифты.....	296
7.3.1. Динамоэрлифты.....	297
7.3.2. Ступенчатые эрлифты.....	300
ГЛАВА 8 Ликвидация скважин	304
8.1. Способы ликвидации буровых скважин в различных геолого-гидрогеологических условиях.....	304
8.2. Способы ликвидации самоизливающихся скважин.....	310
Список литературы	320

ПРЕДИСЛОВИЕ

Украина располагают огромными поверхностными водными ресурсами пресных вод. Значительная часть потребности промышленности и сельского хозяйства в водных ресурсах в настоящее время покрывается за счет поверхностного стока. Эти воды используются также для хозяйственно-питьевого потребления. Однако в связи с развитием промышленности и сельского хозяйства и заметным снижением качества вод открытых источников все более интенсивно для удовлетворения нужд населения и производства используются подземные воды.

В мегаполисах в связи со сложной экологической ситуацией, обусловленной химическим и радиационным загрязнением как поверхностных, так и подземных питьевых вод, сложилась критическая экологическая обстановка, которая влечет ухудшение состояния здоровья населения. На значительной части территории России и Украины вода поставляется населению из водозаборов. В виду изношенности их оборудования вода не удовлетворяет санитарным нормам и правилам. Кроме этого, в ряде регионов существует проблема создания водозаборных скважин, как для питьевого, так и для технического водоснабжения. В этой связи в Киевском, Днепропетровском, Запорожском, Одесском, Херсонском, Николаевском и других регионах Украины существует значительный дефицит питьевых подземных вод.

В южных регионах Украины частично или полностью привозную питьевую воду используют около 300 населенных пунктов.

Решение этой проблемы возможно за счет бурения гидрогеологических скважин, предназначенных для питьевого и технического водоснабжения населенных пунктов. Скважина является сложным техническим сооружением и как любая инженерная конструкция нуждается в техническом обслуживании и ремонте.

В Украине, использование подземных вод для нужд потребителей составляет около 8 – 10 % от общего водопотребления, а в таких странах как Великобритания, Франция, Германия – 60 – 80 %. В США, например, суточная добыча подземных вод составляет 340 млн. м³, при этом за счет подземных вод обеспечивается потребность в воде почти половины городского населения, до 80 % жителей сельской местности и 40 % расходуется для нужд сельского хозяйства.

подавляющее большинство скважин (примерно 90 %) бурится вращательным способом, более 60 % скважин – в рыхлых отложениях, остальные – в твердых, связных породах, из которых 25 – 30 % составляют известняки и мергели и 5 % – граниты, причем 20 – 25 % скважин, пробуренных по связным породам, приходится на трещиноватые породы. Около 60 % скважин вскрывают безнапорные водоносные пласты.

В рыхлых отложениях, при каптаже воды из пылеватых, тонкозернистых и мелкозернистых песков используются гравийные фильтры. Однако их целесообразнее сооружать также в среднезернистых и других суффозионно-неустойчивых породах, так как гравийные фильтры позволяют избежать

пескования. За счет более низких гидравлических сопротивлений эти фильтры обеспечивают получение более высоких дебитов, чем при использовании других фильтров.

Большой вклад в разработку эффективных технологий и техники бурения, оборудования, опробования, освоения, восстановления дебита, ремонта и ликвидации скважин на воду внесли: С.К. Абрамов, В.С. Алексеев, П.А. Анатолевский, Д.Н. Башкатов, А.Д. Башкатов, В.М. Беляков, Р.Ф. Баджуран, И.Д. Бронников, Б.И. Воздвиженский, З.М. Вортман, Г.А. Волоховский, И.Я. Вальдман, П.С. Ваганов, В.В. Верстов, И.Ф. Володько, В.М. Гаврилко, В.Т. Гребенников, Т.И. Гавич, С.А. Грикевич, А.Д. Гуринович, А.И. Деревянных, А.С. Дерман, К.Б. Дмитриев, Е.Н. Дрягалин, С.Л. Драхлис, В.В. Дубровский, М.М. Керченский, А.В. Калинин, В.М. Касаткин, Г.П. Квашнин, А.М. Коломиец, Г.М. Краснощеков, В.А. Керимов, О.К. Киселев, В.В. Куликов, Н.И. Куличихин, В.П. Логинов, М.В. Марков, Л.В. Макаров, А.В. Малоян, Ю.М. Носовский, П.Е. Ожерельев, Ю.А. Олоновский, М.Г. Оноприенко, А.В. Панков, С.В. Пенкевич, В.А. Попков, Б.М. Ребрик, В.К. Роговой, В.В. Сафонов, Н.В. Соловьев, Ю.И. Соловьев, О.К. Сомнов, Р.А. Станкевич, А.К. Судаков, Я.С. Суреньянц, В.П. Ткаченко, А.Т. Тесля, М.И. Фазлуллин, В.И. Фоменко, С.В. Шаравин, В.М. Шестаков, А.М. Яковлев.

В монографии обобщен весь передовой опыт сооружения скважин на воду.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся буровыми работами, а также полезна студентам геологоразведочных вузов и факультетов.

ГЛАВА 1

СКВАЖИНЫ НА ВОДУ

1.1. Общие сведения о скважинах на воду

Скважины, пробуренные на воду без предварительной разведки, называются *разведочно-эксплуатационными*. После передачи скважины в эксплуатацию, то есть для постоянных заборов из нее воды для хозяйственно-питьевых целей в течение 15 – 20 лет, ее называют *эксплуатационной*.

На участках с малоизученными гидрогеологическими условиями бурят разведочные скважины, исследуют состав пород и гидрогеологические параметры подземных вод. Разведочная скважина, как правило, имеет облегченную конструкцию (конечные диаметры 76, 93 мм), оборудована временным фильтром и предназначена для вскрытия и предварительного опробования водоносного горизонта.

Водоносным горизонтом 6 (рис.1.1) называется пласт водопроницаемой породы, заполненный водой и способный отдавать ее. К водопроницаемым породам относятся пески, гравий, галечник, щебень, валуны, сильнотрещиноватые породы. Водоносные горизонты всегда залегают на водоупорных породах 5, таких как глины, плотные суглинки, а также монолитных плотных породах.

По условиям залегания и питания различают следующие подземные воды: верховодки, грунтовые 7 и межпластовые 6 (напорные и безнапорные) воды. Верховодки и грунтовые воды залегают на незначительной глубине над водоупорными прослоями, имеют небольшое распространение и подвержены сильному загрязнению. Межпластовые воды залегают между двумя водоупорами и надежно защищены от поверхностного загрязнения.

При вскрытии скважиной уровень воды, в зависимости от напора (пластового давления), устанавливается на границе водоупора, выше водоупорной кровли, а иногда вода сама изливается из скважины. Этот уровень воды называется *статическим $H_{ст}$* , (рис. 1.1). При откачках воды из скважины различными водоподъемными средствами происходит понижение уровня воды в самой скважине, а в безнапорных горизонтах – и в окружающей водоносной породе. При этом поверхность грунтовой воды принимает форму воронки депрессии радиусом R_d .

Уровень воды, установившийся в скважине при откачке называется *динамическим $H_{дин}$* , (рис. 1.1). Глубины уровней воды в скважине измеряются от поверхности земли (в м). Расстояние между статическим и динамическим уровнями называется *понижением S* .

Объем воды, откачиваемый из скважины в единицу времени при установившемся динамическом уровне, называется *дебитом скважины*, он измеряется в м³/ч или л/с. *Удельный дебит* определяется как частное от деления дебита на понижение.

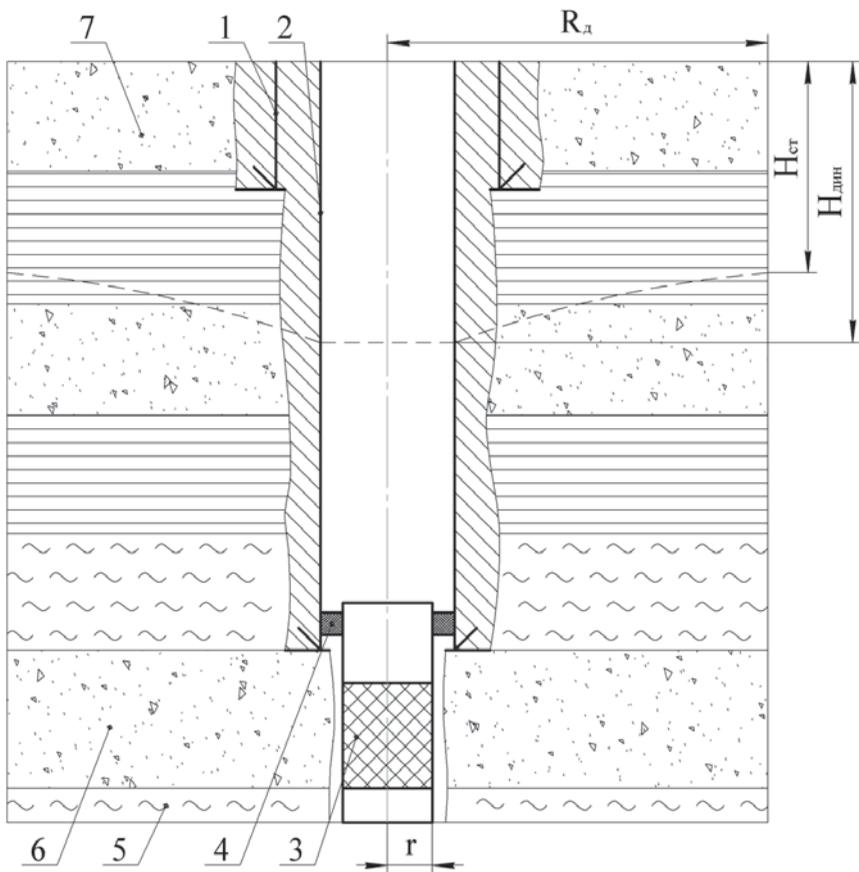


Рисунок 1.1 - Оборудование скважины на воду фильтром

1 – направление; 2 – эксплуатационная колонна; 3 – фильтр; 4 – сальник;
 5 – водоупорные породы; 6 – водоносный горизонт; 7 – верховодка, грунтовые
 воды

$$q = \frac{Q}{S} \left[\frac{M^2}{\mu} \right], \quad (1.1)$$

где: Q – дебит скважины, м³/ч;

S – понижение уровня, м.

Проектный дебит (м³/сут) рассчитывается по уточненной формуле Дюпюи:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L \cdot (S - h_{\phi} - h_{mp})}{\ln \frac{R_0}{r} + \xi_1 + \xi_2} \left[\frac{M^3}{сут} \right], \quad (1.2)$$

где: k – коэффициент фильтрации пород, м/сут;
 L – длина фильтра, м;
 S – понижение уровня при откачке, м;
 h_{ϕ} – гидравлическое сопротивление фильтра, м;
 h_{mp} – гидравлическое сопротивление водоподъемных труб, м;
 R_0 – радиус влияния (депресссионная воронка), м;
 r – радиус фильтра, м;
 ξ_1 – коэффициент, учитывающий степень вскрытия пласта;
 ξ_2 – коэффициент, учитывающий характер вскрытия пласта.

Если скважина совершенна (длина фильтра L равна мощности пласта m), то $\xi_1 = 0$. В случае, когда $L < m$ и фильтр расположен в различных участках пласта, ξ_1 может достигать 10 – 15. Коэффициент ξ_2 характеризует несовершенство фильтра по характеру вскрытия пласта. В случае его кольматации ξ_2 может достигать значений 50 – 70 и более, особенно значительная кольматация прифильтровой зоны имеет место при поглощении пластом большого объема глинистого раствора.

Проектированию скважин на воду, обоснованию и расчёту их конструкций посвящено большое число не только научных и производственных, но и учебных работ [20 – 22, 26, 101– 103, 110].

1.2. Типы и конструкции гидрогеологических скважин

Гидрогеологические скважины сооружаются с целью получения информации о подземных водах и вмещающих их породах. В зависимости от стадии разведочных работ, назначения и видов проводимых исследований скважины могут быть поисковыми, картировочными, разведочными, наблюдательными и разведочно-эксплуатационными [56, 122].

В некоторых случаях для гидрогеологических целей могут пользоваться геологоразведочные скважины. В табл. 1.1 представлена классификация скважин по типам с учетом стадии разведки, назначения скважины и характера проводимых исследований. Одной из наиболее специфических особенностей гидрогеологического бурения является повышенное требование к технологии заканчивания скважин, предусматривающей вскрытие, опробование и оборудование скважины в интервале водоносного пласта и определяющей достоверность изучаемых в процессе исследований параметров и эффективность работ в целом.

По данным А.Д. Башкатова [6], более 60 % скважин бурится в рыхлых отложениях, остальные – в твердых, связанных породах, причем из них 20 – 25 % скважин приходится на трещиноватые породы.

Таблица 1.1 - Классификация гидрогеологических скважин

Наименование	Типы скважин				разведочная	наблюдательная	разведочно-эксплуатационная
	геологоразведочная	поисковая	картировочная	предварительная			
Стадия работ	Поисковые стадии, предварительная и детальная разведка, доразведка	Поисковые стадии, предварительная разведка	Поисковые стадии, предварительная разведка	Поисковые стадии, предварительная разведка	Предварительная и детальная разведка, доразведка, эксплуатационная разведка		
Назначение скважин	Изучение условий залегания и основных особенностей месторождений твердых полезных ископаемых. Может быть использована как поисковая, разведочная, картировочная, наблюдательная и эксплуатационная	Поиски водоносных горизонтов, ориентировочная оценка фильтрационных характеристик пласта, состава подземных вод, оценка целесообразности дальнейших исследований, определение рациональных методов и объемов исследований, их технико-экономической оснащенности	Контроль за параметрами бурения, отбор проб пород, стенок скважины, каротаж. При использовании скважины в качестве поисковой, картировочной, наблюдательной и эксплуатационной выполняются	Контроль за параметрами бурения, отбор проб пород, стенок скважины, каротаж. После исследования может быть использована как эксплуатационная	Изучение фильтрационных характеристик водоносного пласта при откчке, наливе, нагнетании, исследование химического состава тик подземных вод, оценка водоносности пластов, водоносных условий питания, условий физико-механических свойств пород и грунтов, геодинамических процессов и явлений	Изучение фильтрационных характеристик водоносного пласта, режимные наблюдения, отбор проб воды, оценка водоносности пласта, водоносных условий питания, наблюдение физико-механических свойств пород	Эксплуатация разведочной скважины в целях водоснабжения, водопонижения и др.
Виды работ	Отбор керн, в том числе ориентированного, проб из стенок скважин, каротаж. При использовании скважины в качестве поисковой, картировочной, наблюдательной и эксплуатационной выполняются	Контроль за параметрами бурения, отбор проб пород, стенок скважины, каротаж. При использовании скважины в качестве поисковой, картировочной, наблюдательной и эксплуатационной выполняются	Контроль за параметрами бурения, отбор проб пород, стенок скважин, шлама и каротаж. После исследования может быть использована как эксплуатационная	Контроль за параметрами бурения, отбор проб пород, стенок скважин, шлама и каротаж. После исследования может быть использована как эксплуатационная	Возмущение водоносного пласта при откчке или наливе, контроль уровня воды, отбор проб воды, отбор проб воды, измерение температуры, расхода, каротаж. После комплекса измерений может быть использована как эксплуатационная	Контроль уровня воды в дебитом, течение, отбор проб воды, отбор проб воды, измерение температуры, расхода, каротаж. После комплекса измерений может быть использована как эксплуатационная	Откачка проектных вод в дебитом, отбор проб воды, отбор проб воды, измерение температуры, расхода, каротаж. После комплекса измерений может быть использована как эксплуатационная

* Комплекс работ в геологоразведочных скважинах проводится в случае гидрогеологического обоснования и водообеспечения работ.

Количество промежуточных колонн различного типоразмера в конструкциях гидрогеологических скважин определяется из условия наличия в геологическом разрезе интервалов, без закрепления которых обсадной колонной осложняется бурение нижезалегающих пород.

При бурении скважин глубиной до 100 м в большинстве случаев (50 %) устанавливают одну промежуточную колонну. С ростом глубины скважины увеличивается вероятность встречи зон поглощения и обвалообразования, перекрытие которых обсадной колонной обязательно. В интервалах глубин скважин от 100 до 300 м в 45 % случаев устанавливают одну промежуточную колонну. При глубинах скважин более 300 м промежуточные колонны устанавливаются практически всегда, причем в 20 % случаев устанавливают две промежуточные колонны. При этом более половины (53 %) всех промежуточных колонн имеют диаметр 146 – 168 мм, в редких случаях устанавливаются промежуточные колонны диаметром 108, 377 и 426 мм.

Количество промежуточных обсадных колонн и конечный диаметр скважины определяют ее начальный диаметр.

В табл. 1.2 представлены начальные и конечные диаметры скважин, сооружаемых ведущим организациям отрасли.

Таблица 1.2 - Диаметры бурения гидрогеологических скважин в ведущих организациях отрасли

Наименование организации	Конечный диаметр, мм	Начальный диаметр, мм
Казгидрогеология	132 - 151	132 - 190
	190 - 243	295 - 346
Гидроспецгеология	132	151 - 190
		243
		190 - 295
Центргеология	112 - 132	190 - 243
	112 - 151	394
	243	
Узбекгидрогеология	112 - 151	190 - 245
	190	346 - 445
Южгеология	112 - 132	132 - 190
	132 - 151	190 - 500
	190 - 290	
Севукргеология	112 - 151	151 - 273
УГ БССР	76 - 151	132 - 190
	190	243 490
Молдавская ГРЭ	112	295

На основании анализа данных бурения гидрогеологических скважин А.Д. Башкатовым выделены наиболее характерные их типы по глубинам 0 – 100, 100 – 300, 300 – 500 м и конечному диаметру: менее 151 мм, 151 включительно и более 151 мм. Конструкции этих скважин характеризуются относительным постоянством и могут быть типизированы (рис. 1.2, табл. 1.3).

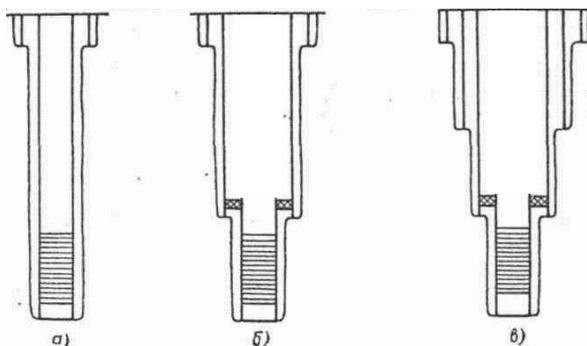


Рисунок 1.2 - Типовые конструкции гидрогеологических скважин
 а) одноколонные; б) двухколонные; в) трёхколонные

Таблица 1.3 - Типовые конструкции гидрогеологических скважин

Глубина скважины, м	Диаметры, мм		
	фильтровой колонны / скважины	обсадной колонны / скважины	кондуктора / скважины
0 – 100	89/(112 – 132)	89/112 - 132	(127 – 146)/151
	89/112 – 132	127/151	168/190
	(108 – 127)/(112 – 132)	168/190	273/(295 – 370)
	108/151	168/190	273/295
	127/151	168/190	273/295
	149/190	219/243	324/394
100 – 300	168/190	273/295	377/445
	89/(112 – 132)	146/151 - 190	273/295
	108/132	168/190	273/295
	127/132	219/243	324/394
	108/151	168/190	273/295
	146/190	219/243	324/394
300 – 500	(168 – 219)/(190 – 243)	273/(295 – 324)	377/(394 – 426)
	(89 – 108)/132	168/196	273/295
	(89 – 108)/132	168/190*	377/445
	127/132	219/295	377/445
	(108 – 127)/(151 – 190)	219/295	377/415
	(168 – 219)/(190 – 243)	(219 – 273)/(243 – 346)	(324 – 377)/(394 – 426)

*Возможно применение промежуточной колонны диаметром 219 мм.

Конструкции с фильтровыми колоннами диаметром до 108 – 127 мм характерны для наблюдательных скважин, а диаметром 146 мм и более – для откачных, закачных и разведочно-эксплуатационных.

В зависимости от назначения скважины, горно-геологических условий, режимов эксплуатации и видов проводимых в скважине исследований фильтровая колонна может устанавливаться впотай или выводиться на

поверхность. В разведочно-эксплуатационных скважинах при выводе на поверхность фильтровая колонна может иметь ступенчатую конструкцию с учетом возможности установки ниже динамического уровня погружного насоса расчетной производительности и соответствующего диаметра.

Изменение конструкции гидрогеологических скважин возможно в двух принципиально различных направлениях: за счет внедрения новой малогабаритной скважинной аппаратуры, предназначенной для достоверного изучения геологического строения района, свойств водоносного пласта и флюида, и снижения диаметра скважин.

В ряде производственных организаций при бурении геологоразведочных, поисковых и картировочных скважин осуществляется переход с диаметра 59 на 46 мм. Но при бурении скважин в слабосцементированных породах отобрать качественную пробу сложно, использование специальных технических средств приводит к увеличению диаметров бурения до 76, 93 и 112 мм. Конечный диаметр наблюдательных скважин зависит от скорости изменения уровня, качества вскрытия, освоения и оборуования водоносного пласта и составляет 46 – 76 мм.

Поскольку разведочные скважины (откачные, закачные, центральные) определяют качество и достоверность проводимых исследований, то в зависимости от условий эксплуатации, типа коллектора, качества вскрытия и других факторов необходимо рекомендовать такой диаметр скважины, при котором соблюдается линейный закон фильтрации на участке пласт – устье скважины. Рациональные диаметры таких скважин с учетом типовых условий проведения работ изменяются в основном от 190 до 600 мм. В некоторых случаях, особенно при бурении глубоких скважин, целесообразно использовать расширение пилот-скважины диаметром 145 – 190 мм до расчетного диаметра [48] с последующей гравийной засыпкой образовавшейся полости.

Конструкции разведочно-эксплуатационных скважин рекомендуется принимать по аналогии с разведочными. В эксплуатационных скважинах, учитывая сроки их эксплуатации, целесообразно устанавливать наиболее совершенные конструкции фильтров.

В зависимости от предполагаемых исследований в скважинах и применяемых при этом технических средств рекомендуются следующие конечные диаметры скважин, мм: геологоразведочных (в случае гидрогеологического обоснования и водообеспечения работ) 46 – 59, поисковых 46 – 112, картировочных 59 – 346, разведочных 145 – 190 (с последующим расширением скважины в интервале водоносного пласта), наблюдательных 46 – 59 и разведочно-эксплуатационных 151 – 243 (с последующим расширением скважины в интервале водоносного пласта до 300 – 600 мм). В случае необходимости, обусловленной специфическими особенностями района работ и задачами исследований, многообразием условий залегания подземных вод, рекомендуемые диаметры скважин могут быть изменены.

На рис. 1.3 и 1.4 и в табл. 1.4 приводятся рекомендуемые типовые конструкции скважин, используемых в гидрогеологических целях.

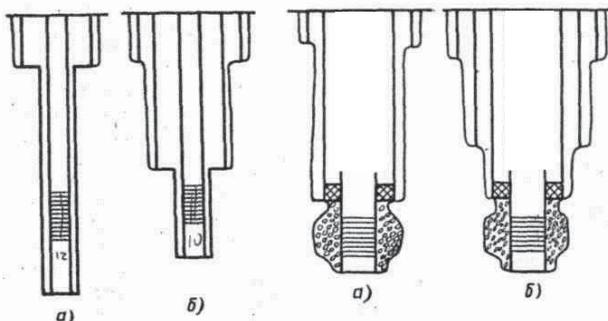


Рисунок 1.3 - Рекомендуемые конструкции наблюдательных скважин
а) одноколонная; б) двухколонная

Рисунок 1.4 - Рекомендуемые конструкции разведочно-эксплуатационных скважин
а) двухколонная; б) трёхколонная

Таблица 1.4 - Рекомендуемые типовые конструкции скважин, используемых в гидрогеологических целях

Глубина скважины, м	Конечный диаметр, мм	Диаметр, мм		
		фильтровой колонны	обсадной колонны	кондуктора
Наблюдательные скважины				
0 – 100	46 – 59	33 – 57	–	73 – 89
100 – 300	46 – 59	33 – 57	73 – 89	108
300 – 500	46 – 59	33 – 57	–	73 – 89
			73 – 89	108
Разведочно-эксплуатационные скважины*				
0 – 100	190	127 – 168	219	377
100 – 300	190 – 243	127 – 168	219 – 273	377
300 – 500	190 – 243	127 – 168	219 – 273**	377

* В интервале водоносного пласта скважину рекомендуется расширять до 400 - 600 мм с последующим проведением гравийной засыпки.

** Возможна установка промежуточной колонны.

1.3. Долговечность буровых скважин

Экономическая эффективность и качество буровой скважины определяются тремя основными факторами: ее максимально возможным дебитом, долговечностью и высоким качеством получаемой воды.

На долговечность скважин оказывают влияние особенности водоносного горизонта, химический состав подземных вод, дебит скважины, тип и конструкция фильтра, режим эксплуатации и др. Изменение дебита скважин во времени характеризуется данными, приведенными Г.П. Квашниным [61] по скважинам, пробуренным трестом Востокбурвод с 1967 по 1973 г. (табл. 1.5).

Таблица 1.5 - Изменение дебита во времени по скважинам, пробуренным трестом Востокбурвод

Год сдачи скважины в эксплуатацию	Число наблюдений	Средний дебит скважины, м ³ /ч	Увеличение среднего дебита, % к 1967 г.
1967	1259	25,7	100,0
1968	1400	27,2	105,8
1969	1332	27,4	105,9
1970	1558	27,7	107,7
1971	1692	31,0	120,6
1972	1893	37,7	146,6
1973	1976	40,1	156,0

Как видно из табл. 1.5, средний дебит скважин, сдаваемых в эксплуатацию, увеличился за шесть лет на 56 %. Трудно определить, какое влияние на долговечность скважин оказал этот рост, поскольку до сих пор нет методики, которая бы позволила учесть этот фактор среди множества других.

Совершенствование технологии вскрытия водоносных пластов и конструкции фильтров позволило повысить дебиты скважин. Особенно эффективно внедрение технологии вскрытия водоносных пластов с промывкой водой и оборудование водоприемной части скважин гравийно-засыпными фильтрами.

Теоретические и экспериментальные исследования долговечности скважин проводили В.М. Гаврилко, В.С. Алексеев, И.Ф. Володько и др. [4, 35]. Наибольшее внимание они уделяли исследованию процессов химической коагуляции фильтров и прифильтровых зон.

Проведение таких исследований применительно к крупным буровым скважинам представляет несомненный интерес, как и проблема долговечности скважин применительно к общему числу одиночных скважин или мелких водозаборов.

А.И. Деревянных и А.Н. Боб [61] на основании анализа сделали попытку выявить некоторые причины и закономерности выхода скважин из строя на примере Новосибирской области. В качестве основного критерия оценки была принята средняя долговечность скважин.

По данным гидрорежимной партии Новосибирского территориально-геологического управления, на территории Новосибирской области к 1973 г. насчитывалось несколько тысяч скважин, в том числе более 70 % действующих без ремонта, 2,6 % подлежащих ремонту и 22,7 % ликвидированных или подлежащих ликвидации.

Сооружением скважин в области занимались организации Востокбурвод, Сельхозводстрой, Запсибгипроводхоз и др. Естественно, что конструкции этих скважин и их качество резко различаются. Поэтому при изучении

долговечности встречаются трудности, связанные как со сбором информации, так и с выбором достоверной информации и методикой обработки материалов.

С целью получения новейших данных, первоначально нами был использован метод сбора информации от эксплуатирующих организаций. Для этого специальные карточки, содержащие перечень необходимой информации, отсылали в адрес эксплуатирующих организаций. После получения ответа необходимую информацию обрабатывали и анализировали.

Ниже приведены данные анализа причин выхода из строя скважин, пробуренных в 1957 – 1968 гг. трестом Востокбурвод (по А.И. Деревянных).

<i>Число скважин.....</i>	<i>131</i>
<i>Долговечность скважин, годы:</i>	
<i>максимальная</i>	<i>21</i>
<i>минимальная.....</i>	<i>1</i>
<i>Число скважин, вышедших из строя, %.....</i>	<i>38,2</i>
<i>Число выходов скважин из строя (% общего) вследствие:</i>	
<i>кольматажа.....</i>	<i>9,1</i>
<i>заилиenia и пескования.....</i>	<i>44,4</i>
<i>износа или аварии насоса из-за пескования.....</i>	<i>30,3</i>
<i>прочих причин.....</i>	<i>16,2</i>
<i>Средняя долговечность вышедших из строя скважин, годы....</i>	<i>7,3</i>

Как видно из приведенных данных, средняя долговечность вышедших из строя скважин составляет 7,3 года. Однако некоторые скважины выходят из строя, не проработав и одного года, В то е время имеются скважины, пробуренные в 1955 – 1956 гг. и работающие до сих пор без ремонта или существенного изменения дебита. Число вышедших из строя скважин составляет 38 %. Основной причиной выхода скважин из строя, по данным скважино-владельцев, является заилиение или запескование фильтра. Но, как оказал анализ, метод оценки по данным их эксплуатации недостаточно объективен.

В частности, трест Сельхозводстрой в качестве основной причины выхода скважин из строя указывает кольматацию фильтров, что также согласуется с данными Ремсельбурвода. При этом следует иметь в виду, что на результаты анализа существенное влияние оказывает величина выборки.

По данным гидрорезимной партии было проведено распределение долговечности скважин Новосибирской области по годам их сооружения. Результаты хорошо согласуются с результатами анализа по скважинам Востокбурвода и Сельхозводстроя. Из всех обследованных скважин 29,7 % ликвидированы. Долговечность скважин варьирует от одного года до 22 лет; среднее ее значение 9,1 года, средняя величина долговечности вышедших из строя скважин 7,8 года. Анализ причин выхода из строя скважин не проводился ввиду отсутствия данных; этот анализ проведен по материалам управления Ремсельбурвод. В 1975 г. этой организацией было проведено 403 ремонта и ликвидации скважин. Средняя долговечность скважин составила 8,6 года. Согласно данным учета, основными причинами выхода скважин из строя

являются кольматация фильтров, износ насосного оборудования, а также заилиение и запескование скважин. Износ насосного оборудования связан, как правило, с пескованием скважин.

По материалам Ремсельбурвода было проанализировано распределение полностью или частично вышедших из строя скважин по глубинам и долговечности (рис. 1.5.). При этом установлено, что основное число вышедших из строя скважин имеет глубину менее 100 м, долговечность их не превышает 13 лет.

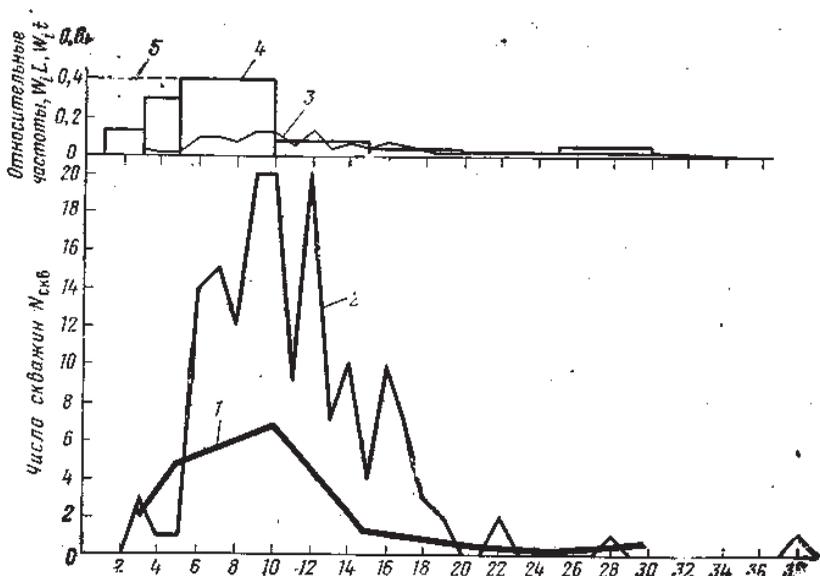


Рисунок 1.5 - Графики распределения отремонтировавшихся скважин по глубинам (верхний график: цена деления оси абсцисс – 10 лет) и долговечности (нижний график: по оси абсцисс – срок эксплуатации, годы)

1 – распределение скважин по срокам эксплуатации; 2 – распределение скважин по глубинам; 3 – полигон относительных частот распределения скважин по срокам эксплуатации, 4 – гистограмма относительных частот распределения скважин по глубинам; 5 – то же, без выделения интервала глубин до 30 м

Предварительные результаты анализа взаимосвязи долговечности скважин и типов применяемых фильтров показывают, что наибольшую долговечность имеют бесфильтровые скважины, эксплуатирующие водоносные горизонты в коренных породах (табл. 1.6) [61]. Так, из 36 бесфильтровых скважин только 6 вышли из строя, остальные на момент сбора информации работали без каких-либо ремонтов.

Из 57 скважин, оборудованных сетчатыми фильтрами, 12 полностью вышли из строя в среднем через 8,2 года, 10-ти требовался ремонт через 5,8 года, а 35 скважин нормально работают более 13,3 лет.

Таблица 1.6 - Анализ взаимосвязи долговечности скважин и типов применяемых фильтров

Тип фильтра	Группа А				Группа Б				Группа Д			
	n	Q	q	t	n	Q	q	t	n	Q	q	t
Перфорированный каркас	–	–	–	–	–	–	–	–				
Проволочный	–	–	–	–	–	–	–	–	1	2,8	2,8	9,0
Сетчатый	12	8,4	0,46	8,2	10	6,26	0,31	5,8	3,5	8,4	0,43	13,3
Гравийно-проволочный									1	6,7	0,25	8,0
Гравийно-сетчатый	14	4,8	0,35	6,2	7	4,69	0,37	7,3	12	5,5	0,45	9,4
Бесфильтровая скважина в коренных породах	5	4,3	0,29	6,4	1	1,43	0,05	3,0	30	3,4	0,47	11,1

Примечание. А – скважины, полностью вышедшие из строя; Б – скважины, продолжающие работать после ремонта; Д – скважины, нормально работающие без ремонта; n – число скважин; Q – дебит скважины, л/с; q – удельный дебит скважины, л/с на 1 м понижения; t – долговечность скважин, годы.

Из 33 скважин с гравийно-сетчатыми фильтрами 14 вышли из строя через 6,2 года, в 7-ми требовался ремонт в среднем через 7,3 года и 12 работают без ремонта более 9,4 лет.

Внедрение гравийных фильтров при вращательном способе бурения скважин на первом этапе привело к отрицательным результатам. Это подтверждается данными внедрения гравийно-сетчатых фильтров, которые как по частоте выхода из строя, так и по долговечности имеют значительно худшие показатели, чем сетчатые. Причина этого кроется в том, что технология сооружения гравийно-сетчатых фильтров не учитывала процессов, протекающих при формировании прифильтровой зоны, что вело к искусственному заземлению зон кольматажа.

Способ сбора материалов в данном случае вносит в полученные результаты определенный субъективизм, поскольку информация дается преимущественно по вышедшим из строя скважинам. Поэтому, например, процент вышедших из строя скважин завышен по данным такого опроса почти на 50 %. Наиболее объективной оценкой при таком способе сбора информации следует считать показатель средней долговечности скважин, вышедших из строя, а также причины выхода скважин из строя.

Показатель общей средней долговечности скважин не отражает в достаточной мере тенденции изменения сроков их службы. Наиболее приемлемым для этих целей является метод демографической статистики. Построенные по этому методу таблицы длительности эксплуатации скважин

Новосибирской области, наиболее точно воспроизводят динамику их долговечности. Эти таблицы показывают порядок последовательного выхода из строя одновременно построенных скважин.

В первую колонку таблиц внесены значения долговечности скважин, округленные до целого числа лет (t); во вторую – число скважин, достигших данного значения долговечности (n); в третью – число скважин, вышедших из строя в течение последнего года. В последующие пять колонок заносили:

- вероятность выхода скважин из строя

$$Q = d / n; \quad (1.3)$$

- вероятность достижения скважинами данного значения долговечности

$$p = 1 - q; \quad (1.4)$$

- сумму лет, проработанных скважинами при данной долговечности

$$l_i = \frac{n_i + n_i + 1}{2} \quad (1.5)$$

- предстоящую продолжительность работы скважин (суммарную)

$$T_i = \sum_{k=i}^k l_i \quad (1.6)$$

- среднюю величину ожидаемой долговечности скважин

$$I_i = T_i / l_i. \quad (1.7)$$

Для анализа были использованы результаты обследования скважин Новосибирской области, проведенного гидрорежимной партией территориального геологического управления, и данные о ремонтах скважин, проведенных специализированными управлениями объединения Россельхозводстрой в 1966 – 1975 гг.

Новосибирская область расположена на юге Западно-Сибирской низменности. В геологическом строении ее участвуют породы палеозойского фундамента и перекрывающие их мезо-кайнозойские отложения. В центральной и северной частях области эксплуатируются в основном отложения жуrowsкой, абросимовской, новомихайловской и атлымской свит палеогена. В скважинах широко используются сетчатые и проволочные фильтры. В последние годы все большее распространение приобретают гравийные фильтры на проволочных каркасах. В западной и южной частях области скважинами эксплуатируются водоносные горизонты меловых и палеогеновых отложений.

Водоносные горизонты неогеновых и четвертичных отложений используются в основном в северных, меньше – в центральных районах области для мелкого сельскохозяйственного водоснабжения.

Учитывая большой объем фактического материала (несколько тысяч скважин), с целью сокращения расчетов выбран метод ключевых участков, где продуктивные водоносные пласты представлены в основном песками. Суть метода заключается в том, что анализу подвергается не вся территория, а небольшие ее участки, однако они должны отражать условия изучаемой территории.

Выделение в качестве «ключевых участков» административных районов не совсем соответствует строгому понятию «ключевой участок». В данном случае это вынужденная мера, так как имеющийся фактический материал не позволяет провести более строгое подразделение на участки. Однако основные типы природных условий, а также основные конструкции скважин были учтены.

Динамика вероятностей долговечности скважин Новосибирской области в зависимости от года сооружения приводится в табл. 1.7 [61].

Таблица 1.7 - Динамика вероятностей долговечности скважин Новосибирской области

Долговечность скважин годы	Год бурения скважин																
	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
5	0,889	0,893	0,861	0,882	0,778	0,882	0,905	0,883	0,770	0,771	0,811	0,838	0,814	0,888	0,964	0,974*	0,995*
10	0,833	0,536	0,611	0,618	0,444	0,588	0,667	0,633	0,575	0,646	0,780*	0,822*	-	-	-	-	-
15	0,556	0,321	0,389	0,382	0,370	0,500*	0,643*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,526	0,321*	0,389*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Долговечность скважин соответственно 2,5; 7,5; 12,5; и 17,5 лет

Из табл. 1.7 вытекает, что вероятностная долговечность скважин в значительной мере зависит от года сооружения и обусловлена изменением технологии.

Так, вероятность пятилетней долговечности в 1958 г. составляла 77,8 %, а в 1968 г. – 96,4 %; вероятность десятилетней долговечности в 1958 г. составляла 44,8%, а в 1963 г. – 64,6 %. Следовательно, вероятностная долговечность скважин с десятилетним сроком эксплуатации по сравнению с 1958 г. значительно возросла. Вместе с тем наивысший уровень долговечности с десятилетним сроком эксплуатации, равный 83,3 %, был достигнут для скважин, пробуренных в 1954 г. Объяснить это явление можно принципиальным изменением технологии вскрытия и освоения водоносных пластов, связанным с переходом от ударно-канатного к роторному бурению.

Метод демографической статистики показал общую тенденцию к увеличению долговечности скважин в Новосибирской области.

По данным треста Сельхозводстрой максимальная долговечность скважин – 43 года – выявлена в Машковском районе. Почти в каждом районе Новосибирской области есть скважины, проработавшие 30 – 35 лет. Однако это не является пределом. В литературе приводятся случаи и более длительной работы скважин.

Метод демографической статистики не дает возможности выявить закономерность распределения скважин по долговечности. Поэтому Г.П. Кавашниным проведен анализ распределения наблюдаемых значений долговечности скважин Новосибирской области, чтобы проверить применимость аппарата математической статистики, и определить действующий закон распределения. При проведении анализа им использовались данные работ [45, 46]. Предполагаемый закон распределения выбирали путем построения эмпирической интегральной кривой на клетчатке вероятности Хазена. По степени отклонения графика от прямой определяли согласие эмпирического распределения с принятой моделью. Для графического представления формы распределения были также построены дифференциальные кривые.

Для построения эмпирической интегральной кривой всю совокупность результатов Г.П. Кавашнин расположил в табл. 1.8. Определялись относительные частоты варианта и накопленные частности. Используя накопленные частности в качестве вероятности данной варианты, строим интегральную кривую в координатах $t_i - p_i$ (t_i – значение случайной величины, p_i – соответствующая этому значению вероятность).

Наиболее близкой к истине (из простых) оказалась логнормальная модель распределения. Для выбранной модели (типа) распределения были вычислены некоторые статистики (I_{gt} ; S_{igt}^2 ; A ; E ; V), а также определены погрешности среднего значения логарифма, асимметрии и эксцесса. Кроме того, была проведена дополнительная проверка согласия эмпирического распределения с выбранной моделью (логнормальным распределением) с помощью соотношений и критерия согласия Пирсона.

Форма интегральных (и дифференциальных) кривых эмпирического распределения для Новосибирской области в целом, отдельных ее районов и различных временных интервалов весьма близка. Это позволяет предполагать наличие единого логнормального закона распределения долговечности скважин, что создает возможность прогнозирования долговечности скважин.

Однако логнормальное распределение может быть использовано лишь для ориентировочных расчетов, так как эмпирическое распределение характеризуется значительно большей, чем допускается для логнормального, асимметрией. Это хорошо видно по форме дифференциальных кривых. Критерий согласия Пирсона также отвергает возможность применения логнормального распределения для точных расчетов. Вполне вероятно, что применение более сложной модели распределения (к примеру, распределения функции) позволило бы более точно аппроксимировать эмпирическое

распределение и использовать полученную модель для точных расчетов при прогнозировании. Проверка этого положения требует проведения большого объема расчетов, что связано с чисто техническими трудностями.

Таблица 1.8 - Совокупность значений случайных величин и результаты их расчетов

n_i	W_i	t_i	$\lg t_i$	$n_i \lg t_i$	$\lg t_i - \lg t$	$n_i(\lg t_i - \lg t)^2$	$n_i(\lg t_i - \lg t)^3$	$n_i(\lg t_i - \lg t)^4$
1	0,002	0,5	- 0,30	- 0,30	- 0,93	0,87	- 0,81	0,75
48	0,111	1	0,00	0,00	- 0,63	19,05	- 12,00	7,56
38	0,088	2	0,30	11,40	- 0,33	4,14	- 1,37	0,45
52	0,120	3	0,48	24,96	- 0,15	1,17	- 0,18	0,03
54	0,125	4	0,60	32,40	- 0,03	0,05	0,00	0,00
59	0,136	5	0,70	41,30	0,07	0,29	0,02	0,00
34	0,079	6	0,78	26,52	0,15	0,77	0,12	0,02
38	0,088	7	0,84	31,92	0,21	1,68	0,35	0,07
27	0,062	8	0,90	24,30	0,27	1,97	0,53	0,14
17	0,039	9	0,95	16,15	0,32	1,74	0,56	0,18
15	0,035	10	1,00	15,00	0,37	2,05	0,76	0,28
16	0,037	11	1,04	16,64	0,41	2,69	1,10	0,45
11	0,025	12	1,08	11,88	0,45	2,23	1,00	0,45
4	0,009	13	1,11	4,44	0,48	0,92	0,44	0,21
7	0,016	14	1,15	8,05	0,52	1,89	0,98	0 51
6	0,014	15	1,18	7,08	0,55	1,82	1,00	0,55
$\Sigma = 427$	$\Sigma = 0,986$		$\Sigma = 271,74$		$\Sigma = 43,33$		$\Sigma = 7,50$	$\Sigma = 11,65$

Дифференциальные кривые распределения скважин по долговечности (до 1971 г.) и относительных частот этого распределения приведены на рис. 1.6. Они характеризуются наличием максимума в интервале 4 – 4,5 лет, крутой левой и пологой правой ветвями. Как видно из рис. 1.6, основная часть скважин выходит из строя через 3 – 5 лет работы.

Было установлено, что интегральная кривая на клетчатке вероятности недостаточно хорошо ложится на прямую. Делая допущения о применимости логнормальной модели распределения, определим некоторые статистики. Расчет проводили методом произведений по известным формулам. В результате расчета получаем:

- Среднее значение логарифма долговечности.....* $\lg t=0,63$
- Среднее квадратическое отклонение.....* $S^2 \lg t=0,10$
- Стандарт.....* $S_{\lg t}=0,32$
- Погрешность среднего значения логарифма.....* $\Delta \lg t= - 0,04$
- Асимметрия.....* $A = - 0,64$
- Погрешность асимметрии.....* $m_a=\pm 0,12$
- Эксцесс.....* $E=0,32$

Погрешность эксцесса $m_E = \pm 0,23$
 Коэффициент вариации, % $V = 50,8$
 Контрольные отношения $A/m_A = - 5.30$

Причины выхода буровых скважин из строя

Как показал анализ, основными причинами выхода скважин из строя являются кольматаж, заилиение и износ оборудования в результате пескования. Количественная оценка каждой из причин приводится в табл. 3.9 с распределением по ключевым участкам.

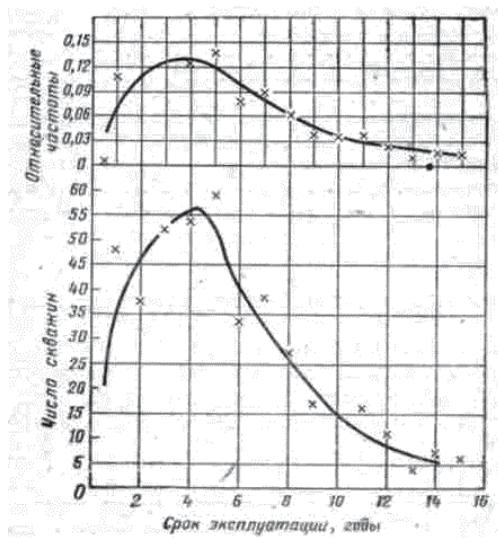


Рисунок 1.6 - График распределения скважин по долговечности (сводные данные гидрорезимной партии по скважинам, вышедшим из строя)

Как видно из табл. 1.9, в Венгеровском, Каргатском и Кольванском районах скважины выходят из строя из-за кольматации фильтров, а в Черепановском и Красноозерском – в результате заилиения (пескования).

Установлено, что наиболее благоприятные условия работы фильтров обеспечиваются в водоносных горизонтах, представленных средне-, крупно- или разнозернистыми гравелистыми песками и галечниками мощностью от 5 м и более [49].

Водоносные горизонты, представленные тонко- и мелкозернистыми песками малой мощности с частым переслаиванием глинистыми прослоями, обладают слабой водоотдачей. В таких скважинах возникают условия для понижения проницаемости пород на участке установки фильтра, а также для пескования скважин в результате высоких перепадов между пластовым и гидростатическим давлениями в скважине. Значительное понижение уровня воды в скважине в процессе эксплуатации также ведет к нарушению

химического равновесия растворимости солей, содержащихся в жидкости, а следовательно, и к ускорению их выпадения в осадок в прифильтровой зоне.

Таблица 1.9 - Количественная оценка причин выхода скважины из строя

Ключевой участок	Распределения выхода скважины из строя (%) в следствие			
	кольматации	пескования	износа оборудования	прочих причин
Венгеровский	65	14	18	3
Каргатский	50	33	16	1
Кольванский	47	35	2	16
Красноозерский	22	51	17	10
Черепановский	15	60	11	15

Это свидетельствует о необходимости создания в прифильтровой зоне скважины области минимальных гидравлических сопротивлений с помощью мощных контуров гравийной обсыпки. В производственной практике есть немало примеров сооружения высокодебитных скважин, отличающихся стабильностью работы и долговечностью. Очевидно, что одной из основных гарантий долговечности подобных скважин является приближение режима растворенных в воде химических соединений к естественному режиму пласта и отсутствие суффозионного выноса частиц породы через фильтр.

Изменение дебита скважин во времени

При оценке долговечности буровых скважин большое значение имеют долговременные наблюдения за изменением их дебита.

Установление закономерностей изменения дебита дает возможность прогнозировать сроки проведения профилактических ремонтов скважины, оценивать влияние конструкции фильтра на темпы снижения дебита, а следовательно, и на сроки эксплуатации скважины.

На рис. 1.7 [5] по результатам наблюдений Новосибирской гидрорежимной партии представлен график изменения дебитов четырех самоизливающихся эксплуатационных скважин. Кривые 1 и 2 показывают динамику изменения дебита самоизлива скважин в с. Новоалексеевка Новосибирской области. Обе скважины пробурены на один и тот же водоносный горизонт, представленный средне- и мелкозернистыми песками. В первой скважине фильтр из латунной сетки № 10/90 установлен в интервале

285 – 305 м, во второй – фильтр из латунной сетки № 12/90 – в интервале 284 – 302 м. Темпы снижения дебита различаются незначительно, хотя первоначальный дебит первой скважины (сетка № 10) почти в 2 раза выше дебита второй. Плотный остаток в воде обеих скважин за период наблюдений незначительно колебался и составлял соответственно 2,02 и 1,98 г/л; температура воды соответственно 13,4 и 12,6 °С.

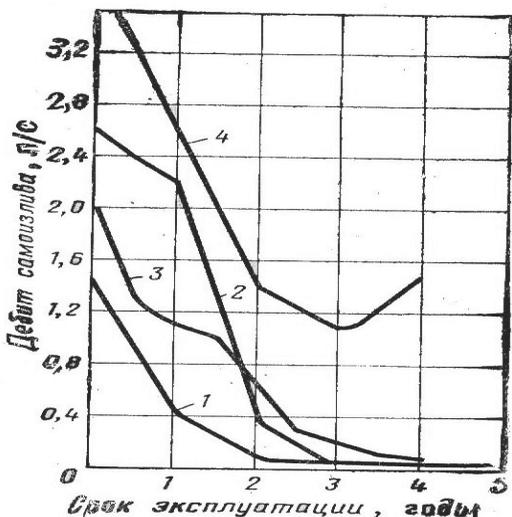


Рисунок 1.7 - График изменения дебита скважины во времени

1 – 3 фильтр сетчатый; 4 – проволочный с гравийной обсыпкой
 1 – Алтайский край; 2 – Новосибирская обл; 3 – г. Сургут; 4 – Кемеровская и Омская обл.

Кривые 3 и 4 характеризуют темпы снижения дебитов скважин в с. Каргат, водоносные горизонты которых представлены мелкозернистыми песками в интервале 262 – 302 м. При этом в третьей скважине установлен фильтр из сетки № 16/113, а в четвертой – проволочный с гравийной обсыпкой.

Как видно из рис. 1.7, темпы снижения дебита самоизлива скважины, в которой установлен сетчатый фильтр, сначала были одинаковыми с четвертой скважиной, а затем несколько снизились, а через 1,5 года эксплуатации пришли к первоначальному уровню.

Для четвертой скважины (кривая 4) с проволочным фильтром характерно уменьшение темпов снижения дебита во времени после двух лет эксплуатации, а после трех наблюдается увеличение.

Очевидно, что по такому числу скважин трудно делать определенные выводы. Однако эти данные дают наглядное представление о характере изменения дебита для самоизливающих скважин с различными конструкциями фильтров.

На наш взгляд, систематические наблюдения за изменением дебитов скважин представляют определенный интерес для прогнозирования сроков эксплуатации скважин, а также выбора рациональной конструкции фильтров при их эксплуатации.

Таким образом, при изучении долговечности скважин нами использованы: анализ, демографическая и математическая статистика. Каждый

из этих методов позволяет выявить те или иные факторы или тенденции, которые представляют несомненный практический интерес.

На основании изучения проблемы долговечности можно сделать следующие выводы.

Основными причинами снижения долговечности скважин являются химический кольматаж и заиливание (пескование) скважин.

Наиболее эффективным способом борьбы с химическим кольматажем является сооружение скважин с высокими удельными дебитами. В скважинах, водоносные горизонты которых представлены песками, получение высоких дебитов возможно только при сооружении фильтров с мощным контуром гравийной обсыпки при условии сохранения естественной проницаемости пород в прифильтровой зоне.

Основным средством борьбы с пескованием скважин является гравийная обсыпка фильтров соответствующих толщины и гранулометрического состава.

На современном уровне развития большинство скважин, каптирующих воду из песков, должно сооружаться с гравийными фильтрами.

1.4. Выбор и расчет конструкции скважины

Конструкция скважины зависит от способа бурения, геологических условий, дебита и динамического уровня, а также от обеспечения зоны санитарной охраны.

Для каждой сооружаемой скважины на воду составляют индивидуальный проект. Стержнем проекта скважины на воду является конструкция скважины.

При составлении конструкции скважины на воду ее глубина определяется местоположением кровли и глубиной вскрытия водоносного горизонта. Если мощность водоносного горизонта небольшая, то его следует вскрыть полностью и пробурить до водоупора с целью размещения отстойника фильтра. Если мощность водоносного горизонта большая, то водоприемная часть скважины должна находиться в интервале максимальной водопроницаемости пласта. Интервал максимальной водопроницаемости пласта определяют при помощи геофизических исследований.

Если водообильность скважины большая, то нет необходимости вскрывать водоносный пласт полностью, достаточно углубиться на 5 – 10 м, но чем меньше водопроницаемость пород, тем на большую глубину нужно вскрывать водоносных горизонт. Однако следует иметь в виду возможность повышения минерализации воды с увеличением глубины скважины.

В соответствии с проектным дебитом рассчитывается расход (в м³/ч) воды из скважины:

$$Q = N \cdot n \cdot j / t, \quad (1.8)$$

где: N – норма воды на единицу потребителей, м³;

n – число единиц потребителей;

j – 1,5 – 2,5 – коэффициент суточной неравномерности;

t – продолжительность работы водоподъемника в сутки;

$t = 20 - 22$ ч/сут – для крупных объектов,

$t = 8 - 12$ ч/сут – для средних и небольших объектов.

Если ожидаемый дебит скважины меньше проектного, то определяется число скважин:

$$n_c = \frac{Q}{Q_{скв}}. \quad (1.9)$$

В соответствии с характером пород водоносного горизонта выбирают тип водоприемной части скважины (фильтровая или бесфильтровая) и тип фильтра. Зная заранее установленную мощность вскрытия водоносного пласта, можно задаться длиной рабочей части фильтра и определить его минимально необходимый диаметр. В соответствии с расчетами и стандартными размерами труб подбирают диаметр фильтра и устанавливают конечный диаметр скважины. По проектному расходу Q и ожидаемому динамическому уровню воды в скважине подбирают водоподъемник, а по его габаритам – эксплуатационную колонну, в которой он будет установлен. Внутренний диаметр эксплуатационной колонны должен быть больше диаметра водоподъемника на 20 – 40 мм. Затем выбирают способ установки фильтра в скважине: на эксплуатационных трубах или впотай.

При вращательном бурении скважин на воду с прямой промывкой применяют практически два типа фильтрационных колонн.

При малых дебитах надфильтровая труба выходит на поверхность (рис. 1.9 а), б)). В таких скважинах не предполагается установка водоподъемного насоса большого диаметра.

При значительных дебитах фильтровая колонна устанавливается *впотай* (рис. 1.8 а), б)) в эксплуатационной колонне. Такая конструкция скважины позволяет разместить насосы с высокой подачей, имеющие большие поперечные размеры, а также быстро произвести замену фильтра в случае его колюматации или коррозии.

Зная диаметр эксплуатационной колонны и исходя из необходимости крепления пород геологического разреза, а также обеспечения санитарно-технической надежности скважины, определяют число промежуточных колонн, их диаметры и глубины спуска, подбирают типоразмеры долот для бурения интервалов под каждую обсадную колонну. Зазор между стенками скважины и муфтами обсадных труб в случае цементирования должен быть 20 мм для труб диаметром до 250 мм и 25 – 40 мм для труб большего диаметра.

При бурении вращательным способом с промывкой, в зависимости от глубины скважины, возможны следующие их конструкции. Если водоносный пласт залегает на глубине до 100 м, то после установки направления на глубину 2 – 10 м бурение до водоносного горизонта продолжают долотом одного диаметра. Далее устанавливают эксплуатационную колонну и цементируют ее от башмака до устья скважины и вскрывают водоносный горизонт. Такая конструкция называется одноколонной. При залегании водоносного горизонта на глубине более 200 м принимается двух- или трехколонная

конструкция скважин и более. Кондуктор и эксплуатационную колонну, а в некоторых случаях и промежуточные колонны, следует цементировать.

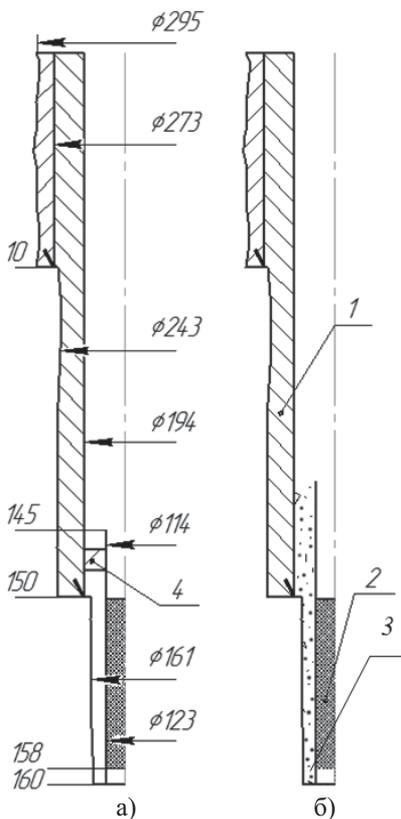


Рисунок 1.8 - Установка фильтров впотай

а) сетчатый фильтр, установленный впотай; б) гравийный фильтр, установленный впотай

1 – цементация затрубного пространства; 2 – сетчатый фильтр; 3 – гравийный фильтр; 4 – сальник

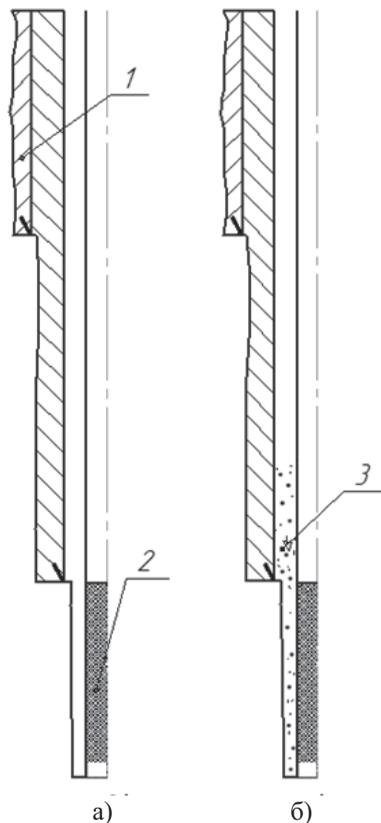


Рисунок 1.9 - Установка фильтров с надфильтровой колонной, выходящей на поверхность

а) сетчатый фильтр; б) гравийный фильтр

После того, как было определено необходимое количество обсадных колонн, приступают к определению диаметров обсадных колонн и долот. Расчет диаметров ведется снизу вверх. За исходный размер принимается диаметр эксплуатационной колонны (фильтровой) или конечный диаметр ствола скважины (если спуск обсадной (фильтровой) колонны проектом не предусмотрен).

Диаметр долота для бурения под обсадную колонну определяется по ее габаритному наружному размеру (наружный диаметр соединительной муфты) с

таким расчетом, чтобы обсадная колонна свободно проходила по стволу скважины с регламентированным радиальным зазором 2δ , рис. 1.10, табл. 1.10.

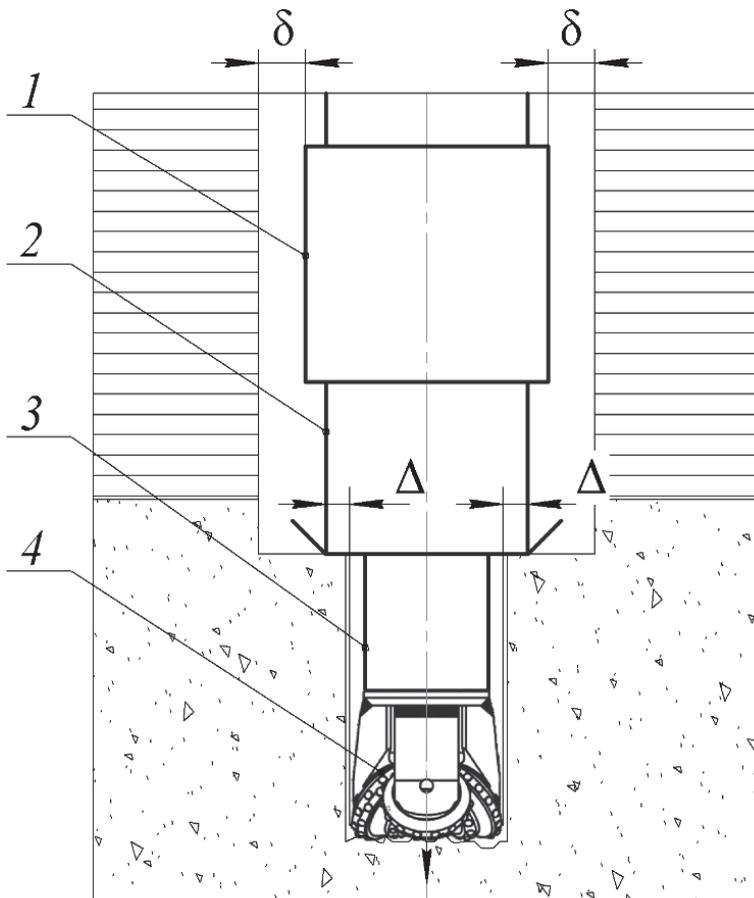


Рисунок 1.10 - Радиальные зазоры

1 – соединительная муфта обсадной колонны; 2 – обсадная колонна;
3 – бурильная труба; 4 – долото

Расчетный диаметр долота определяется по формуле:

$$D_{\delta.p.} = D_m + 2\delta, \quad (1.10)$$

где: D_m – наружный диаметр соединительной муфты обсадной колонны;
 2δ – разность диаметров, по табл. 1.1 приложения.

Затем по расчетному диаметру $D_{\delta.p.}$ находится ближайший нормализованный диаметр $D_{\delta.n.}$ (табл. 1.11).

Таблица 1.10 - Минимальная допустимая разность диаметров ствола скважины и муфты обсадной колонны

Номинальный диаметр обсадной колонны, мм	Разность диаметров 2δ , мм	Номинальный диаметр обсадной колонны, мм	Разность диаметров 2δ , мм
114,3	15,0	273,1	35,0
127,0		298,5	
139,7	20,0	323,9	35,0 – 45,0
146,1		426,0	
168,3	25,0		

Таблица 1.11 - Наружные диаметры долот

93	151	320
97	161	349
112	190	394
120	215	445
132	245	490
140	269	*
145	295	*

Установленный нормализованный диаметр долота позволяет рассчитать внутренний диаметр обсадной колонны, через которую это долото должно свободно пройти.

$$d_{\text{вн}} = D_{\text{д.н.}} + 2\Delta, \quad (1.11)$$

где Δ – радиальный зазор между долотом и стенкой обсадной трубы (рис. 1.10), обычно принимается $\Delta = 5 - 10$ мм (причем нижний предел – для труб малого диаметра).

По известному внутреннему диаметру $d_{\text{вн}}$ обсадной трубы, по табл. 1.12, подбирается нормализованный (условный) диаметр обсадной колонны.

Пример 1:

Исходные данные: глубина скважины равна 220 м. Пласт напорный. Фильтровая колонна диаметром 168 мм установлена впотай. Рассчитать двухколонную конструкцию скважины.

Решение:

1. Определим расчетный диаметр долота под фильтровую колонну диаметром 168 мм по формуле (1.5).

$$D_{\text{др}} = d_m + 2\delta,$$

По табл. 1.3 находим диаметр муфты фильтровой колонны, он равен 188 мм, тогда:

$$D_{\text{др}} = 188 + 20 = 208 \text{ мм.}$$

2. Выбираем по табл. 1.2 ближайший нормализованный диаметр долота

$$D_{\text{д.н.}} = 215 \text{ мм.}$$

Таблица 1.12 - Характеристики обсадных труб

Условный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр, мм	Диаметр муфты, мм	Диаметр обточенной муфты, мм
114	6	102,3	133	127
127	6	115	146	140
140	6	127,7	159	152
146	6,5	133	166	159
168	6,5	155,3	188	180
178	7	163,8	198	190
194	7	179,7	216	210
219	7	205,1	245	235
245	8	228,5	270	260
273	8	257,1	299	287
299	8	282,5	324	314
324	9	305,9	351	340
340	9	321,7	365	356
351	9	333	376	367
377	9	359	402	390
407	9	388,4	432	420
426	10	406	451	440
508	11	486	533	521
630*	12	606	-	-
720*	12	696	-	-
820*	12	796	-	-
920*	12	896	-	-
1120*	12	1096	-	-
1220*	12	1196	-	-
1320*	12	1296	-	-

*Трубы электросварные

3. Внутренний расчетный диаметр эксплуатационной колонны

$$D_{\text{в.р.}} = D_{\text{в.т.}} + 2\Delta = 215 + 10 = 225 \text{ мм.}$$

4. Определяем по табл. 1.3 нормализованный диаметр эксплуатационной колонны

$$D_{\text{э.н.}} = 245 \text{ мм.}$$

5. Определяем расчетный диаметр долота под эксплуатационную колонну по табл. 1.3

$$D_{\text{д.р.}} = 260 + 2\delta = 260 + 20 = 180 \text{ мм.}$$

6. Выбор ближайшего нормализованного диаметра долота под эксплуатационную колонну по табл. 1.11.

$$D_{\text{д.н.}} = 295 \text{ мм.}$$

7. Определяем внутренний расчетный диаметр кондуктора

$$d_{к.вн} = D_{д.н.} + 2\Delta = 295 + 15 = 310 \text{ мм.}$$

8. Нормализованный диаметр кондуктора по табл. 1.12

$$D_{н.к.} = 340 \text{ мм.}$$

9. Определяем расчетный диаметр долота под кондуктор

$$D_{д.р.} = 356 + 2\delta = 356 + 25 = 381 \text{ мм.}$$

10. Определяем по табл. 1.11 ближайший нормализованный диаметр долота под кондуктор – 394 мм.

11. Определяем внутренний расчетный диаметр направления

$$d_{н.вн.} = D_{д.н.} + 2\Delta = 394 + 15 = 409 \text{ мм.}$$

12. Нормализованный диаметр направления равен 473 мм.

13. Определим расчетный диаметр долота под направление

$$D_{д.р.} = 495 + 2\delta = 495 + 40 = 535 \text{ мм.}$$

Выбираем лопастной расширитель пилотный $\frac{\text{РЛПЗ} - 590}{444.5}$:

в числителе – номинальный калибрующий наружный диаметр по периферийным боковым поверхностям лопастей, мм;

в знаменателе – диаметр долота, производящего бурение скважины, мм.

В настоящее время при бурении неглубоких скважин на воду применяются обсадные трубы с безмуфтовым соединением «труба в трубу». Применяются стальные трубы диаметром 114 и 133 мм с толщиной стенки 5 мм. Также применяются поливинилхлоридные трубы (ПВХ) (табл. 1.3).

Таблица 1.3 - Поливинилхлоридные трубы (ПВХ)

Диаметр, мм	Толщина стенки, мм
110	8
127	10
140	12

При бурении скважин глубиной более 100 м также применяются стальные обсадные трубы, соединяемые при помощи электросварки.

При использовании безмуфтовых труб расчетный диаметр долота определяется так:

$$D_{д.р.} = D_n + 2\delta, \quad (1.12)$$

где D_n – наружный диаметр обсадной колонны, мм;

2δ – минимальная допустимая разность диаметров ствола скважины и обсадной колонны, мм.

1.4.1. Конструкция скважин при вращательном бурении с прямой промывкой.

При проектировании разведочных скважин для уточнения геологического разреза и опробования водоносных горизонтов применяют обсадные трубы геологоразведочного сортамента и коронки геологоразведочного сортамента, табл. 1.14.

Таблица 1.14 - Обсадные трубы геологоразведочного сортамента

Нужный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Внутренний диаметр ниппеля, мм	Масса 1 м трубы, кг
73	5	63	6,4
89	5	79	8,4
108	5	98	10,9
127	5	117	13,6
146	5	136	15,7

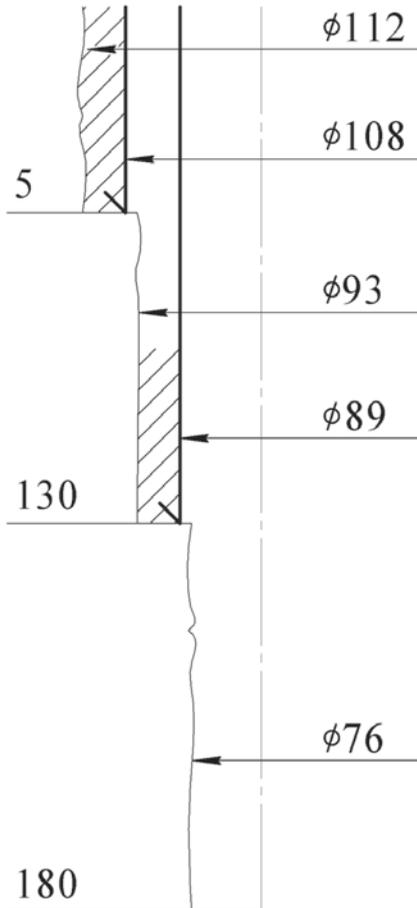


Рисунок 1.11 - Конструкция разведочной скважины на воду

При применении для исследований комплектов испытателей пластов применяют:

КИИ-95 – для скважин диаметром от 118 мм до 161 мм.

КИИ-65 – для скважин диаметром от 76 мм до 112 мм.

Если применяется опережающий метод опробования, то следует применять породоразрушающий инструмент диаметром 76 мм.

Если применяется съемный испытатель пластов СИП-3, то диаметры породоразрушающего инструмента в зависимости от диаметра резинового элемента пакера составят 76 мм, 93 мм и 112 мм.

Конечные диаметры определяются условием получения кондиционного выхода керна и спуска оборудования для испытания пластов.

Для мягких пород, исходя из условия получения кондиционного выхода керна, минимальный диаметр бурения составит 93 мм.

На рис. 1.11 представлена конструкция разведочной скважины на воду, которая позволяет уточнить разрез и провести, в случае необходимости, испытание водоносного пласта.

1.4.2. Конструкция скважин при вращательном бурении с обратновсасывающей промывкой

Конструкции скважин с обратновсасывающей промывкой характеризуются тем, что скважина бурится долотом одного диаметра. Устанавливается направление и эксплуатационная колонна с оборудованием водоприемной части гравийно-обсыпным фильтром. Большой размер диаметра скважины, до 1300 мм, позволяет достигать больших дебитов, рис. 1.12.

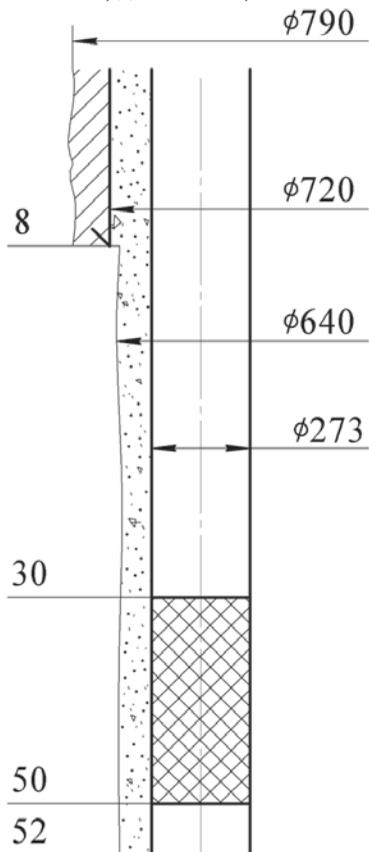


Рисунок 1.12 - Конструкция скважины для вращательного бурения с обратной промывкой

5. Направляющая труба должна пропускать долота 640 мм, принимаем электросварные трубы трубы $\phi 720$ мм.

6. Диаметр долота для забурки скважины

$$D_d = D_n + 2\delta = 720 + 45 = 765 \text{ мм.}$$

Примем ближайший нормализованный диаметр $D_d = 790$ мм.

Пример 2:

Выбрать и рассчитать конструкцию эксплуатационной скважины для вращательного способа бурения с обратной промывкой. Проектный дебит $150 \text{ м}^3/\text{ч}$.

0 – 30 м – глины плотные;

30 – 50 м – пески мелкозернистые обводненные;

50 – 80 м – глины плотные.

Статический уровень – 10 метров ниже устья. Понижения при откачке – 10 метров.

Решение:

1. Тип фильтра – гравийный (подробнее о гравийных фильтрах рассказано в главе 3).

2. Диаметр каркаса фильтра

$$D_k = \frac{\alpha \cdot Q}{L} = \frac{80 \cdot 150}{20} = 600 \text{ мм,}$$

где α принимается по табл. 1.8 приложения.

3. Подбираем электропогружной насос ЭЦВ 10-160-300 (табл. 1.11 приложения).

Примем, что насос размещается в трубах $\phi 273$ мм.

4. Диаметр гравийного фильтра при вращательном бурении определяется диаметром долота $D = D_d = 640$ мм.

1.4.3. Конструкция скважин при ударно-канатном бурении

Конструкции скважин рассчитанных на бурение ударно-канатным способом определяют исходя из предполагаемого гидрогеологического разреза. Средний выход колонны обсадных труб со внесением соответствующих поправок на диаметр колонны составляет 30-40 м, реже - 60-70 м при благоприятных условиях (рис. 1.13).

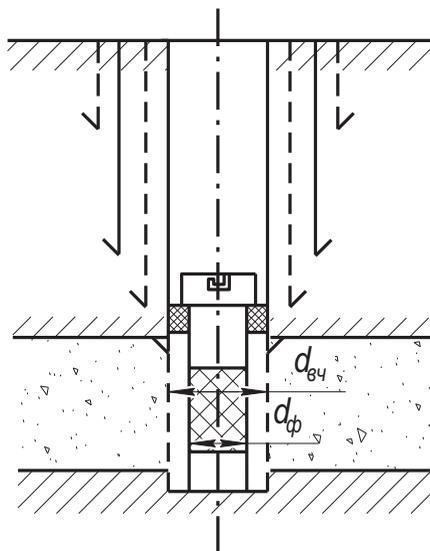


Рисунок 1.13 - Схема для расчета конструкции скважины при ударно-канатном способе бурения

Таблица 1.15 - Алгоритм выбора геометрических размеров обсадных труб

Диаметры дюймы	труб,	d, мм	d ₁ , мм	d ₂ , мм	d ₃ , мм	d ₄ , мм	d ₅ , мм
1	2	3	4	5	6	7	
6 5/8	168	152	192	184	148	198	
8 5/8	219	203	243	235	198	248	
10 3/4	273	255	294	284	248	298	
12 3/4	325	305	345	391	298	348	
14 3/4	377	355	396	399	348	398	
1	2	3	4	5	6	7	

16 ³ / ₄	426	404	447	441	398	448
18 ³ / ₄	478	456	510	503	448	495
20 ³ / ₄	529	505	564	554	495	-

Примечание: d - наружный диаметр эксплуатационной колонны; d_1 - внутренний диаметр эксплуатационной колонны; d_2 - диаметр башмака; d_3 - диаметру корпуса башмака; d_4 - диаметр долота для бурения внутри колонны; d_5 - диаметр долота для бурения под колонну.

При проектировании конструкции скважины следует предусматривать остановку башмака каждой колонны труб в водоупорных породах (за исключением башмака последней эксплуатационной колонны).

Диаметр бурения под водопримную часть определяют из условия

$$d_{в.ч.} = d_{\phi} + 50\text{мм},$$

а дальнейший выбор геометрических размеров обсадных труб производят из табл. 1.15.

ГЛАВА 2

ВЫБОР СПОСОБА БУРЕНИЯ И БУРОВОЙ УСТАНОВКИ

2.1. Общие сведения

В настоящее время в Украине наиболее распространенным способом сооружения скважин на воду является вращательный способ. На его долю приходится около 90 % от общего объема бурения скважин на воду.

В зависимости от геолого-гидрогеологических параметров проектируемой скважины применяются следующие разновидности вращательного бурения, отличающиеся:

- по способу опробования проходимых пород – бурение с отбором (кольцевым забоем) и без отбора керна (сплошным забоем);
- по направлению циркулирующего агента: с прямой промывкой, с обратной промывкой (в том числе с гидротранспортом керна);
- по виду циркулирующего агента: бурение с применением глинистого раствора, полимерных растворов, азрированных промывочных жидкостей, газожидкостных смесей (ГЖС), воздуха.

Шнековое бурение применяется в пределах, ограниченных глубиной скважины (до 50 м) и незначительными дебитами.

Весьма редко применяется ударно-канатный способ бурения.

В странах, занимающих лидирующие позиции в создании буровых установок (Швеция, Германия, США), значительное развитие получил ударно-вращательный способ бурения с помощью пневмо- и гидроударных машин, когда порода разрушается за счет вращения породоразрушающего инструмента и воздействия осевой и ударных нагрузок. Буровые установки снабжены мощными компрессорами с производительностью до 35,5 м³/мин и давлением до 2,5 МПа, что позволяет бурить на высоких значениях механических скоростей бурения (до 50 м/ч) по горным породам VII-VIII категорий по буримости. Буровые установки имеют высокую степень механизации и автоматизации технологических процессов, что дает возможность бурить скважины глубиной 1200-1500 метров за 2 – 2,5 суток.

2.2. Выбор способа бурения

2.2.1. Технология вращательного бурения скважин с прямой промывкой

Вращательное бурение скважин с прямой промывкой (рис. 2.1) осуществляется:

а) глинистым раствором

Применяется при вскрытии и освоении мощных водоносных горизонтов, где расколматация пласта эффективна и гарантирована.

К достоинствам способа можно отнести:

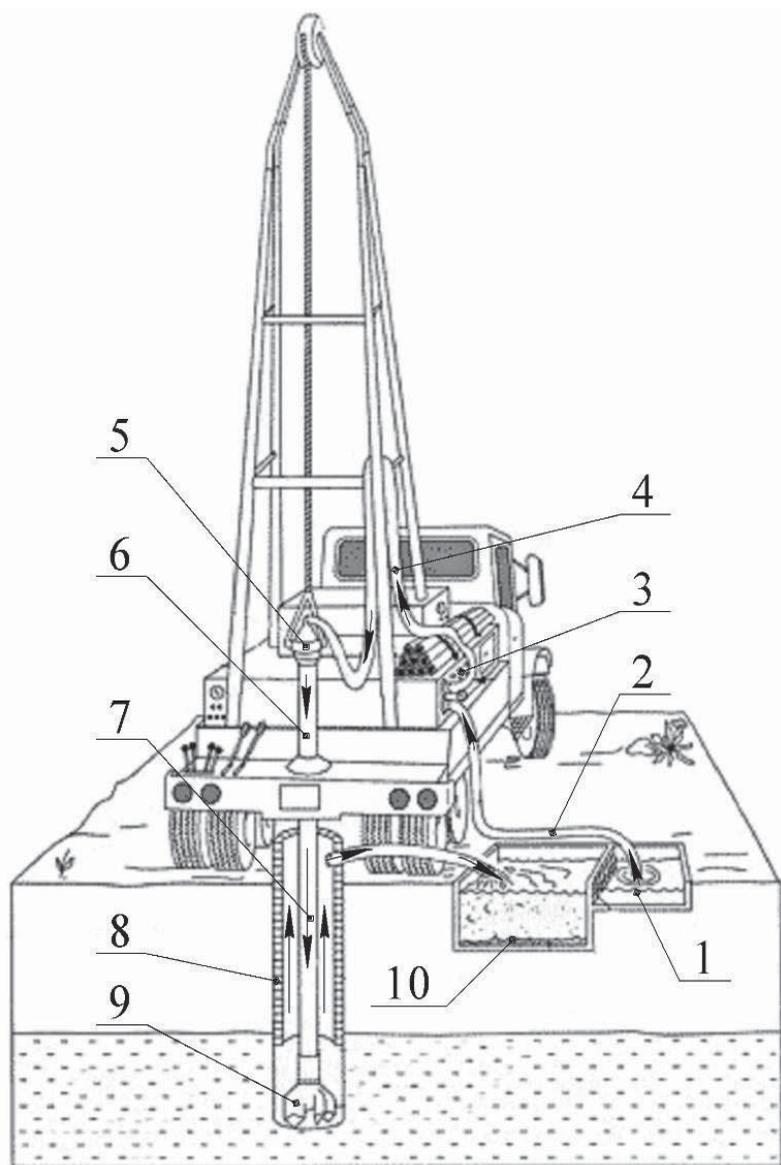


Рисунок 2.1 - Общая схема бурения скважины роторным способом с прямой промывкой

1 – емкость с очищенным буровым раствором; 2 – всасывающая магистраль; 3 – буровой насос; 4 – нагнетательная магистраль; 5 – сальник-вертлюг; 6 – ведущая труба; 7 – колонна бурильных труб; 8 – обсадная труба; 9 – долото; 10 – отстойник.

- высокие скорости бурения;
- устойчивость ствола скважины в любых осложненных участках (кроме валунно-галечниковых);
- возможность бурения скважин любой глубины;
- низкую металлоемкость скважины.

Недостатки данного способа:

- при использовании глинистого раствора возникает трудность качественного опробования водоносных пластов и их освоения, что приводит к снижению дебита скважины, требует проведения длительных и сложных работ по её разглинизации;
- необходимость снабжения установок водой и качественной глиной;
- трудности организации работ в зимнее время при отрицательных температурах;
- очень высокая стоимость 1 м³ поднятой воды, ограничение диаметров бурения (не более 500 мм).

б) с промывкой водой

Применяется в мелких и среднезернистых песках с коэффициентом фильтрации $K_f < 15$ м/сут с поддержанием избыточного давления на пласт столбом воды более 3 м. Диаметры скважин до 250 мм в условиях бесперебойного снабжения водой летом.

Достоинства способа:

- высокие скорости бурения;
- высокая достоверность гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и простота их освоения;
- низкая металлоемкость скважины.

Недостатки:

- невозможность сооружения скважин при $K_f > 15$ м/сут;
- плохой вынос шлама, что ограничивает диаметр бурения (до 250 мм);
- невозможность длительных простоев в процессе бурения;
- затруднительность применения в зимних условиях.

в) с промывкой полимерными растворами

Применяется в рыхлых неустойчивых отложениях с K_f до 35 м/сут в любое время года, в том числе в многолетнемерзлых породах.

К достоинствам способа можно отнести:

- высокие скорости бурения;
- устойчивость стенок скважины;
- высокую достоверность гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и простоту их освоения;

Недостатком является невозможность бурения в валунно-галечниковых отложениях.

2.2.2. Технология вращательного бурения скважин с обратной промывкой

Применяется в различных породах II – IV категории по буримости для высокодебитных добычных, дренажных, водопонизительных скважин диаметром до 1500 мм и глубиной до 150 м, в летний период.

Сущность способа бурения с обратной промывкой заключается в том, что промывочная жидкость при бурении попадает в скважину не по внутренней полости бурильных труб, как это происходит при бурении с прямой промывкой, а между наружной поверхностью бурильных труб и поверхностью ствола скважины (рис. 2.2).

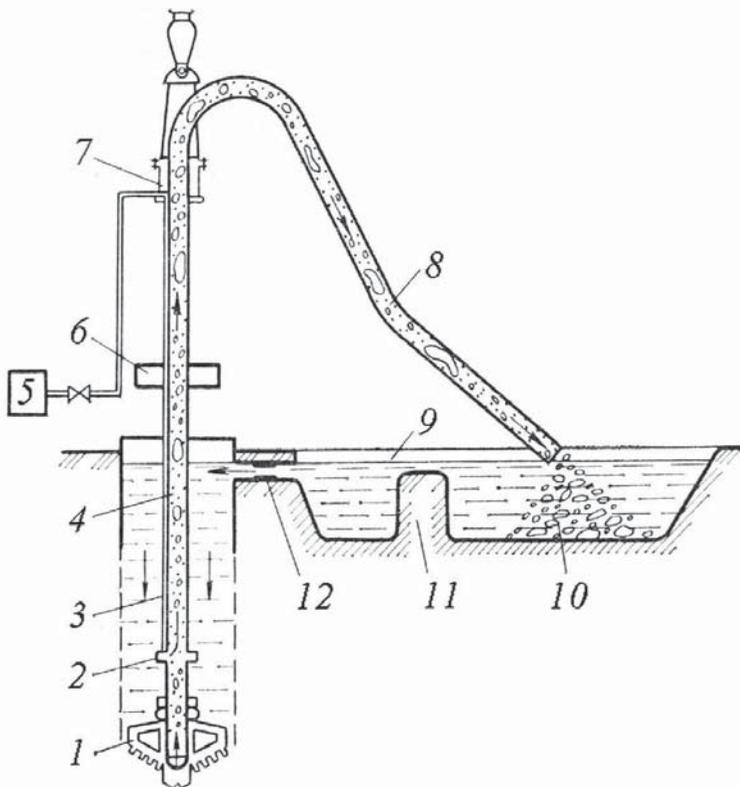


Рисунок 2.2 - Схема бурения с обратной промывкой при использовании эрлифта для создания циркуляции

1 – долото; 2 – смеситель; 3 – воздушные трубы; 4 – буровая колонна; 5 – компрессор; 6 – ротор; 7 – вертлюг; 8 – рукав; 9 – амбар-отстойник; 10 – буровой шлам; 11 – перемычка; 12 – желоб для соединения шурфа с амбаром-отстойником

Избыточное гидростатическое давление столба жидкости, постоянно находящегося в скважине, превышающее пластовое давление, гарантирует устойчивость стенок скважины. Кроме того, сохранению устойчивости способствует и значительная проходка на долото, позволяющая сократить число спускоподъемных операций, связанных с необходимостью замены долота.

Преимущества способа несомненны, так как при сдаче скважины в эксплуатацию она оборудуется, практически, одной фильтровой колонной с гравийной обсыпкой и выводом ее на устье.

К достоинствам способа так же можно отнести:

- увеличение скорости бурения в 10 – 15 раз по сравнению с роторным способом с прямой промывкой;

- возможность бурения скважин с конечным диаметром до 1,5 м и соответственно увеличенных дебитов;

- возможность обеспечения значительных толщин гравийных обсыпок фильтровой колонны (со свободной засыпкой гравия с поверхности), исключающих пескование скважин и увеличивающих срок их работы;

- предотвращение глинизации водоносных горизонтов в результате применения воды в качестве промывочной жидкости.

- вынос кусков шлама размером до 150 мм (в соответствии с внутренним диаметром бурильных труб): в связи с тем, что площадь внутреннего сечения колонны бурильных труб значительно меньше площади кольцевого зазора, появляется увеличенная скорость восходящего потока по внутреннему каналу труб до 3 – 3,5 м/с.

Откачка промывочной жидкости из колонны бурильных труб в процессе бурения осуществляется центробежным насосом, эрлифтом или водоструйным насосом.

2.2.3. Технология бурения скважин ударно-канатным способом

Применяется для бурения скважин большого диаметра (до 1000 мм), глубиной до 150 м в рыхлых отложениях, в условиях ограниченного снабжения водой.

К достоинствам способа следует отнести высокую достоверность гидрогеологических характеристик водоносных горизонтов и простоту их освоения.

В качестве недостатков способа отметим следующие:

- низкие скорости бурения;

- высокая трудоемкость работ и большой расход обсадных труб.

Данный способ в настоящее время применяется для бурения бесфильтровых скважин.

Пути совершенствования способа заключаются в разработке современной самоходной буровой установки для ударно-канатного бурения, совершенствовании технологии спуска и извлечения обсадных колонн.

2.2.4. Технология бурения скважин с гидротранспортом керна и пневмотранспортом шлама

Применяется главным образом для бурения поисковых и картировочных скважин на воду глубиной до 200 м и диаметром до 151 мм установкой УРБ-2А2 с подвижным вращателем.

Способ с пневмотранспортом керна (Швеция, США и др.) применяется для бурения разведочно-эксплуатационных скважин глубиной до 1500 мм с конечным диаметром до 190 мм. Применяются компрессоры производительностью до 35,5 м³/мин и давлением 2,5 МПа.

Используются бесклапанные пневмоударники, которые лучше сохраняют работоспособность при попадании в них воды. Общей тенденцией является применение пневмоударников с более высоким перепадом давления, так как это увеличивает энергию удара и механическую скорость бурения.

Схемы обратной циркуляции при бурении с пневмоударником с центральным зазором для выноса шлама приведены на рис. 2.3 и 2.4.

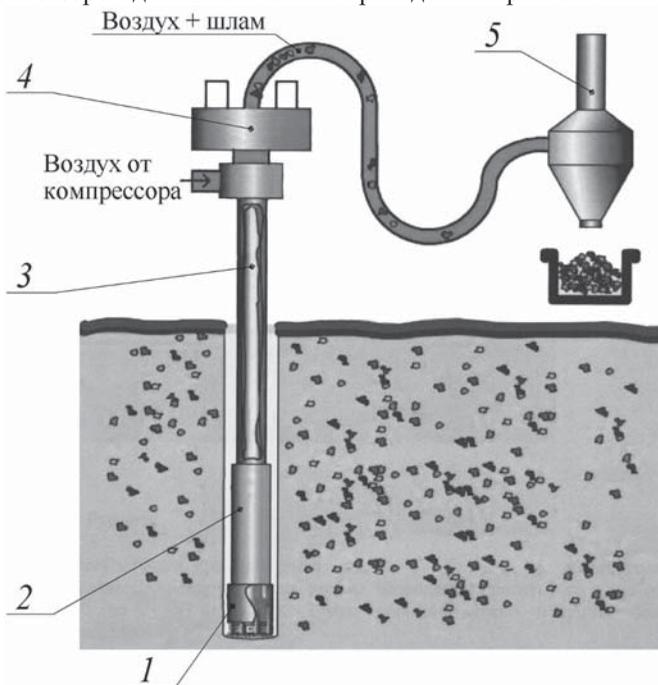


Рисунок 2.3 - Схема обратной циркуляции с пневмоударником с центральным зазором для выноса шлама

- 1 – юбка, обеспечивающая поступление частиц шлама в центральный зазор;
- 2 – пневмоударник с центральным зазором для выноса шлама;
- 3 – двойная колонна бурильных труб;
- 4 – подвижный вращатель;
- 5 – циклон для сбора шлама

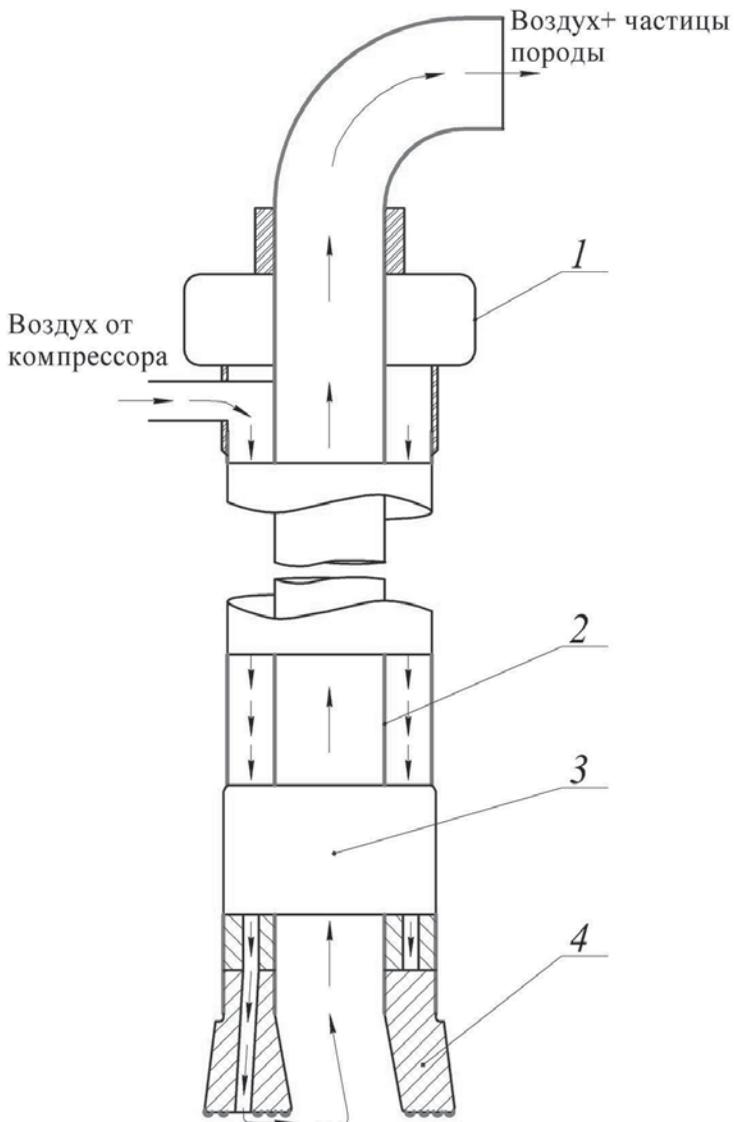


Рисунок 2.4 - Схема обратной циркуляции при бурении с пневмоударником с центральным зазором для выноса шлама

- 1 – подвижный вращатель; 2 – двойная колонна бурильных труб;
3 – пневмоударник с обратной циркуляцией; 4 – долото

2.3. Выбор буровой установки

Выбор буровой установки производится с учетом ранее разработанной конструкции скважины и принятого способа бурения.

Буровые установки вращательного способа бурения на воду с прямой промывкой должны подбираться по следующим основным требованиям:

1. Грузоподъемность должна быть больше веса наиболее тяжелой колонны.

2. Проходное отверстие ствола ротора должно обеспечивать прохождение обсадной колонны наибольшего размера.

3. Производительность буровых насосов должна обеспечивать транспортировку шлама из скважины.

4. Транспортабельность.

2.3.1. Отечественные буровые установки

В настоящее время в практике сооружения скважин на воду в России (а часто и в Украине) применяются в основном самоходные буровые установки роторного типа и с подвижным вращателем. В табл. 2.1 приведены основные характеристики буровых установок.

Таблица 2.1 - Самоходные буровые установки для вращательного бурения

Параметры	ПБУ - 2	УБР - 12	УРБ - 2А2	УРБ - 3А3	1БА - 15В	УБВ - 600
Глубина бурения шнеками, м	50	50	–	–	–	–
Глубина бурения, м	100	100	200	500	500 – 89 бт; 600 – 73 бт	600
Начальный диаметр бурения, мм	190	190	190	243	394	410
Конечный диаметр бурения, мм	93	93	93	93	190	215
Диаметр бурильных труб, мм	50	50	60,3	60,3 73	89 73	114
Частота вращения, об/мин	25 – 220	от 50 до 268	140 225 325	110 190 314	65 130 245	105; 183
Производительность насоса, л/с	3	10	10	11,9	10	32
Грузоподъемность, кН	26	25	40	150	200	500

Примечание: бт – бурильные трубы

Установка ПБУ-2

ПБУ-2 (рис. 2.5) может быть установлена на различные транспортные средства: автомобили и шасси повышенной проходимости типа АМУР (ЗИЛ-131), УРАЛ, КАМАЗ, транспортную гусеничную машину ТГМ-126, МТЛБу, тракторы ТТ-4 и ТЛТ-100А, на санное основание и другие шасси.

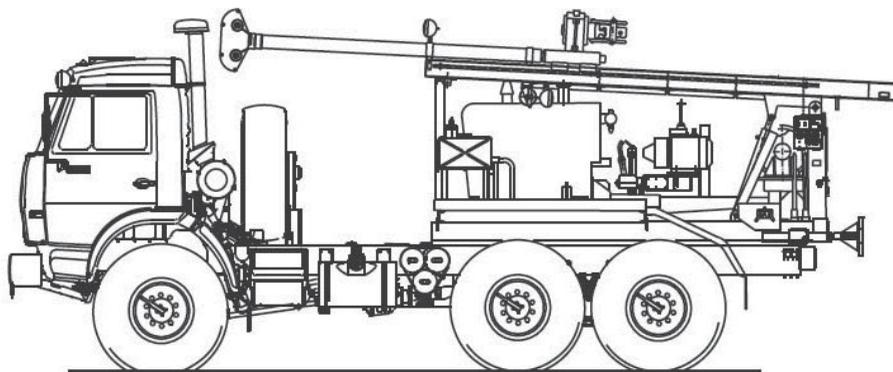


Рисунок 2.5 - Схема буровой установки ПБУ-2

Подвижный вращатель с механическим приводом в сочетании с мощным гидравлическим механизмом подачи позволяют создавать значительную осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент с первых метров бурения.

Конструкция вращателя буровой установки обеспечивает возможность его отвода в сторону от оси скважины для выполнения спускоподъемных операций, установки обсадных колонн и реализации технологии ударно-канатного бурения с использованием буровой лебедки.

Установка УБР-12

Буровая установка УБР-12 (рис. 2.6) предназначена для бурения гидрогеологических, геологических и сейсмических скважин шнеками до глубины 50 м, долотами и коронками с прямой промывкой – до 200 м.

Установка УРБ-2А2

Одна из самых популярных установок (рис. 2.7) при бурении скважин на воду. Станок прост, легок и удобен. Большое количество этих станков определило развитую ремонтную базу.

Установка может быть смонтирована на шасси автомобилей повышенной проходимости, таких как УРАЛ, ЗИЛ, КАМАЗ, АМУР, а также других марок; на гусеничных шасси МТЛБу, ТТ-4, ГАЗ-71 и других.

Данная буровая установка комплектуется как буровыми насосами для бурения с промывкой, так и компрессором для бурения с продувкой воздухом.

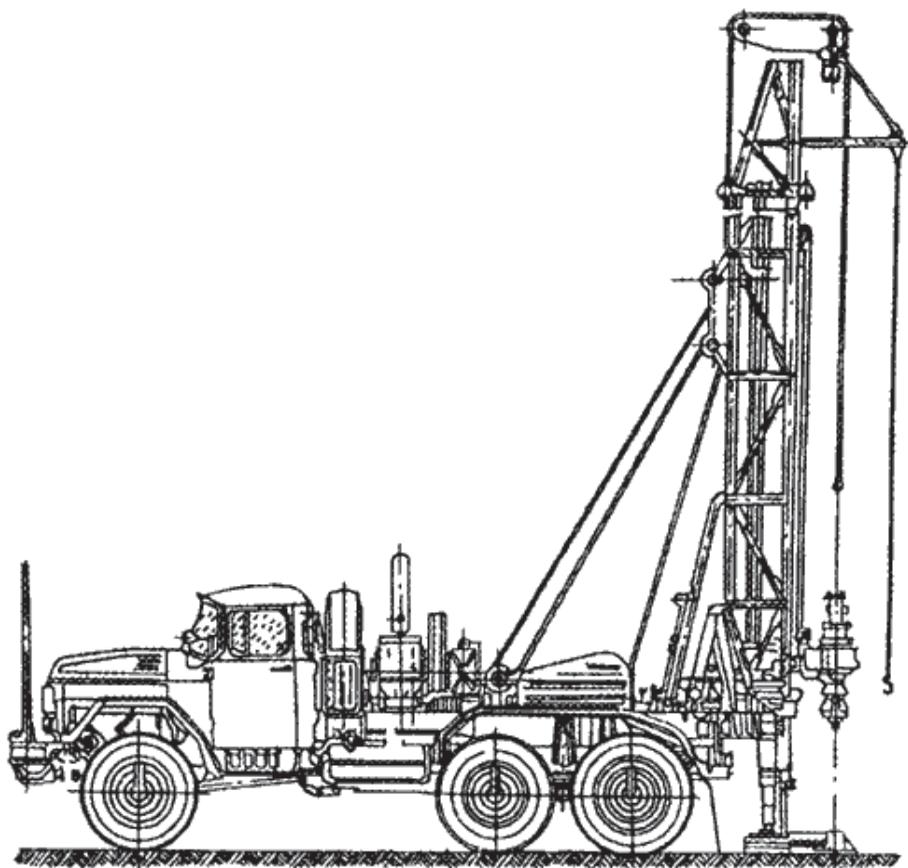


Рисунок 2.6 - Схема буровой установки УБР-12

Установка УРБ-3А3

Установки разведочного бурения типа УРБ-3А3 (рис. 2.8) монтируются на самоходное шасси типа МАЗ или самоходное шасси повышенной проходимости типа УРАЛ. Также встречаются варианты буровых установок на шасси КАМАЗ, КРАЗ и даже зарубежных производителей. Установки оснащены ротором.

Установка может бурить с промывкой при помощи буровых насосов, а также с продувкой забоя сжатым воздухом.

Так же установка оборудована устройством для свинчивания-развинчивания бурильных труб. Широкий диапазон скоростей на роторе и лебедке позволяет выбрать оптимальный режим бурения.

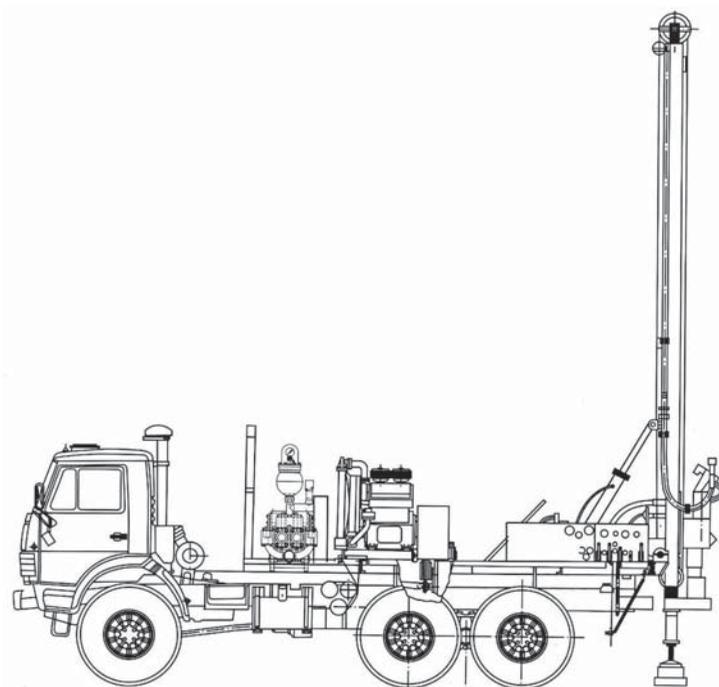


Рисунок 2.7 - Схема буровой установки УРБ-2А2

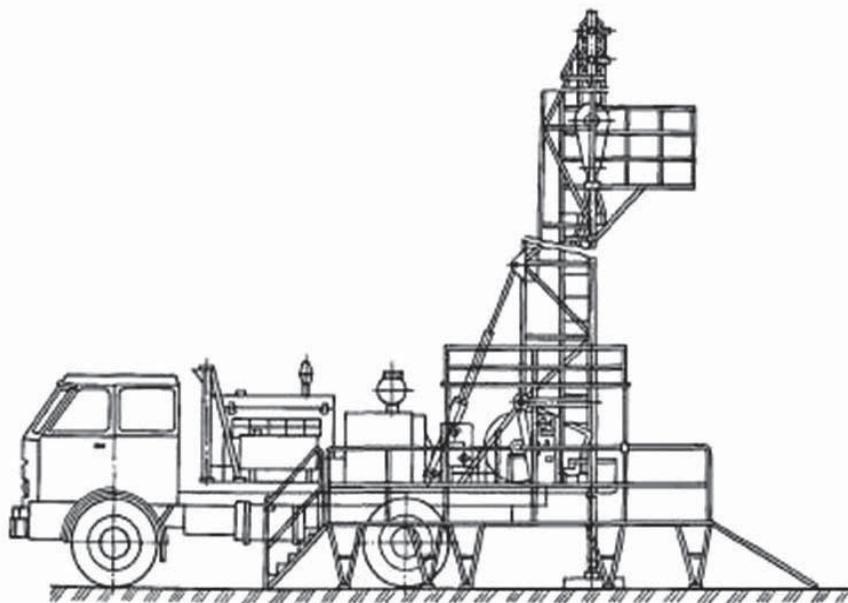


Рисунок 2.8 - Схема буровой установки УРБ-3А3

Установка 1БА-15В

Основное оборудование агрегата смонтировано на автоприцепах (рис. 2.9), что обеспечивает высокую маневренность и сокращает затраты времени на транспортировку и монтажно-демонтажные работы. Запас мощности и возможность привода любых механизмов от каждого из двух двигателей повышает надежность ведения буровых работ и сокращает аварийные простои. Широкий диапазон скоростей на лебедке и роторе позволяет успешно вести различные работы. Конструкция агрегата позволяет без затруднений применять бурильные и обсадные трубы длиной 12 м и обсаживать скважины без снятия ротора трубами диаметром до 360 мм. Пневматическое управление основными механизмами значительно повышает оперативность и облегчает труд бурильщика, наличие также ручного управления обеспечивает надежность управления.

Мощный компрессор, входящий в состав агрегата, позволяет без потерь времени производить с помощью эрлифта опытную откачку воды. Применение гидрораскрепителя и устройства для развинчивания бурильных труб диаметром 73 мм с помощью ротора облегчает и ускоряет выполнение спускоподъемных операций.

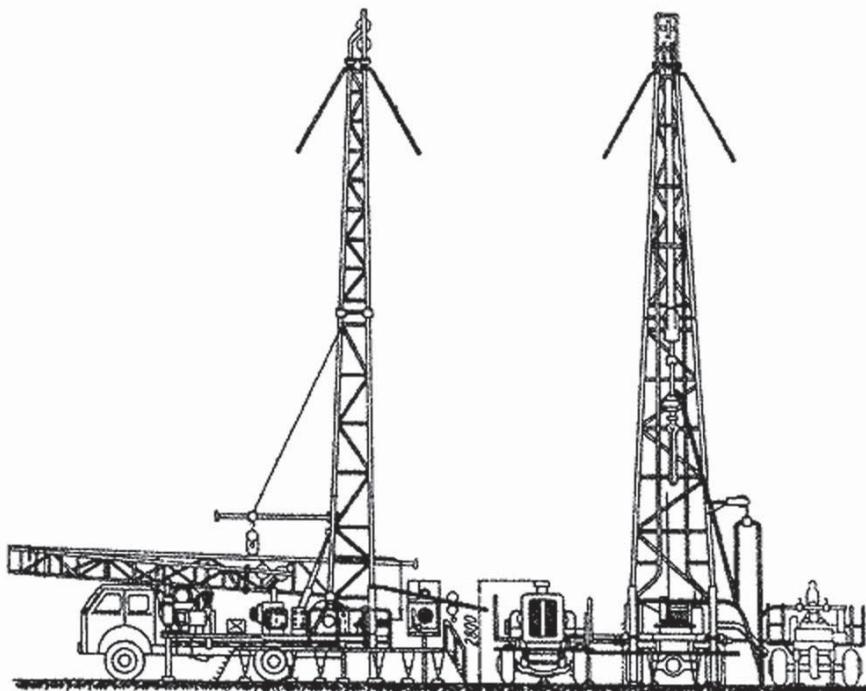


Рисунок 2.9 - Схема буровой установки 1БА-15В

Установка УБВ-600

Самоходная буровая установка УБВ-600 (рис. 2.10) состоит из следующих блоков: бурового (лебедочно-мачтового), насосного, роторного (рабочей площадки) и мостков с выдвигаемыми стеллажами для труб. Установка предназначена для вращательного бурения скважин шарошечными долотами с промывкой.

Насосный блок включает два буровых насоса 9МГр-61, компрессор КТ-7. Роторный блок включает буровой ротор Р-410, подсвечник, приспособление для забуривания шурфа и другое оборудование. В состав блока также входит устройство для свинчивания и развинчивания долота (под ротором).

Особенности буровой установки – большая приводная и гидравлическая мощность, возможность раздельного и одновременного съема мощности с двух двигателей, механизация трудоемких процессов при вспомогательных операциях, самоходность основных блоков и их компактность, позволяющие монтировать оборудование на небольших площадках.

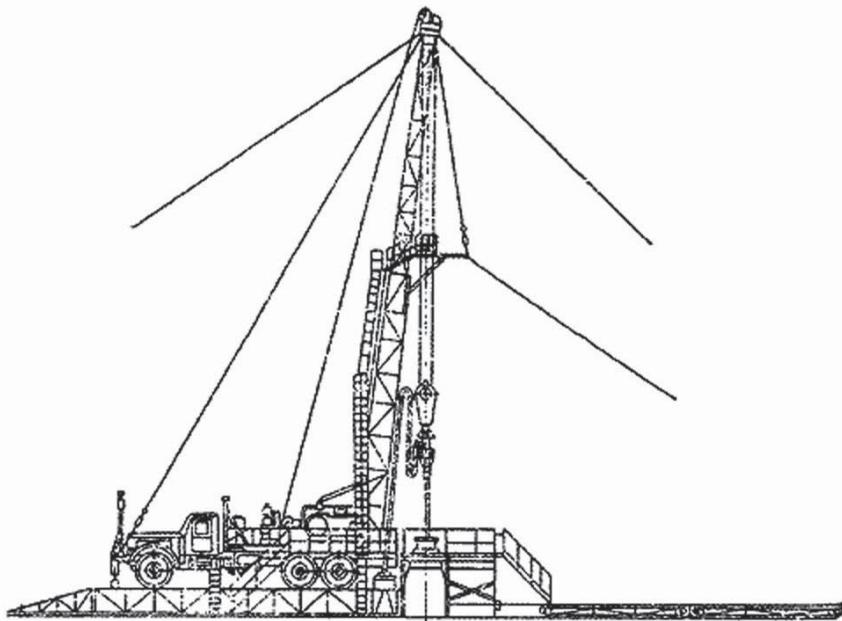


Рисунок 2.10 - Схема буровой установки УБВ-600

Для вращательного бурения с обратной промывкой созданы буровые установки роторного типа 1БА-15К и УРБ-ЗАМОП. Кроме того, ОАО "ГЕОМАШ" совместно с компанией ВИРТ (Германия) создали современную буровую установку УБГ-00, предназначенную для бурения как разведочных на твёрдые полезные ископаемые, так и гидрогеологических скважин. Установка

имеет подвижный вращатель с ходом подачи 7 метров. Глубина бурения составляет 600 м при начальном диаметре 600 мм и конечном 190 мм. Установка позволяет бурить практически в любых геологических условиях. Применяют, в зависимости от поставленной цели и состава горных пород, следующие способы бурения: вращательное колонковое и сплошным забоем с прямой, обратной промывкой и продувкой, шнековое, ударно-вращательное с применением забойных пневмо- и гидроударных машин.

2.3.2. Зарубежные буровые установки

В настоящее время по всему миру широкое распространение получили шведские установки фирмы Atlas Copco.

Технические характеристики зарубежных буровых установок представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Зарубежные самоходные буровые установки для вращательного бурения

Параметры	ТН5	ТН10	Т2W	Т3W		Т4W		RD20	
				40K	70K	50K	70K	II	III
Глубина бурения, м	100	300	450	530	1000	700	1000	1400	1550
Начальный диаметр бурения, мм			610	305	508	508		762	
Конечный диаметр бурения, мм			152	190		190		190	
Длина/ диаметр бурильных труб, мм	3/ 76	3(6,1)/ 89; 102	6,1/ 89; 102; 114	6,1/ 89; 114		7,6/ 89; 114		9,1/ 89; 114; 140	
Частота вращения, об/мин	0 – 100	0 – 100		105 – 145		105 – 145		105 – 145	
Компрессор									
Подача, м ³ /мин	*	до 35	до 20	25,4; 30,3		25,4; 30,3		35,4	
Давление, МПа		до 2,5	до 2,1	0,83 – 2,41		0,83 – 2,41		2,41	
Буровой насос									
Подача, л/мин	757	1135/ 568	**	1135		1135		**	
Давление, МПа	0,6	2,0		2,0		2,0			
Грузо-подъемность, кН		100	220	204	340	635		498	544

* Внешний компрессор.

** Буровой насос выбирается в зависимости от диаметра скважины и специфики бурения.

Установка TH5 (Atlas Copco).

Буровой модуль TH5 (рис. 2.11) с гидравлическим приводом представляет собой компактный, мобильный, сверхлёгкий бур для бурения скважин на воду, который идеально подходит для эксплуатации в условиях ограниченного пространства, при бурении скважин на воду в удаленных местах. TH5 устанавливается на лёгкие машины грузоподъёмностью от 3,5 до 3 тонн.



Рисунок 2.11 - Буровая установка TH5

Установка TH10 (Atlas Copco)

TH-10 (рис. 2.12) компании Atlas Copco – многоцелевой агрегат с гидравлическим приводом, спроектированный для пневматического/гидравлического вращения и бурения с погружным ударником. Этот лёгкий буровой модуль предназначен для монтажа на грузовике с подходящей грузоподъёмностью и прекрасно подходит для мобильного бурения скважин на воду.

Так же существует модификация данной установки TH10LM (с длинной мачтой).

Буровая установка TH10LM компании Atlas Copco позволяет использовать буровые трубы длиной 6 м. Установка идеально подходит для бурения скважин большой глубины, при бурении которых применение более длинных буровых труб позволяет повысить эффективность работы и сэкономить время.



Рисунок 2.12 - Буровая установка TH10

Установка T2W (Atlas Copco)

T2W (рис. 2.13) компании Atlas Copco – легковесный бур с приводом от двигателя грузовика, спроектированный для пневматических /гидравлических работ. При проектировании T2W компания Atlas Copco реализовала в конструкции больше функциональных возможностей, чем в любом другом агрегате этого класса, предоставив пользователю преимущества более дорогих и больших буровых установок. Установку отличает открытая рабочая площадка, превосходное управление скоростью подачи, а также исключительные ходовые качества независимо от типа дороги.

Станок T2W характеризуется гибкостью и надежной конструкцией, которая не изменялась за три поколения модели. Трехскоростной вращатель станка T2W развивает до 5000 Нм при 275 об/мин и более 16 000 Нм крутящего

момента при 80 об/мин. Компрессор установки может поставляться в различных комплектациях, включая компрессоры до 25 куб.м./мин при 24 бар. В сочетании с двигателем 500 л.с. (372 кВт) при давлении воздуха 62 бар, усилием на подъем 13 600 кг и вспомогательной лебедкой на 6800 кг, этот станок обладает множеством функций и может применяться как для бурения с продувкой так и буровым раствором.



Рисунок 2.13 - Буровая установка T2W

Карусель на 12 штанг с возможностью загрузки дополнительных штанг со стеллажа также на 12 штанг. Общая глубина бурения без дозагрузки составляет 145 метров. Карусель подводится под вращатель при помощи гидравлики. Карусель спроектирована для возможности дозагрузки буровых штанг в карусель со стеллажа, что позволяет оператору работать без помощника. Т.к. карусель подает штангу прямо под шпиндель, вращатель передвигается только в одном направлении, не мешая работе основной и вспомогательной лебедок, а также лебедки для коротажа скважины.

Буровая мачта трубчатой конструкции. Мачта легче, чем традиционные решетчатые мачты, обеспечивает высокую прочность и сопротивление линейному и скручивающему изгибанию и совместима с пневмударником, РС трубой и системами бурения и перемещения.

Установка Т3W (Atlas Copco)

Установка Т3W (рис. 2.14) спроектирована высокопрофессиональными специалистами по бурению на воду и оснащена эксплуатационной системой Cyclone, укомплектованной исключительно надежными компонентами, которые совершенствовались в буровом деле в течение 10 лет. Т3W является буровой установкой с гидравлическим верхним приводом и эксплуатируется при бурении скважин различного назначения с использованием пневмударника, вращательным способом с промывкой (продувкой). Буровая установка ТН60 аналогична по характеристикам Т3W, но имеет привод от двигателя грузовика. Т3W может поставляться в модульном исполнении и устанавливаться на шасси.



Рисунок 2.14 - Буровая установка Т3W

Установка Т4W (Atlas Copco)

Т4W (рис. 2.15) отличают улучшенные характеристики для бурения скважин на воду. Стандартные и дополнительные функциональные возможности обеспечивают для пользователей повышенную производительность и надежность. Буровая установка Т4W предназначена для бурения скважин в особо тяжелых условиях, изготовлена из очень прочных конструктивных элементов, что позволяет считать ее в отрасли наиболее надежной. Т4W смонтирована на самоходном грузовике с колесной формулой 6×4. Установку отличает мощная мачта, которая имеет возможность удлинения для использования соответствующих обсадных труб, и износостойкая цепная подача бурового става для использования в сложных условиях.



Рисунок 2.15 - Буровая установка Т4W

Установка RD20 (Atlas Copco)

Буровая установка RD20 (рис. 2.16) с приводом от палубного двигателя смонтирована на шасси и предназначена для бурения скважин на воду, нефть и газ. Эта мобильная буровая установка требует меньшее время подготовки на месте эксплуатации, меньший размер площадки. Установка не требует большого количества персонала. Основой RD20 является запатентованная система подачи вращателя.

Система подачи исключает необходимость в талевом блоке и роликах кронблока, которые можно найти на сопоставимом оборудовании, что значительно упрощает конструкцию мачты, так как нагрузку воспринимает только нижняя ее часть. Подающая каретка RD20 поднимается и опускается двумя расположенными в буровой мачте цилиндрами. Система подачи каретки RD20 обеспечивает высокое значение общего коэффициента полезного действия.



Рисунок 2.16 - Установка RD20

2.4. Геолого-технический наряд и план-график сооружения скважины

После проектирования конструкции скважины и выбора подходящей буровой установки составляются геолого-технический наряд на бурение скважины (рис. 2.17) и план-график её сооружения (табл. 2.3).

Таблица 4.3 - План-график сооружения водозаборной скважины глубиной 400 м

Наименование работ	20__ г.						20__ г.									
	Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Обсуждение и подписание договора на сооружение скважины	■															
Составление проектно-сметной документации, получение разрешения на бурение		■	■	■	■	■										
Бурение скважины, в том числе подготовительные работы							■	■	■	■	■	■				
Вскрытие и освоение водоносного горизонта											■	■				
Обвязка скважины, установка водоподъемного оборудования												■	■	■		
Сдача скважины заказчику															■	■

Организация _____
 Проектная глубина скважины, м _____
 Скважина начала _____
 Скважина окончена _____
 Скважина сдана в эксплуатацию с дебитом, м³/ч _____
 Буровая устновка _____
 Буровой насос _____
 Бурильные трубы _____
 УБТ _____

Технологическая карта (ТН) на сооружение скважины

№	Геологическая часть					Техническая часть												
	Геологический разрез, (колонна)	Порода (краткая характеристика)	Мощность слоя, м			Категория пород по бумности	Статический уровень (от поверхности), м	Понижение при откачке, м	Конструкция скважины	Тип, диаметр породапроявляющего инструмента, мм	Осевая нагрузка, кН	Режимы бурения			Вид очистного агента	Обработка реагентами	Тампонирующее, параметры смеси	Примечания
от			до	всего	Частота вращения, об/мин							Расход очистного агента л/мин						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	

Рисунок 2.17 - Геолого-технический наряд на бурение скважины

ГЛАВА 3

СПОСОБЫ ВСКРЫТИЯ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ

3.1. Классификация способов вскрытия пластов

Основной задачей при бурении гидрогеологических скважин является определение параметров водоносного горизонта при разведочном бурении и достижение проектного дебита и максимального срока службы при эксплуатационном бурении. Решение этих задач невозможно без качественного вскрытия и освоения водоносных горизонтов.

От качества вскрытия водоносных горизонтов зависит, в конечном счете, дебит скважин. Вопросы качественного вскрытия водоносных горизонтов являются главными, определяющими во всей технологии сооружения скважин на воду.

Выбор и применение рационального способа вскрытия и освоения водоносных горизонтов при сооружении гидрогеологических скважин является одной из важнейших проблем современной техники и технологии бурения. Качество вскрытия в основном определяется способом бурения по водоносному горизонту и типом промывочной жидкости, применяемой при вскрытии.

Вскрытие водоносных горизонтов осуществляется в основном вращательным способом. Вращательный способ является наиболее распространенным и занимает в общем объеме работ более 80 %.

Технология вскрытия водоносных горизонтов должна детально разрабатываться для каждого района с учетом его гидрогеологических условий. При этом необходимо учитывать гидродинамическую характеристику водоносного горизонта, глубину его залегания, параметры водоприемной части скважины. Правильный выбор технологи вскрытия будет способствовать обеспечению минимальных затрат времени на освоение скважин.

На выбор способа вскрытия водоносных горизонтов влияют гидрогеологические характеристики пласта:

- гранулометрический состав, проницаемость и устойчивость пород;
- интенсивность водопроявлений;
- глубина залегания;
- проектный дебит.

В свою очередь породы, слагающие пласты, делят на:

- неустойчивые породы с пористым (рыхлым) коллектором;
- слабоустойчивые породы с пористо-трещинным коллектором;
- устойчивые породы с коллектором трещинно-жильного типа.

Способ вскрытия должен оказывать минимальное кольматирующее влияние на водоносный пласт, т.е. сохранять его естественную проницаемость. В то же время, технология вскрытия должна позволять оборудовать водоприемную часть скважины. В неустойчивых и слабоустойчивых породах

это требование заключается в предотвращении их обрушения в период монтажа фильтра.

В зависимости от указанных параметров разработана классификация рациональных способов вскрытия водоносных пластов. Один из основных классификационных принципов – степень устойчивости стенок скважины при ее заполнении водой до устья, т.е. при различных соотношениях гидростатического и пластового давления.

В зависимости от устойчивости стенок и интенсивности водопроявлений применяются следующие способы вскрытия водоносных горизонтов:

1) *Ударно-канатный способ*

Рекомендуется при глубине залегания горизонта 100 – 150 м, катастрофическом поглощении промывочной жидкости и в случае, если вскрываемые пласты неустойчивы в стенках скважины. Для предотвращения обрушения пласта последний чаще всего перекрывается опережающей вспомогательной колонной, под защитой которой устанавливается фильтр. Затем вспомогательная колонна извлекается, обнажая фильтр. При бурении песчано-глинистых пород с применением «тиксотропной рубашки» [101 – 103] пласт вскрывается фильтровой колонной с конусным башмаком-расширителем. Так же возможно вскрытие открытым забоем, без крепления.

2) *Вращательный способ*

- с прямой промывкой (техническая вода, глинистый раствор, азрированные растворы, меловые растворы и др.);

- с обратной промывкой;

- с продувкой (в том числе с применением пневмоударников).

3) *Гидровыв фильтра*

- с применением гидравлического расширителя;

- с применением гидронасадки.

4) *Разработка каверны для бесфильтровой скважины эрлифтом или другими техническими средствами*

- с заполнением каверны гравием;

- без заполнения каверны гравием.

Поскольку на качество вскрытия и освоения водоносных горизонтов существенное влияние оказывают промывочные жидкости, рассмотрим наиболее распространенные из них.

3.2. Вскрытие водоносных горизонтов с прямой промывкой водой

Начиная с 1960 г., по рекомендации Д.Н. Башкатова и Г.П. Квашнина, для вскрытия водоносных горизонтов, представленных песками, в качестве промывочной жидкости начали применять техническую воду. Основными преимуществами использования воды является предотвращение загрязнения водоносного горизонта, сведение кольтматации к минимуму, возможность проведения качественного опробования, увеличение дебита скважин, удешевление стоимости работ. Однако применение воды в качестве

промывочной жидкости имеет и недостатки. Так, в связи с недостаточным гидростатическим давлением, возможен обвал стенок скважин, прихват бурового инструмента; для достаточного водообеспечения необходимо наличие достаточного количества воды. В более сложных условиях (статический уровень выше 3 м, коэффициент фильтрации более 20 м/сут) данная технология сооружения скважин оказалась неприемлемой из-за невозможности обеспечения устойчивости стенок скважин. Было установлено, что во всех случаях увеличение частоты вращения бурового снаряда свыше 110 об/мин. приводит к осложнениям в скважинах, возрастает вероятность обвалов их стенок, увеличивается расход промывочной жидкости. Все это в целом вызывает определенные трудности при использовании воды в качестве промывочной жидкости.

При вскрытии неустойчивых водоносных горизонтов с промывкой водой следует рассматривать гидродинамическую систему водоносный горизонт – скважина.

Практические наблюдения и производственный опыт показывают, что при вскрытии водоносного горизонта, представленного различными песками, с промывкой чистой водой интенсивность удельного водопоглощения в десятки раз меньше, чем при откачке воды из скважины.

Интенсивность водопоглощения зависит от избыточного давления на водоносный горизонт, его водопроницаемости, режима бурения, интенсивности гидродинамических воздействий на водоносный горизонт в процессе спускоподъемных операций и степени механической коагуляции шламом пор водоносного горизонта, вскрытого скважиной.

Технологические операции по вскрытию водоносного горизонта с прямой промывкой технической водой и формированию водопримной части скважины показаны на рис. 3.1.

3.3. Вскрытие водоносных горизонтов глинистыми, специальными растворами и воздухом

В последнее время преобладающим среди других промывочных жидкостей является глинистый раствор. Ведущую роль обеспечивает ему, прежде всего, возможность сооружения скважин большой глубины, вскрытия водоносных горизонтов с коэффициентом фильтрации более 20 м/сут, проведения комплекса каротажных работ, его высокая транспортирующая способность, обеспечение устойчивости стенок скважины и целый ряд других достоинств. В то же время, применение глинистого раствора в качестве промывочной жидкости имеет и недостатки. Существенным недостатком является глинизация водоносного горизонта и самого фильтра.

Способ вскрытия водоносных горизонтов вращательным бурением с прямой промывкой глинистым раствором применяют для вскрытия напорных водоносных горизонтов, в том числе и с самоизливом, а также в скважинах с

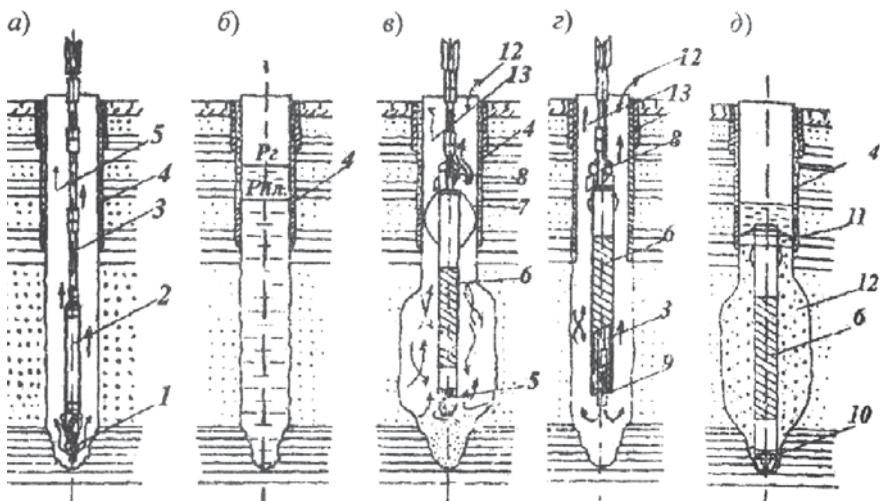


Рисунок 3.1 - Технологические операции по вскрытию водоносного горизонта с прямой промывкой технической водой

Технологическая схема вскрытия водоносного пласта и его освоения с прямой промывкой технической водой: а) вскрытие водоносного пласта с прямой промывкой технической водой; б) поддержание избыточного гидростатического давления воды на пласт доливом при подготовке скважины к установке фильтра; в) опускание фильтровой колонны в скважину с помощью гидравлического турбинного расширителя; г) опускание фильтровой колонны в скважину без размыва каверны; д) скважина с оборудованной водоприемной частью, готовая к эксплуатации: 1 - ступенчатое лопастное долото в комплекте с расширителем; 2 - утяжеленные бурильные трубы; 3 - бурильные трубы; 4 - эксплуатационная колонна; 5 - гидротурбореактивный расширитель на переводнике с левой резьбой; 6 - рабочая часть фильтра скважины; 7 - центрирующие фонари; 8 - резиновый разжимной сальник - крышка фильтра сжатым виде; 9 - переводник с левой резьбой и обратным клапаном; 10 - обратный клапан с левой резьбой; 11 - сальник разжимной в рабочем состоянии; 12 - направление движения гравия при обыске фильтра с одновременной промывкой зафильтрового пространства; 13 - направление движения промывочной воды

поглощением. Глинистый раствор, применяемый для вскрытия водоносных горизонтов, должен отвечать следующим требованиям:

- 1) минимально проникать в водоносный горизонт во время его вскрытия бурением;
- 2) легко извлекаться из пор и трещин водоносного горизонта после вскрытия и оборудования водоприемной части скважины;
- 3) не вступать в реакцию с породами водоносного горизонта и насыщать его водой;
- 4) не образовывать осадков, закупоривающих поры водоносного горизонта
- 5) не изменять свои свойства при изменении температуры и давления.

В качестве глинистого раствора чаще всего используют естественный раствор, образующийся в процессе проходки скважины по глинистым породам.

В естественный глинистый раствор с целью улучшения его качества добавляют различные химические реагенты. Степень кольматации водоносного горизонта в значительной мере зависит от перепада давления в системе скважина – водоносный горизонт. Перепадом давления, а значит и степенью кольматации водоносного пласта, можно управлять путем применения аэрированных растворов. Положительным качеством аэрированных растворов является снижение их плотности до $0,7 - 0,8 \text{ г/см}^3$. Благодаря этому, значительно снижается кольматация и облегчается процесс освоения гидрогеологических скважин. Опыт применения аэрированных растворов показал их высокую эффективность. Отрицательным моментом при этом является невозможность применения аэрированного раствора в скважинах, представленных рыхлыми, неустойчивыми отложениями.

Большой интерес представляет применение так называемых самораспадающихся растворов на основе модифицированного крахмала, добавляемого в воду в количестве $4 - 5 \%$ по весу.

В Белоруссии осуществляется успешное применение безглинистых растворов на основе КМЦ для вскрытия водоносных горизонтов. На 1 м^3 раствора используется $7 - 10 \text{ кг}$ КМЦ, кроме того, раствор обрабатывается углекислым реагентом (УЩР) в количестве $80 - 100 \text{ кг}$ и мелом. При применении этих растворов увеличивается удельный дебит скважины и уменьшается время разглинизации, однако, стоимость 1 м^3 такого раствора довольно высокая. При уменьшении стоимости безглинистого раствора, последний несомненно получит широкое распространение.

Существует метод с использованием меловых растворов при бурении скважин на воду с последующим восстановлением проницаемости прифильтровой зоны обработкой раствором соляной кислоты. Здесь используется естественная способность карбонатов растворяться в соляной кислоте. Недостатком применения меловых растворов является большая стоимость буровых работ за счет сложной рецептуры раствора и необходимость проведения дорогостоящих и сложных работ по кислотной обработке.

Внедрен способ вскрытия водоносных горизонтов с прямой промывкой водогипановыми растворами. При бурении с водогипановым раствором дебиты скважин выше дебитов скважин пробуренных с применением глинистого раствора. Доказана возможность сооружения скважин на воду диаметром до 243 мм в рыхлых неустойчивых отложениях при высоких коэффициентах фильтрации.

Водогипановые растворы создают на стенках скважин эластичную корку, которая предотвращает фильтрацию раствора в водоносный горизонт и его кольматацию. При выполнении разглинизации корка быстро разрушается, затраты времени на эту операцию минимальные. За счет увеличения вязкости водогипановых растворов улучшается выносная способность.

Для приготовления водогипановых растворов применяется товарный гипан-0,7 и гипан-1. Водогипановые растворы имеют более низкие температуры замерзания. В последнее время распространение получают трехкомпонентные растворы: вода-глина-гипан. Однако применение

водогипановых растворов не всегда дает положительный результат. Одной из причин, вызывающих снижение удельных дебитов скважин, является кольматирующее воздействие водогипанового раствора, обусловленное его способностью коагулировать в присутствии ионов поливалентных металлов. При коагуляции образуется эластичный гель, механически закупоривающий поровое пространство. Особенно значительным коагулирующим действием обладают катионы Fe^{2+} и Fe^{3+} , а также катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Вскрытие водоносных горизонтов с продувкой воздухом применяется в определенных геологических условиях.

К преимуществам этого способа вскрытия водоносных горизонтов следует отнести:

- 1) увеличение механической скорости бурения;
- 2) снижение стоимости бурения скважины;
- 3) повышение достоверности геологической документации в интервалах с плохим выходом керна;
- 4) возможность качественного испытания водоносных горизонтов с низким пластовым напором;
- 5) эффективность применения в зоне мерзлых и легко размываемых пород;
- 6) обеспечение нормальных условий бурения при вскрытии трещиноватых и разрушенных пород, в которых происходит катастрофическое поглощение промывочной жидкости;
- 7) создание более благоприятных условий для бурения скважин в безводных районах и местах, труднодоступных для доставки воды.

Компрессор должен обеспечивать получение в кольцевом пространстве между стенками скважины и бурильными трубами оптимальной скорости воздушного потока, составляющей 16 – 20 м/с.

Вскрытие водоносных горизонтов с продувкой сжатым воздухом возможно при условии $P_{гс} < 0,8P_k$, где P_k – давление, развиваемое компрессором; $P_{гс}$ – гидростатическое давление.

Практикой установлено, что вскрытие с продувкой сжатым воздухом успешно осуществляется при водопитоках до 3 л/с. Применение воздуха рекомендуется для вскрытия водоносных горизонтов, представленных устойчивыми трещиноватыми или пористыми породами. Диаметр скважин не должен превышать 243 мм, а глубина 60 – 100 м в зависимости от марки компрессора.

Вскрывать водоносные горизонты с продувкой в слабоустойчивых породах или породах, сложенных сланцами, шлам которых может слипаться при смачивании, не рекомендуется, так как это приводит к осыпанию стенок скважины, обвалам, сальникообразованию и кавернообразованию и, в конечном счете, к авариям. Уменьшить сальникообразование можно за счет применения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Эффективность ПАВ неодинакова и зависит как от природы ПАВ, так и от адсорбционной способности шлама. Наибольшей адсорбционной способностью обладает шлам глин.

При вскрытии водоносных горизонтов с продувкой воздухом одновременно происходит и их освоение. Дебиты скважин, водоносный пласт

которых вскрывается с продувкой воздухом, выше, чем дебиты скважин, вскрытых ударно-канатным способом или с промывкой водой [90].

3.4. Вскрытие водоносных горизонтов с применением газожидкостных смесей (ГЖС) и тампонируание скважин в условиях низких пластовых давлений

Использование ГЖС в качестве очистного агента при бурении скважин на воду наиболее эффективно в условиях катастрофических поглощений, при низких пластовых давлениях, при бурении в трещиноватых, но устойчивых породах, при сооружении скважин в многолетнемёрзлых породах. Использование ГЖС обеспечивает проведение углубки скважины на депрессии, в условиях отрицательных значений дифференциального давления, что ведет к увеличению механической скорости бурения. Максимальная по отношению к иным видам очистных агентов транспортирующая способность пенных ГЖС (ПГЖС) [26, 80, 115, 118] обеспечивает наиболее полное удаление продуктов разрушения из ствола скважины. Стабильность структурных свойств и низкое давление пен препятствуют их поглощению при разбурировании сильнотрещиноватых, пористых и кавернозных пород.

В работе [118] изложены теоретические обоснования по созданию модели транспортирования шлама в горизонтальной скважине, однако, в этой статье следовало бы учесть то обстоятельство, что в отличие от жидкостей и газов, частицы бурового шлама без проскальзывания выносятся потоком ПГЖС. При этом эффективность транспортирования шлама по стволу горизонтальной скважины определяется скоростью течения ПГЖС, касательными напряжениями при ее деформации и физико-механическими процессами на границе раздела - твердое тело – жидкая фаза несущей среды.

В работе [80] предложена рабочая гипотеза, в соответствии с которой ПГЖС уподобляется бингамовской жидкости. Это позволяет считать, что по аналогии с законом трения Бингама, сопротивление, возникающее при относительном движении частицы в потоке ПГЖС, можно считать величиной аддитивной: сопротивления складываются из вязких (ньютоновских) сопротивлений, определяемых как и в ньютоновских жидкостях, и пластических (бингамовских) сопротивлений (сопротивлений сдвига), вызванных начальными касательными напряжениями и физико-химическими силами между жидкой фазой ПГЖС и частицами шлама. Вязкие сопротивления – это сила лобового сопротивления, а сдвигающие – это суммарная сила T , возникающая от действия внутреннего трения и физико-химических сил.

При расчете параметров потока ПГЖС необходимо определить величину критической скорости выноса частиц шлама применительно к заданным параметрам этого потока по формуле [80]:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2\mu_r R_r T}{d_o P} \sqrt{\frac{Ar - 6\alpha * He}{3C}} \quad (3.1)$$

где: R_f – параметр ПГЖС; $\mu_f = 0,01$ Па·с – пластическая вязкость; $d_\theta = 0,005$ м – диаметр частицы шлама; Ar – число Архимеда; He – число Хедстрёма; C – коэффициент лобового сопротивления шлама при движении в ПГЖС.

С целью анализа процесса промывки скважины ПГЖС для принятых исходных условий (выбранных численных значений величин) были рассчитаны значения критической скорости потока ПГЖС.

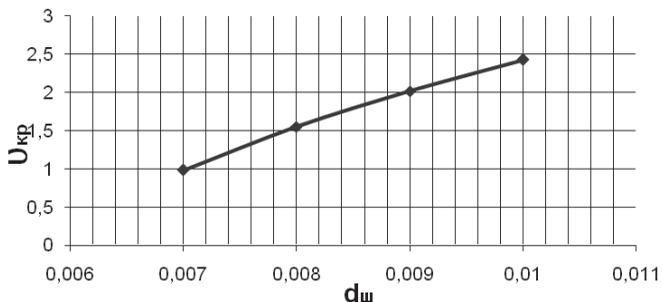


Рисунок3.2 - Зависимость критической скорости ($\nu_{\hat{\epsilon}\delta}$) от диаметра частиц шлама (d_θ)

По расчетным данным построен график (рис. 3.2) зависимости критической скорости потока ПГЖС ($\nu_{\hat{\epsilon}\delta}$) от диаметра частиц шлама (d_θ). Для оценки степени влияния давления в скважине на критическую скорость потока ПГЖС выполнены расчеты ее значений в диапазоне изменения давления от $1 \cdot 10^5$ до $7 \cdot 10^5$ Па при принятых значениях других параметров.

Результаты этих расчетов представлены в виде графика зависимости критической скорости потока ПГЖС ($\nu_{\hat{\epsilon}\delta}$) от давления в скважине (P) (рис. 3.3)

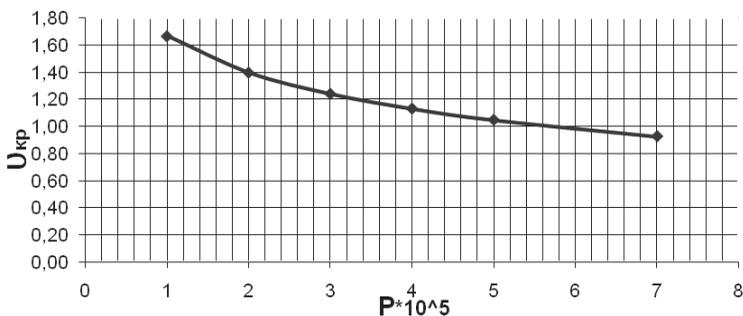


Рисунок3.3 - Зависимость критической скорости ($\nu_{кр}$) от диаметра частиц шлама (d_m)

Важнейшим параметром ПГЖС является объемная доля газа (φ), определяющая величину гидростатического давления столба ПГЖС в скважине и её реологические свойства. Для заданных нами условий выполнены расчеты по определению значений критической скорости в зависимости от величины объемной доли газа (φ) в ПГЖС.

Результаты этих расчетов приведены в виде зависимости критической скорости потока ГЖС ($v_{кр}$) от объемной доли газа (φ) (рис.3.4).

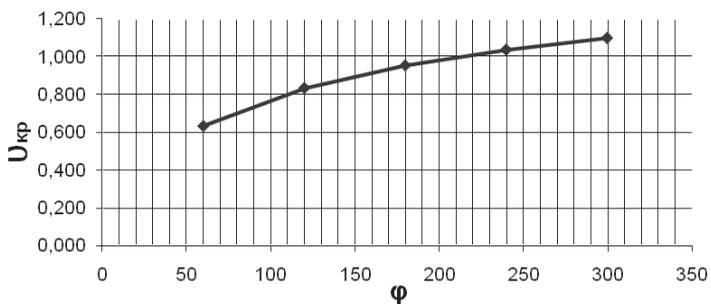


Рисунок 3.4 - Зависимость критической скорости потока ПГЖС ($v_{кр}$) от объемной доли газа (φ)

Бурение скважин и вскрытие пластов, вызов притока флюидов и освоение продуктивных коллекторов на депрессии является основным условием сохранения их естественной проницаемости и высоких значений коэффициента продуктивности. При бурении и вскрытии пластов происходит снижение фильтрационных свойств продуктивных горизонтов по многим причинам, главные из которых:

- поглощение технологической жидкости в случае превышения гидростатического давления над пластовым флюидом;
- коагуляция пород и микротрещин пород продуктивного пласта частицами твердой фазы, находящейся в составе буровых технологических растворов;
- образование нерастворимых осадков в прискважинной части продуктивного пласта при контакте технологических растворов с пластовыми флюидами;
- набухание глиносодержащих горных пород при воздействии на них водной фазы буровых растворов;
- изменение фазовой проницаемости компонентов пластовых флюидов при взаимодействии с технологическими растворами;
- чрезмерное проникновение фильтрата технологических жидкостей в глубину продуктивного пласта;
- изменение прочностных характеристик горных пород при вскрытии их скважинами за счет снижения градиента давления поглощения этих пород.

Основным технологическим мероприятием устранения этих причин ухудшения фильтрационных свойств продуктивных коллекторов является выполнение основных технологических процессов при бурении и освоении этих коллекторов в режиме депрессии, характеризующемся уменьшенным значением гидростатического давления по отношению к пластовому.

Проанализированные выше причины снижения фильтрационных свойств продуктивных коллекторов усугубляются значительным снижением пластового давления по мере эксплуатации подземных вод, что влечет за собой снижение дебитов, приводит к неустойчивому режиму работы скважин и т.д.

Исследования показали, что сохранить естественную проницаемость продуктивных пластов возможно за счет использования при выполнении основных технологических процессов режима равновесия или депрессии в системе скважина – пласт.

Для освоения скважин и вызова притока флюидов из пласта применяются следующие способы снижения противодействия на продуктивный коллектор:

1. Уменьшение плотности жидкости, заполняющей скважину.
2. Снижение уровня жидкости в скважине, а, следовательно, и гидростатического давления.
3. Снижение забойного давления после предварительного воздействия на продуктивный пласт.

Наиболее часто применяется способ снижения противодействия на продуктивный пласт при вызове притока флюида за счет замещения жидкости в эксплуатационной колонне газожидкостной смесью, имеющей более низкую и регулируемую плотность. При вызове притока этим способом жидкость с большей плотностью замещается газожидкостной смесью (ГЖС) по мере поступления через затрубное пространство в эксплуатационную колонну (насосно-компрессорные трубы) воздуха (при бурении на нефть – инертного газа – азота). При попадании ГЖС в насосно-компрессорные трубы (НКТ) начинает снижаться гидростатическое давление на забое, и в случае достижения величины этого давления меньше пластового создается условие депрессии, что вызывает приток флюида из пласта.

В соответствии с принятой расчетной схемой максимальное давление на устье будет в тот момент, когда легкая жидкость (ПГЖС) достигнет забоя, а тяжелая – будет вытеснена в НКТ. Это условие запишется в виде:

$$P_{\max} = \rho_{\text{т.жс}} \cdot g \cdot H - \rho_{\text{л.жс}} \cdot g \cdot H + \Delta P_{\text{тр}} \quad (3.2)$$

где: H – длина НКТ; $\rho_{\text{т.жс}}$ – плотность замещающей тяжелой жидкости; $\rho_{\text{л.жс}}$ – плотность легкой жидкости (ПГЖС); $\Delta P_{\text{тр}}$ – потери давления на преодоление сопротивлений при трении жидкостей в затрубном пространстве и внутри НКТ.

Приравняв давление по формуле (3.2) пластовому и проведя ряд подстановок и преобразований, получим формулу для расчета объема легкой жидкости, соответствующего условию равенства давлений гидростатического и пластового:

$$V_{ГЖС} = S \cdot H + S_{КТ} \cdot \left[\frac{P_{ПД} - \Delta P_{мп} - h_{пл} \cdot \rho_{м.эс.}}{g} \right] \cdot \frac{g}{\rho_{л.эс.} - \rho_{м.эс.}} \quad (3.3)$$

где: S – площадь кольцевого зазора между эксплуатационной трубой и НКТ;
 $S_{КТ}$ – площадь канала насосно-компрессорных труб.

Выполненные расчеты при различных значениях пластового давления позволили построить графики зависимости объема ПГЖС ($V_{ГЖС}$) от величины плотности легкой жидкости (ПГЖС), которые приведены на рис. 3.5.

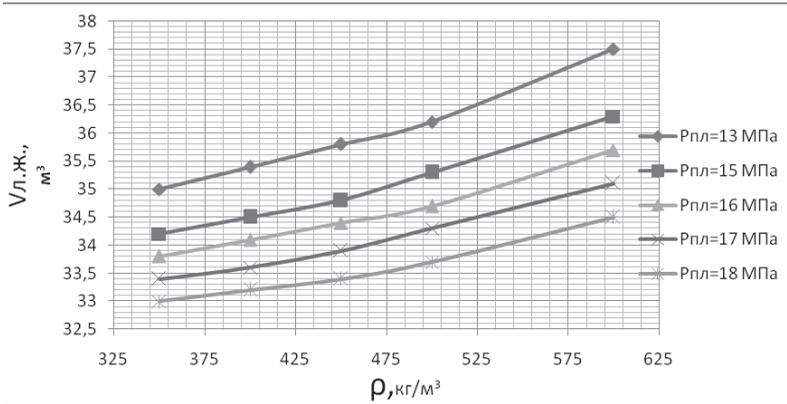


Рисунок 3.5 - Зависимость объема легкой жидкости ($V_{ГЖС}$) от ее плотности ($\rho_{л.эс.}$) при различных значениях пластового давления

Из графиков, приведенных на рис. 3.5, видно, что увеличение плотности легкой жидкости необходимо согласовывать с объемом эксплуатационной колонны для исключения выброса флюидов из скважины.

Важным технологическим параметром, обеспечивающим успешную реализацию режима депрессии при вызове притока флюидов из пласта является плотность ПГЖС ($\rho_{л.эс.}$). Для указанных выше условий были проведены преобразования и получена формула для расчета проектного значения плотности этой ПГЖС при вызове притока на депрессию:

$$\rho_{ГЖС}^* = \frac{P_{ПД} - \Delta P_{ПД}^*}{g \cdot H} - \frac{h_{ПД} \cdot \rho_{м.эс.}^*}{H} + \rho_{м.эс.}^* \quad (3.4)$$

Для заданных значений пластового давления и некоторой глубины скважины рассчитаны по формуле (3.4) значения плотности ПГЖС, обеспечивающие вызов притока пластового флюида на депрессию. Эти данные приведены на рис. 3.6.

Из графиков на рис. 3.6 видно, что, например, для снижения пластового давления с 19 до 15 МПа необходимо уменьшать плотность ПГЖС ($\rho_{ГЖС}$) с 800 до 600 кг/см³.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение основных параметров ПГЖС, используемой для создания режима депрессии при освоении продуктивных пластов. Кроме того, необходимо проводить корректировку рациональных значений концентрации ПАВ-пенообразователей в зависимости от состава тяжелой жидкости и пластовых флюидов. Эти направления являются предметом дальнейших исследований.

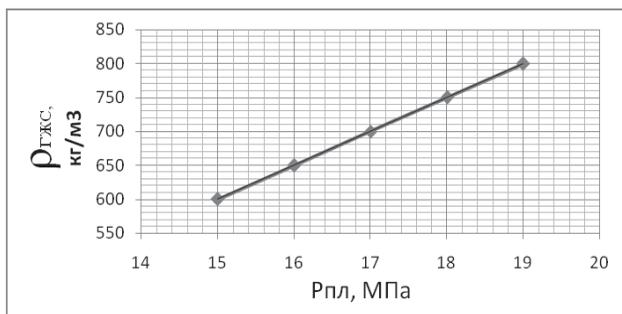


Рисунок 3.6 - Зависимость плотности ГЖС ($\rho_{ГЖС}$) от величины пластового давления ($P_{пл}$) для создания режима депрессии

При проведении технологического процесса тампонирувания скважин в пределах продуктивного коллектора, имеющего anomalно низкое пластовое давление, в состав цементного раствора необходимо вводить тонкодиспергированные частицы минеральных веществ, являющихся дополнительными центрами кристаллизации цементного камня, что обеспечивает ускорение схватывания таких растворов, а также способствует уменьшению их плотности, что необходимо для создания депрессии на продуктивный углеводородный коллектор. Такими веществами минерального происхождения являются глина, карбонатные породы, гипс, ангидрит, кварцевый песок, трепел, опоки и др. В качестве облегчающих добавок могут применяться тонкоизмельченные материалы, имеющие вулканическое происхождение: перлит, пемзы, туфы и др.

Рекомендуемая методика расчета предусматривает определение параметров облегченной тампонажной смеси с минеральными и другого происхождения добавками на первом этапе, и расчетом параметров аэрированной тампонажной смеси на втором.

Для расчета параметров облегченного тампонажного раствора можно использовать методику, изложенную в работе [26] на примере смесей сложного состава, в которых соотношение между сухими и жидкими компонентами задаются произвольно, или исходя из экспериментальных данных, по их

количественному содержанию. В этом случае, если имеются апробированные экспериментальные данные по соотношению заданных сухих и жидких компонентов, то они используются для получения тампонажных растворов с необходимыми технологическими свойствами. Для случая приготовления глиноцементного раствора исходное уравнение баланса масс можно записать в виде:

$$m_u + m_{ii} + m_e = \rho_{m.p} \cdot (V_u + V_{ii} + V_e) \quad (3.5)$$

где $m_{\hat{o}}$ – масса цемента, $m_{\hat{o}} = 1$ т; m_{ii} – масса i-го наполнителя, т; $m_{\hat{a}}$ – масса воды, т; $\rho_{\hat{o}.\hat{o}}$ – плотность тампонажного раствора, т/м³; $V_{\hat{o}}, V_{ii}, V_{\hat{a}}$ – объем цемента, i-го наполнителя и воды соответственно, м³.

Введя ряд обозначений и параметров, таких как в работе [81] ($\hat{E}_{\hat{o}}$ – количество воды, необходимое для получения цементного раствора с той же растекаемостью ($P = 18$ см), что и глиноцементного, м³/т; $\hat{E}_{\hat{a}}$ – водопотребность глинопорошка при затворении, $K_{\hat{a}} = 2,2 \div 1,4$ м³/т) и проведя преобразования, была получена формула для определения количества глины, необходимой для приготовления глиноцементного раствора плотностью $\rho_{m.p}$ из цемента массой $m_{\hat{o}} = 1$ т, в виде

$$m_z = \frac{\frac{\rho_{m.p} + K_u \cdot \rho_{m.p} - K_u - 1}{\rho_u} - \frac{\rho_z \cdot \rho_{m.p}}{1 + K_z} - \frac{K_z \cdot \rho_{m.p}}{\rho_e}}{\rho_z - \frac{K_z \cdot \rho_{m.p}}{\rho_e}} \quad (3.6)$$

На основе расчетных данных построен график зависимости количества глины, необходимой для получения глиноцементного раствора плотностью $\rho_{m.p} = 1,55$ т/м³ при различных значениях водопотребности глины K_z (рис. 3.7)

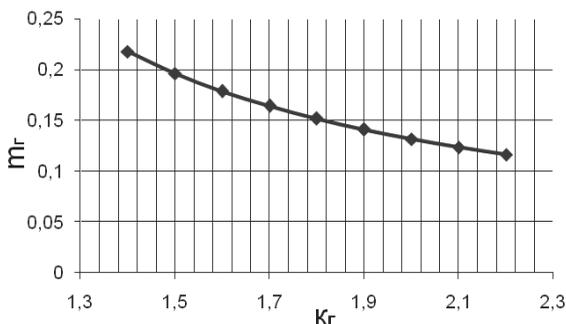


Рисунок 3.7 - Зависимость массы глины (m_z) от её водопотребности (K_z)

Выполненные технологические расчеты параметров глиноцементного раствора при фиксированных значениях водопотребности глины $\hat{E}_{\hat{a}}=1,7; 1,9$ и $2,2$ м³/т позволили построить графические зависимости необходимого количества глины (m_g) для приготовления глиноцементного раствора из 1 т цемента от проектной плотности этого раствора $\rho_{p, \delta}$ (рис. 3.8).

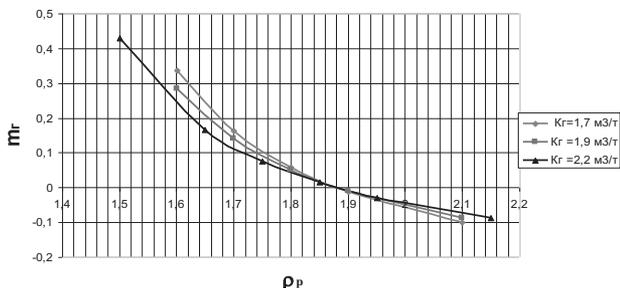


Рисунок 3.8 - Зависимость массы глины (m_g) от величины проектной плотности глиноцементного раствора (ρ_p).

Из графика, приведенного на рис. 3.8 видно, что для получения глиноцементного раствора плотностью $\rho_{m,p}=1,88$ т/м³ глину можно не добавлять, а для получения этого раствора с более высокой плотностью из его состава необходимо удалить глину, как облегчающую добавку.

В настоящее время применяются эффективные материалы для получения полимерно-минеральных тампонажных растворов. Базовым вяжущим материалом таких тампонажных растворов выступает портландцемент тампонажный (ПЦТ) различных марок. Для улучшения адгезионных свойств таких растворов, повышения их стабильности и пластификационных параметров, а также гидроизоляционных свойств, устойчивости тампонажного камня к знакопеременным нагрузкам и возможности создания условий депрессии на продуктивный коллектор, в состав тампонажных растворов вводятся эффективные виды минеральных и полимерных добавок.

Пермская сервисная компания «Буртехнологии» выпускает следующие реагенты для регулирования свойств тампонажных растворов при их приготовлении:

- гидроцем – обеспечивает пластифицирование и снижение водоотдачи тампонажных растворов;
- адгезил – обеспечивает хорошую адгезию твердеющего тампонажного камня к горной породе и к обсадной колонне;
- полицем ДФ – обладает структурообразующим действием и ускоряет процесс формирования непроницаемого цементного камня;
- реагент РУ – обеспечивает расширяющее действие и ускоряет процесс твердения цементного раствора;
- реагент РУМ – проявляет те же действия, что и предыдущий реагент;

- сфероцем – содержит в своем составе облегчающую модифицирующую полимерную добавку;

- фиброцем – является продуктом измельчения синтетических волокон, выполняющих роль армирующей добавки для повышения стойкости цементного камня в условиях знакопеременных нагрузок;

- цемпласт МФ – комплексный реагент на основе модифицированной меламиноформальдегидной смолы.

Расчет параметров полимерно-минеральных тампонажных растворов можно осуществлять по методике, в соответствии с которой рассчитываются параметры смесей сложного состава, так как полимерно-минеральные тампонажные растворы являются их частным случаем.

Если в состав тампонажной смеси вводится не более двух добавок, что является наиболее технологически оправданным случаем, то уравнение баланса масс можно записать в следующем виде:

$$1 + m_1 + m_2 + m_a = \rho_{m.p.} \cdot (V_u + V_1 + V_2 + V_a) \quad (3.7)$$

где 1 – масса цемента, тг; m_1, m_2 – масса первого и второго компонентов добавок соответственно; m_a – масса воды.

Следует отметить, что уравнение баланса масс (3.7) составлено для случая, когда расчет необходимо проводить для получения тампонажного раствора из цемента массой 1 т. В этом случае целесообразно иметь также экспериментальные данные по водопотребности добавок с массами m_1, m_2 , т.е. $B_{1п}, B_{2п}$.

После ряда преобразований была получена формула для определения массы второго компонента добавок, количество которого влияет на прочностные характеристики затвердевшего тампонажного камня, а также определяет сроки схватывания тампонажного раствора. Это формула записывается в виде

$$m_2 = \frac{1 + B_u \cdot \left(1 - \frac{\rho_p}{\rho_B}\right) + 1 + m_1 \cdot \left(1 + B_1 - \frac{\rho_{m.p.}}{\rho_1} - B_1 \cdot \frac{\rho_{m.p.}}{\rho_B}\right) - \frac{\rho_{m.p.}}{\rho_u}}{B_2 \cdot \left(\frac{\rho_{m.p.}}{\rho_B} - 1\right) + \frac{\rho_{m.p.}}{\rho_2} - 1} \quad (3.8)$$

где: B_u – водопотребность цемента при затвердевании, м³/т; ρ_1, ρ_2 – плотности первого и второго компонентов добавок, т/м³.

В соответствии с официальным изданием ОАО "Газпром" [107], для тампонирувания скважин могут применяться облегченные тампонажные растворы, получаемые на основе порландцемента ПЦТ I, II-50 с добавлением вспученного перлитового и вермикулитового песков в количестве 8 %.

В том случае, если тампонирувание будет проводиться в пределах залегания водоносного коллектора, основным параметром, определяющим выполнение условия депрессии, будет являться плотность тампонажного раствора – $\rho_{m.p.}$. При выполнении технологических процессов с применением аэрированных (вспененных) тампонажных растворов этот параметр $\rho_{m.p.}$ используется для расчета основных параметров таких растворов.

В соответствии с методикой, изложенной в работе [26], степень аэрации исходного тампонажного раствора плотностью $\rho_{m.p.}$ для выполнения условия

депрессии при глубине скважины H и давлении пластового флюида $P_{пл}$ рассчитывается по формуле

$$a = \frac{P_0 + \rho_{м.р.} \cdot g \cdot H - P_{пл}}{P_0 \cdot \ln \frac{P_{пл}}{P_0}} \quad (3.9)$$

где, P_0 – атмосферное давление, $1 \cdot 10^5$ Па.

Для принятой условно некоторой глубины H и плотности $\rho_{м.р.} = 1550$ кг/м³ были получены расчетные значения степени аэрации a в зависимости от величины пластового давления $P_{пл}$ (рис. 3.9).

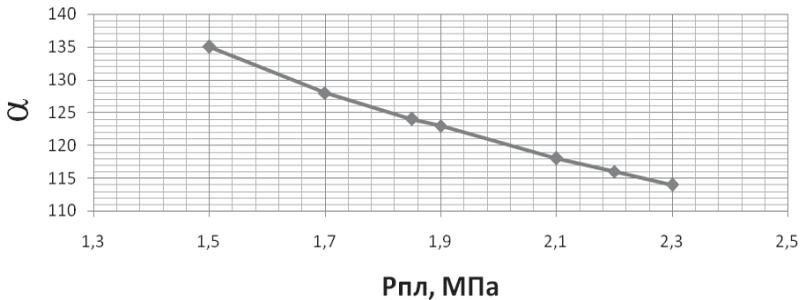


Рисунок 3.9 - Зависимость степени аэрации (a) тампонажного раствора от пластового давления ($P_{пл}$).

Установлено, что для снижения пластового давления флюидов от 2,3 до 1,5 МПа при выбранной глубине скважины H степень аэрации тампонажного раствора необходимо увеличить с 113 до 135, что обеспечит условие депрессии на продуктивный водоносный коллектор.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на выбор и обоснование видов ускорителей охватывания и их содержания в составе вспененных тампонажных растворов, обеспечивающих эффективное крепление скважин в условиях депрессии.

Для проведения процесса аэрирования облегченного тампонажного раствора, величину степени аэрации такого раствора необходимо определять по рекомендуемой в работе [26] методике с учетом пластового давления флюида продуктивного горизонта. Объемное содержание газа (воздуха) для получения вспененного цементного раствора заданной плотности без учета давления в скважине необходимо определять по формуле:

$$\varphi_0 = \frac{\rho_{жс} - \rho_{а.л}}{\rho_{жс} - \rho_г} \quad (3.10)$$

где $\rho_{жс}$ – плотность исходного цементного раствора; $\rho_{а.л}$ – плотность аэрированного цементного раствора, который надо получить; величина $\rho_{жс}$ рассчитывается при получении облегченного тампонажного раствора

Если учесть давление в скважине, то объемное содержание газа в ПГЖС, с учетом условий в скважине, составит:

$$\varphi = \frac{P_0 + \rho_{жс} * g * H - P_{з.см}}{P_0 \left(\ln \frac{P_{з.см}}{P_0} + 1 \right) + \rho_{жс} * g * H - P_{з.см}} \quad (3.11)$$

где P_0 – атмосферное давление; H – глубина; $P_{з.см} = P_{пл}$ – гидростатическое давление столба ПГЖС, принимаемое равным пластовому давлению; $\rho_{жс}$ – плотность облегченного тампонажного раствора до аэрации.

Рассчитанные значения величины объемного содержания газа в зависимости от плотности аэрированного цементного раствора приведены в виде зависимости (рис. 3.10).

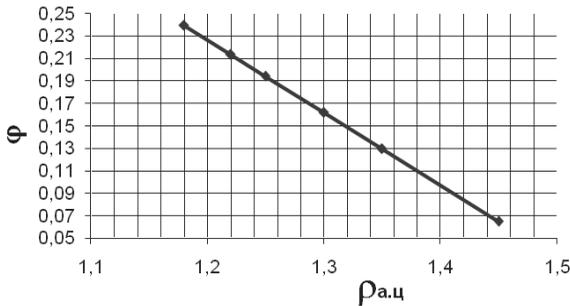


Рисунок 3.10 - Зависимость объемного содержания газа (φ) от плотности облегченного раствора (ρ_{а.ц})

Зависимость расчетных значений величины объемного содержания газа от пластового давления приведена на рисунке (рис. 3.11).

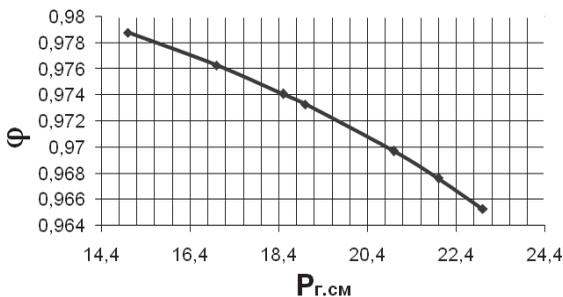


Рисунок 7.11 - Зависимость объемного содержания газа (φ) от пластового давления (P_{пл} = P_{з.см})

Для проектных работ по определению основных параметров цементирования в условиях аномально низкого пластового давления (АНПД) необходимо знать величину средней по скважине плотности аэрированной тампонажной смеси в зависимости от пластового давления или гидростатического давления столба

ПГЖС при создании депрессии на пласт. Эти расчетные данные приведены на рис. 3.12.

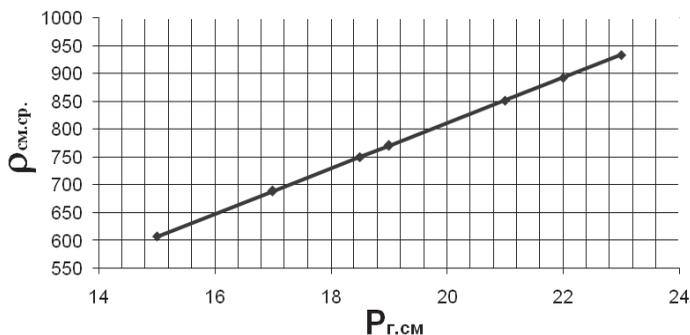


Рисунок 3.12 - Зависимости средней плотности ($\rho_{ср.}$) от величины гидростатического давления столба ПГЖС в скважине ($P_{г.см}$)

На основе выполненных исследований можно сделать обобщающие рекомендации и следующие выводы:

1. При определении параметров пенных газожидкостных смесей (ПГЖС) для создания депрессии на продуктивные водоносные коллекторы необходимо задаваться величиной давления пластовых вод, которое является важнейшим технологическим параметром продуктивной залежи и может изменяться по мере эксплуатации месторождения. Значение величины пластового давления флюидов должно приниматься и лежать в основе расчета параметров ПГЖС, используемых для бурения, вскрытия и освоения продуктивных коллекторов в условиях депрессии.

2. При транспортировании шлама по скважине величина критической скорости движения потока ПГЖС определяется в основном реологическими параметрами водного раствора ПАВ-пенообразования и самой ПГЖС. Поэтому при регулировании свойств пенной системы необходимо особое внимание обращать на применение полимерных материалов, существенно улучшающих её реологические параметры. Существенное снижение критической скорости течения потока ГЖС можно достичь при увеличении её динамического напряжения сдвига.

3. С целью уточнения реологических параметров ПГЖС в зависимости от степени аэрации, объемной доли газа, давления в скважине, концентрации водного раствора ПАВ-пенообразователя и вида полимерных реагентов целесообразно провести широкие лабораторные исследования, результаты которых будут положены в основу предлагаемой методики расчета параметров ПГЖС для условий депрессии.

4. Для сохранения условий депрессии на продуктивные водоносные коллекторы при выполнении процесса тампонирувания скважин в условиях снижения пластового давления необходимо увеличивать степень аэрации

облегченного тампонажного раствора, что требует введения в их состав реагентов-стабилизаторов и ускорителей твердения вспененных тампонажных систем.

5. Предлагаемая нами методика расчета параметров тампонажных растворов, используемых для выполнения технологических операций при бурении скважин, позволяет определить соотношение компонентов в процессе приготовления облегченных тампонажных растворов с последующим их аэрированием до получения аэрированных тампонажных растворов с заданными параметрами. Эту методику целесообразно применять при выборе состава и свойств тампонажных растворов при бурении, вскрытии, освоении водоносных коллекторов, вызове притока пластовой воды на депрессии, а также при выполнении других технологических операций в интервалах скважин с высокой проницаемостью горных пород.

6. Для уточнения компонентного состава облегченных тампонажных растворов и корректировки их расчетных параметров целесообразно провести лабораторные исследования по определению прочностных свойств затвердевших вспененных тампонажных растворов, рекомендуемых для применения в условиях депрессии.

ГЛАВА 4 ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ФИЛЬТРОВ

4.1. Выбор и расчет фильтра

Вообще, в технике, фильтр (франц. filter, букв. – войлок) – устройство, предназначенное для очистки (фильтрования) смесей. В направлении движения смеси фильтрующий элемент, в общем случае, имеет переменную структуру: в начале размеры частиц фильтрующего элемента и каналов (отверстий) между ними крупные (грубая очистка), а затем их размер уменьшается (тонкая очистка). В результате фильтрования на поверхности и в объёме фильтрующего элемента происходит отложение твёрдых фракций. Как неизбежное следствие этого – механический кольматаж (загрязнение) фильтра, снижение его проницаемости, приводящее к необходимости его чистки или замены. Механический кольматаж, вызванный задержкой твёрдых частиц, отделяемых от фильтруемой смеси, и является основным целевым предназначением любого фильтра. Следовательно, если задаться целью установки в скважине фильтра, то следствием этого будет неременный скорый механический кольматаж последнего и, как следствие, резкое снижение пропускной способности фильтра. Чем эффективнее будет работа фильтра, тем больше частиц он будет задерживать, т. е. тем интенсивнее будет его механический кольматаж и тем скорее фильтр выйдет из строя.

Возникает вопрос: какое же устройство следует тогда соорудить (и сооружают) в гидрогеологической или добычной скважине?

Строго говоря, устройство, сооружаемое в эксплуатационной скважине, по принципу действия следует называть не фильтром, а обратным фильтром [77], о чём, например, свидетельствует нормативный документ [112] посвящённые шахтным колодцам и горизонтальным водозаборам). Например, в так называемом гравийном фильтре, состоящем из нескольких слоёв, размеры частиц гравия и каналов между ними в направлении движения воды, в отличие от настоящего фильтра, увеличиваются, что является характерным признаком обратного фильтра. Обратный фильтр, в отличие от фильтра, препятствует механической суффозии (перемещению частиц) фильтрационным потоком, но пропускает через себя пластовый флюид. Однако, следуя сложившейся традиции, для обозначения скважинного обратного фильтра здесь и далее будем условно использовать термины «скважинный фильтр» или «фильтр».

Кроме способности пропускать через себя жидкости, фильтры (каркасы фильтров) играют важную функцию обсадных колонн, поддерживающих стенки скважины в устойчивом состоянии.

Фильтры, устанавливаемые в скважине, выполняют следующие функции:

- предохраняют стенки водоносного пласта от разрушения;

– не позволяют проникать мелким частицам внутрь водоподъемной колонны и тем самым предохраняют центробежные погружные насосы от преждевременного износа.

Фильтры буровых скважин должны отвечать следующим требованиям:

- ✓ При минимальных размерах обеспечить пропуск необходимого количества откачиваемой воды;
- ✓ Иметь минимальные гидравлические сопротивления, максимально возможную скважность и площадь фильтрации;
- ✓ Обладать необходимой механической прочностью;
- ✓ Пропускать песок и мелкие фракции пород только в начальный период работы;
- ✓ В скважинах, рассчитанных на длительную эксплуатацию, фильтры должны обладать устойчивостью против коррозии и зарастания, а так же обеспечивать использование механических, гидравлических, а в ряде случаев и химических методов восстановления проницаемости прифильтровых зон и фильтров.

В устойчивых горных породах, а также в бесфильтровых скважинах с устойчивой кровлей, каркасы фильтров не устанавливаются.

Водоносные пласты являются коллекторами, в которых аккумулируются подземные воды.

Различают коллекторы пористого, трещинного и трещинно-пористого видов.

В зависимости от вида коллекторов используются различные типы фильтров (табл 4.1).

Таблица 4.1 - Рекомендуемые типы фильтров

Водосодержащие породы	Рекомендуемые типы фильтров
1	2
Скальные и полускальные устойчивые породы	Фильтры не устанавливаются
Скальные и полускальные не устойчивые породы. Гравийно-галечниковые отложения с крупностью частиц от 20 до 100мм (> 50 % мас.)	Трубчатые фильтры с крупной и целевой перфорацией. Каркасно-стержневые фильтры.
Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм, с преобладающей крупностью от 2 до 5мм (> 50 % мас.)	Трубчатые и стержневые каркасы с водоприемной поверхностью из проволоки или без неё. Трубчатые или стержневые каркасы с водоприемной поверхностью из проволоки, сетки или штампованного листа.

1	2
Пески среднезернистые с преобладающей крупностью частиц 0,25 – 0,50 мм (> 50 % мас.)	Сетчатые и гравийно-обсыпные фильтры с уширенным контуром. Возможно применение двухслойных фильтров.
Пески мелкозернистые с преобладающей крупностью частиц от 0,1 до 0,25 мм (> 50 % мас.)	Гравийно-обсыпные фильтры с уширенным контуром. Возможно применение двухслойных фильтров.
Пески различной зернистости при наличии устойчивой кровли	Бесфильтровые скважины

В песках различного гранулометрического состава на трубчатых и стержневых каркасах применяются проволочные и сетчатые фильтры (рис. 4.1).

В практике чаще всего применяются проволочные фильтры с диаметром проволоки от 3 до 5 мм.

В мелкозернистых и пылеватых песках используются сетчатые фильтры. Применяются сетки галунного и квадратного плетения. В качестве материала в сетках используется латунь, нержавеющая сталь, полиэтилен, пропилен, винипласт и др.

В эксплуатационных скважинах во избежание коррозии более эффективно применение сеток из нержавеющей стали и полимерных материалов.

Длину рабочей части фильтра в напорных водоносных пластах мощностью до 10 м следует принимать равной мощности пласта; в безнапорных – мощности пласта за вычетом эксплуатационного понижения уровня воды в скважине. Рабочую часть фильтра следует устанавливать от кровли и подошвы водоносного пласта, но не менее, чем 0,5 – 1 м. Длину *отстойника* следует принимать не более 2 м. Надфильтровая часть не должна превышать 1,5 – 2 м. В этой части устанавливается сальник, который служит для предотвращения поступления частиц породы из пласта в эксплуатационную колонну.

Размеры проходных отверстий для сетчатых фильтров (без устройства гравийной обсыпки) следует принимать по табл. 4.2.

Скважность фильтра – отношение площадей отверстий к общей площади поверхности фильтра, выраженное в процентах.

В трубчатых фильтрах с круглой или щелевой перфорацией скважность следует доводить до 20 – 25 %.

В фильтрах с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки и штампованного стального листа скважность каркасов принимается из условия прочности до 30 – 60 %.

В гравийных фильтрах (подробнее гравийные фильтры рассмотрены в главе 3) в качестве обсыпки могут применяться песок, гравий, песчано-гравийные смеси. Подбор материалов для гравийных обсыпок производится по соотношению

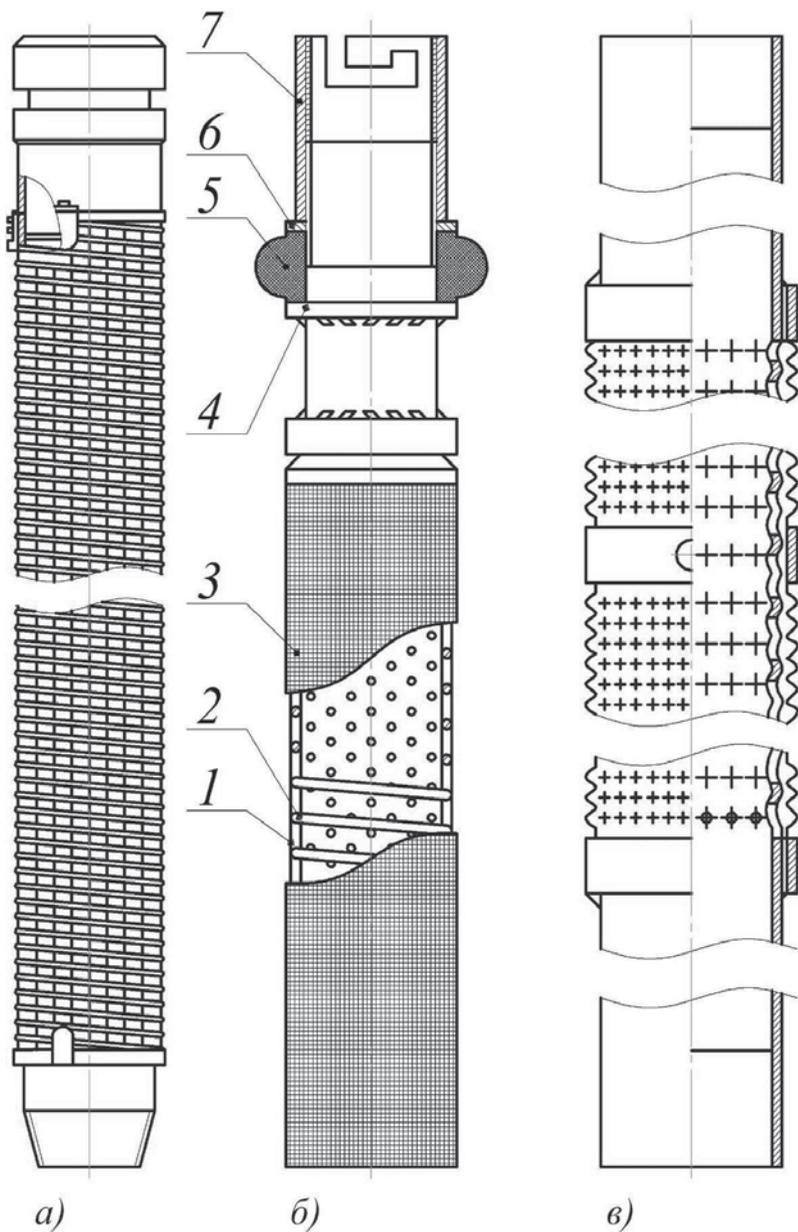


Рисунок 4.1 - Фильтры с покрытием:

- а) из проволоки; б) из сетки (сетчатый фильтр): 1 – каркас;
 2 – проволочная обмотка; 3 – сетка; 4 – опорное кольцо; 5 – резиновая манжета;
 6 – нажимное кольцо; 7 – муфта; в) из просечного листа (фильтры ФКО).

Таблица 4.2 - Размеры проходных отверстий фильтров

Тип фильтра	Размеры ответствий при коэффициенте неоднородности пород η_1 , мм	
	$\eta_1 \leq 2$	$\eta_1 > 2$
Круглый	(2,5 – 3,0) d_{50}	(3,0 – 4,0) d_{50}
Щелевой	(1,25 – 1,0) d_{50}	(1,5 – 2,0) d_{50}
Сетчатый	(1,5 – 2,0) d_{50}	(2,0 – 2,5) d_{50}
Проволочный	1,25 d_{50}	1,5 d_{50}

Примечания:

1. d_{10} , d_{50} , d_{60} – размеры частиц, содержание которых по массе составляет соответственно 10, 50 и 60 %.

2. Меньшие значения размеров проходных отверстий относятся к мелким пескам, большие – к крупным.

$$\frac{D_c}{d_n} = 8 \div 12,$$

где D_c – размер частиц, меньше которых в обсыпке содержится 50 %;

d_n – размер частиц, меньше которых в породе водоносного пласта содержится 50 %.

В гравийных фильтрах толщина слоя обсыпки принимается с учётом конструкции фильтров.

Для фильтров, собираемых на поверхности земли и опускаемых в скважину в готовом виде, толщина каждого слоя обсыпки должна быть не менее 30 мм.

Для фильтров, создаваемых на забое скважин засыпкой гравия по межтрубному пространству, толщина каждого слоя обсыпки должна быть не менее 50 мм.

Наиболее надежные в эксплуатации фильтры с гравийной обсыпкой толщиной 150 – 200 мм.

При устройстве двухслойных обсыпок подбор механического состава материала слоев производится по соотношению:

$$\frac{D_2}{D_1} = 4 \div 6,$$

где D_2 и D_1 – средние диаметры частиц материала соседних слоев обсыпки.

Первый слой обсыпки, прилегающий к каркасу фильтра, подбирается таким образом, чтобы размеры гравия были больше.

При устройстве гравийных фильтров за наружный диаметр скважины следует принимать диаметр внешнего контура обсыпки. По условиям ремонта скважин минимальный диаметр каркаса фильтра следует принимать не менее 80 – 100 мм.

Наружный размер фильтра должен обеспечить его свободный спуск внутрь обсадной колонны с зазором не менее 10 мм. Зазор между стенками скважины и фильтром должен быть не менее 30 – 50 мм.

Материал, используемый для фильтров в скважинах, следует подвергать антисептической обработке. Рабочую часть фильтра следует устанавливать против участков, обладающих наибольшей водопроницаемостью.

Интервалы, обладающие наибольшей водопроницаемостью, устанавливаются при помощи геофизических исследований.

Расчет фильтра:

Ориентировочный диаметр каркаса фильтра определяется по формуле:

$$D_k = \frac{\alpha \cdot Q}{L}, \quad (4.1)$$

где D_k – диаметр каркаса фильтра, мм;

Q – проектный дебит, м³/ч;

L – длина фильтра, м;

α – коэффициент, характеризующий свойства водоносного пласта, табл. 4.3.

Таблица 4.3 - Значения коэффициентов α для различных пород

Порода	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Коэффициент α
Песок мелкозернистый	2 – 5	90
Песок среднезернистый	5 – 15	60
Песок крупнозернистый	15 – 30	50
Песчано-гравийные отложения	30 – 70	30
Известняк слаботрещиноватый	2 – 5	90
Известняк среднетрещиноватый	5 – 15	60
Известняк сильнотрещиноватый	15 – 70	30

Наружный диаметр фильтра при использовании проволоки и сетки определяется по формуле:

$$D = D_k + 2 \cdot d_{np} + 2\delta, \quad (4.2)$$

где D – наружный диаметр фильтра;

D_k – наружный диаметр каркаса фильтра;

d_{np} – диаметр проволоки для обмотки каркаса фильтра;

δ – толщина фильтровой сетки.

Наружный диаметр фильтра с гравийной обсыпкой при использовании проволоки равен:

$$D = D_k + 2d_{np} + 2\Delta, \quad (4.3)$$

где Δ – толщина гравийной обсыпки.

Пример 1:

Требуется определить диаметр фильтровой трубы, если отбор воды осуществляется из сильнотрещиноватых известняков мощностью 15 метров, проектный дебит 60 м³/ч. Пласт напорный.

Решение:

Длину фильтра примем равной 10 м, учитывая, что пласт является напорным.

Коэффициент α примем равным 30 по табл. 4.3., тогда диаметр фильтра по формуле (4.1) равен

$$D = \frac{30 \cdot 60}{20} = 180 \text{ мм.}$$

По табл. 1.3 принимаем ближайший диаметр трубы 194 мм.

Пример 2:

Определить размеры фильтра.

Водоносный горизонт представлен среднезернистыми песками. Мощность пласта 10 м, проектный дебит 20 м³/ч.

Решение:

Так как мощность водоносного пласта не превышает 10 м, то вскрываем последний на всю мощность, $L = 10$ м. Определяем диаметр каркаса фильтра по формуле (4.8):

$$D_{\kappa} = \frac{\alpha \cdot Q}{L} = \frac{60 \cdot 20}{10} = 120 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр получим, если выберем трубы каркаса 127 мм (табл. 1.3), проволоку для обмотки каркаса диаметром 3 мм, сетку галунного плетения толщиной 1 мм.

$$D = 127 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 1 = 135 \text{ мм.}$$

Диаметр долота для бурения под фильтр определяем из условия, что зазор между стенками скважины и фильтром должен быть не менее 30 ÷ 50 мм.

$$D_0 = 135 + 40 = 175 \text{ мм.}$$

По табл. 1.2 приложения определяем ближайший больший размер долота $D_0 = 190$ мм.

Если выбран гравийный фильтр, формируемый на забое, то его конструкция и диаметр выбираются с учётом следующего. Пусть средний размер частиц водоносного песка 0,3 мм.

Тогда средний размер частиц гравия, используемого для обсыпки, равен

$$D_{\Gamma} = (8 \div 12) \times d_n = 10 \times 0,3 = 3 \text{ мм.}$$

Конструкция каркаса гравийного фильтра должна включать трубы и проволочную обмотку. Выбираем трубы $\varnothing 127$ мм (табл. 1.3) и проволоку $\varnothing 3$ мм. Минимальная толщина гравийной обсыпки 50 мм.

$$D = 127 + 2 \times 3 + 2 \times 50 = 233 \text{ мм.}$$

По табл. 1.2 выбираем соответствующий диаметр долота $D_0 = 245$ мм.

Чтобы получить проектный дебит необходимо, зная диаметр, определить длину рабочей части фильтра:

$$L = \frac{\alpha \cdot Q}{D_a} = \frac{20 \cdot 60}{245} = 4,9 \text{ м.}$$

Принимаем длину рабочей части 5 м.

4.2. Установка фильтров

Перед спуском фильтра скважину, пробуренную роторным способом, необходимо поработать долотом, промыть раствором с пониженной вязкостью и плотностью или водой, провести контрольный замер ее глубины. В неустойчивых породах следует поддерживать избыточное давление на пласт столбом воды не менее 3,0 – 1,5 м выше статического уровня.

Фильтровая колонна собирается так, чтобы ее рабочая часть при установке находилась на расстоянии 0,5 – 1,0 м от кровли и подошвы пласта во избежание попадания размываемой породы в фильтр. При эксплуатации нескольких пластов рабочие части фильтра устанавливаются в каждом пласте и соединяются между собой трубами.

На длинных (более 10 м) фильтрах для центрирования монтируются через 4 – 6 направляющие фонари, которые крепятся сваркой или хомутами на отстойнике, надфильтровой трубе и рабочей части фильтра.

Опускать фильтры можно на эксплуатационной колонне, выходящей к устью скважины, и впотай. При установке фильтра на эксплуатационной колонне обсадные трубы приподнимают (если они были опущены до забоя) для обнажения фильтра или совсем извлекают из скважины в зависимости от санитарно-гидрогеологических условий и требований проекта. При установке фильтра впотай на надфильтровой трубе должен быть сальник, предотвращающий вынос частиц породы через кольцевой зазор в скважину.

Наибольшее применение получили резиновые и пеньковые, реже – деревянные, свинцовые и другие сальники.

Разжимной сальник (рис. 4.1, б)) изготавливается следующим образом. На надфильтровой трубе ниже резьбы приваривают опорное кольцо 4 (диаметр кольца меньше внутреннего диаметра обсадной трубы), надевается резиновая манжета (пеньковый сальник) 5, кольцо 6 и до половины резьбы навинчивается муфта 7 с вырезом для спускового крюка. При вращении муфты резиновая манжета расширяется и перекрывает межтрубное пространство.

Фильтр впотай спускают на бурильных трубах с помощью спускового ключа или на муфте с левой резьбой. В первом случае на верхнем конце надфильтровой трубы ставят замок в виде двух Г-образных вырезов, в которые заводится Т-образный ключ бурильной трубы.

Для снижения динамической глинизации проволочных, сетчатых и блочных фильтров их рекомендуется спускать с открытым отстойником. Это снижает фильтрацию раствора через водоприемную поверхность. Отстойник после установки фильтра перекрывается засыпкой гравия.

При вскрытии водоносных песков с применением в качестве промывочной жидкости воды, фильтр не доходит до забоя вследствие обрушения стенок скважины. В этих случаях фильтр, имеющий внизу переходник с обратным клапаном и левую резьбу, опускается на бурильных трубах, по которым нагнетается вода буровым насосом, в результате чего производится гидравлический размыв пласта с одновременной посадкой фильтра.

Аналогично ведется установка фильтра при помощи эрлифта. Фильтр опускается на обсадных трубах, которые являются одновременно

водоподъемными для эрлифта. При работе эрлифта в скважину через устье буровым насосом доливается вода.

Если в водоносном горизонте предполагаются пропластки глин, применяют способ посадки фильтров с использованием механических расширителей. Фильтр опускается на бурильных трубах, которые проходят внутри него и заканчиваются расширителем. Лопастей расширителя раскрываются под действием осевой нагрузки. Бурильная колонна соединена с фильтром с помощью такого устройства, которое позволяет ей вращаться без вращения фильтра. При подъеме бурильные трубы отсоединяются от фильтра. Затрубное пространство изолируется корзинчатым сальником.

4.3 Гравийные фильтры

В настоящее время, фильтры с гравийной обсыпкой находят ограниченное применение в практике: для целей водоснабжения их используется всего 5 – 6 %, а для гидрогеологических исследований 3 – 5%. Это обстоятельство объясняется рядом причин, в частности, отсутствием изготавливаемой эффективной техники и надежной технологии сооружения таких фильтров, трудностями снабжения объектов сортированным гравием и др.

За рубежом гравийные фильтры используются достаточно широко. Так, в США, на их долю приходится более 30 % всех водозаборных скважин.

Основные исследования по определению области применения гравийных фильтров водозаборных скважин, расчеты и рекомендации по выбору их параметров, технологии и техническим средствам создания гравийных фильтров выполнены Н.И. Куличихиным, В.М. Гаврилко, В.С. Алексеевым, М.Г. Оноприенко, Г.П. Квашиным, А.И. Деревянных, Д.Н. Башкатовым, В.В. Дубровским, С.К. Абрамовым и др.

В монографии наряду с практикуемыми способами и технологиями создания гравийных фильтров в водоприемной части скважин, эксплуатации и их ремонта включены также способы и технологии, применение которых принципиально возможно после их соответствующей доработки.

4.3.1. Область применения гравийных фильтров буровых скважин

Анализ результатов буровых работ на воду показывает, что более 50 % всех скважин сооружаются в гидрогеологических условиях, когда водоносные пласты представлены неустойчивыми породами – обычно песками различного гранулометрического состава. В этих условиях наиболее распространенным недостатком буровой скважины является ее пескование в процессе эксплуатации. Это явление характерно также и для условий слабоустойчивых водоносных пластов, когда вследствие фильтрационных сил происходит вынос из пласта мелких, часто тонкодисперсных илистых частиц.

Наиболее эффективным способом предупреждения пескования скважин является создание гравийно-засыпных фильтров.

Для четкого определения области применения этих фильтров целесообразно классифицировать наиболее часто встречающиеся в практике буровых работ на воду водоносные пласты. В классификации, наряду с устойчивостью пород, слагающих водоносный пласт, следует учитывать их коллекторские свойства и характер водопроявления и водопроницаемости. Наиболее характерные коллекторы водоносных пород приведены на рис. 4.2.

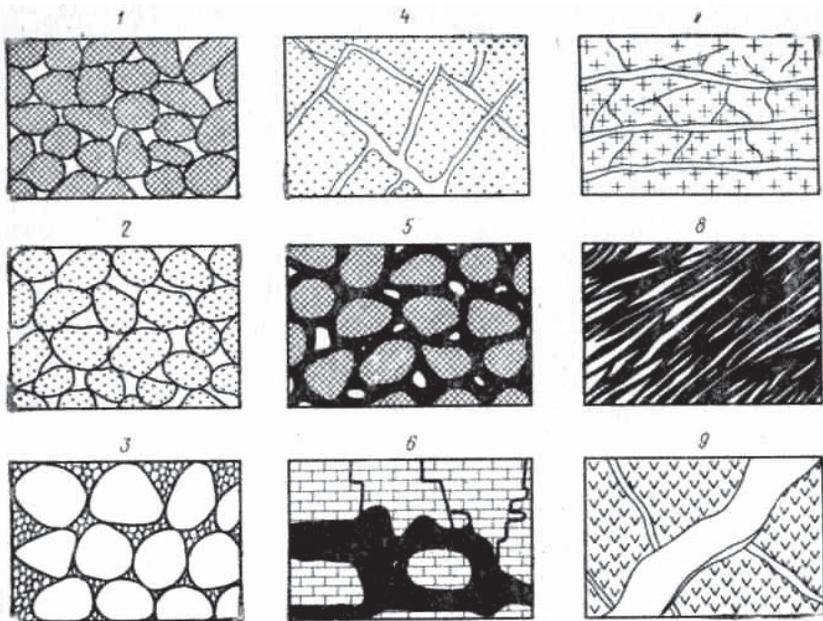


Рисунок 4.2 - Типы пористых и трещиноватых коллекторов водоносных пластов

1 – хорошо окатанный песок; 2 – валунные отложения, галечник, крупные пески; 3 – разнозернистые пески валунно-галечные, гравийные породы; 4 – пористо-трещиноватые породы, песчаники, известняки, доломиты; 5 – иловатые глинистые пески, пористость которых уменьшена отложениям глин и солей; 6 – закарстованные породы с пустотами выщелачивания; 7 – трещиновато-жилистой коллектор с преобладанием горизонтальных трещин; 8 – пустоты, обусловлено сланцеватостью и отдельностью, 9 – трещиновато-жилистой коллектор с преобладанием наклонных и вертикальных трещин и наличием зон разлома

Устойчивость стенок скважины, коллекторские свойства и пластовое давление воды, насыщающей пласт, оказывают решающее значение на выбор способа вскрытия пласта, технологию его освоения и конструкцию

водопримной части, поэтому целесообразно рассматривать гидродинамическую систему водоносный пласт – скважина, исходя из условия ее гидродинамического равновесия, т. е.

$$P_r = P_{пл},$$

где P_r – гидростатическое давление в скважине; $P_{пл}$ – пластовое давление воды, насыщающей пласт.

Исходя из этого уравнения, интенсивность пластового водопроявления целесообразно подразделить на следующие виды (табл. 4.4). Ориентировочные значения поглощения воды в пласт, приведенные в табл. 4.4 приняты с учетом подачи буровых насосов, широко применяемых при сооружении скважин на воду.

Таблица 4.4 - Виды интенсивности пластового водопроявления

Вид водопроявления	Характеристика пластового проявления	Характеристика пластового давления	Ориентировочное водопоглощение пласта Q_p , м ³ /ч
а	Частичное водопоглощение	$P_{пл} < P_r$	≤ 10
б	Сильное водопоглощение	$P_{пл} < P_r$	≤ 15
в	Катастрофическое водопоглощение	$P_{пл} < P_r$	> 15
г	Самоизлив воды из скважины	$P_{пл} > P_r$	0

Степень устойчивости водоносных пластов, вскрытых скважин, следует подразделить на три основных типа (табл. 4.5)

Таблица 4.5 - Степень устойчивости водоносных пластов вскрытых скважин

Тип устойчивости стенок скважины	Характер устойчивости горных пород, слагающих пласт	Поведение стенок скважины в зависимости от гидродинамического состояния системы пласт - скважина
А	Неустойчивые	При $P_{пл} = P_r$ стенки скважины обрушаются
Б	Слабоустойчивые	То же, при $P_{пл} < P_r$ до $P_{пл} = 0$
В	Устойчивые	При $P_{пл} = 0$ стенки скважины не обрушаются

Таблица 4.6 - Классификация водоносных пластов по гидродинамическим и геологическим условиям их залегания

Тип водоносного горизонта	Характер устойчивости горных пород, слогающих пластов	Группа водоносного пласта	Характеристика коллекторских свойств водоносного пласта		Вид водопровлавления пласта при заполнении скважины, табл. 4.10	Горные породы, слогающие водоносные пласты
			Глануметрический состав или размер пор, трещин обводненных пород, мм	Водопроницаемость (коэффициент фильтрации, м/сут.)		
А	Неустойчивые с пористым (рыхлым) коллектором	I II III	0,5 – 0,25	1 – 10	а, г	Пески тонко- и мелкозернистые пылеватые. Породы верхней части коры выветривания. Пески средне-, разно-, крупнозернистые. Пески крупнозернистые с гравием, галечники с валунами.
			0,25 – 2	10 – 50	б, г	
			2 – 20	50 – 200	в, г	
Б	Слабоустойчивые с пористо-трещинным коллектором	I II III	0,5 – 0,25	1 – 10	а, г	Песчанки тонко и мелкозернистые, аргиллиты, алевролиты с малой трещиноватостью. Песчанки от средне- до крупнозернистых, пористые известняки и доломиты сланцы. Пористые, трещиноватые. Глубокие песчанки конгломераты, известняки и доломиты, угли, мел. Пористые, трещиноватые, кавернозные.
			0,25 – 2	10 – 50	б, г	
			2 – 20	50 – 200	в, г	
В	Устойчивые с коллектором трещинно-жильного типа	I II III	0,5 – 0,25	1 – 10	а, г	Плотные песчанки, известняки, сланцы, кварциты, гнейсы, граниты, порфириты, сиениты слаботрещиноватые. Те же породы. Сильнотрещиноватые с вертикальными и горизонтальными трещинами.
			0,25 – 2	10 – 50	б, г	
			2 – 20	50 – 200	в, г	

Примечание. Водоносные пласты могут залегать в условиях многолетнемерзлых пород, могут быть насыщены термальными, минеральными и газонасыщенными водами.

На основании данных, приведенных в табл. 4.4 и 4.5, можно составить классификацию водоносных пластов по гидродинамическим и геологическим условиям их залегания, в которой систематизировать основные физические параметры пластов и характеристики [94]. Классификация приведена в табл. 4.6.

Водоприемную часть скважин рекомендуется оборудовать гравийно-засыпными фильтрами не только с целью предотвращения пескования, но и для увеличения долговечности скважин и увеличения их производительности.

В табл. 4.7 приведены рекомендации по оборудованию скважин гравийно-засыпными фильтрами.

Таблица 4.7 - Рекомендации по оборудованию скважин гравийно-засыпными фильтрами

Тип водоносного пласта	Группа водоносного пласта	Вид водопроявления	Рекомендации по оборудованию гравийных фильтров
А	I	а, г	Обязательная гравийная обсыпка каркаса фильтра
А	II	б, г	Гравийная обсыпка фильтра; возможное образование естественного гравийного фильтра в процессе откачки скважины
А	III	в, г	Образование естественного гравийного фильтра в процессе откачки скважины
Б	I	а, г	Гравийная обсыпка фильтра

Современный уровень развития буровых работ на воду позволяет осуществлять гравийную обсыпку фильтров не только при ударно-канатном способе сооружения скважин, но и при роторном (вращательном).

При этом вращательный способ бурения имеет значительно большие возможности по созданию высококачественной гравийной обсыпки фильтров буровых скважин (глубиной до 1000 м и более). При этом способе бурения можно также создавать гравийно-засыпные фильтры с уширенным контуром обсыпки. Последние достижения науки и практики бурения скважин на воду свидетельствуют о том, что предпочтение следует отдать гравийно-засыпным фильтрам уширенного контура, что является надежной гарантией долголетней и качественной работы буровой скважины. Технологические возможности вращательного способа бурения скважин при формировании водоприемной части используются не полностью из-за отсутствия практических рекомендаций по технологии их производства.

4.4.1.1. Требования, предъявляемые к конструкциям фильтров

Вопрос о выборе рациональной конструкции фильтра представляет собою сложную инженерную задачу, не имеющую до настоящего времени достаточно удовлетворительного решения. Известно, что правильный подбор фильтров, применительно к конкретным гидрогеологическим условиям, обеспечивает более продолжительную работу водозаборных скважин и устойчивость их производительности во времени.

Для облегчения выбора рациональных конструкций фильтров большой практический интерес могла бы представлять такая классификация, которая давала бы необходимые рекомендации гидрогеологам и организациям, занимающимся бурением в процессе проводимых ими работ. Однако попытки составления такой классификации, ввиду сложности и многообразия природных условий, не привели к желаемым результатам. Многолетняя работа в области исследований различных конструкций фильтров, проведенная во ВНИИ Водгео С.К. Абрамовым и А.М. Чалищевым, легла в основу первой классификации. Эта классификация в несколько переработанном и измененном виде была включена в ГОСТ В - 1872 - 42, который действовал до 1958 г. (табл. 4.8).

При рассмотрении вышеприведенной классификации нетрудно усмотреть связь только двух факторов: механического состава окружающих фильтр пород и размера проходных отверстий, что совершенно недостаточно для правильного выбора рациональных конструкций фильтров.

Большие экспериментальные работы и теоретические исследования, проведенные за последние годы учеными и инженерами-практиками, позволили в значительной мере расширить наши познания в области создания более прогрессивных конструкций фильтров и анализа их работы.

При выборе тех или иных конструкций фильтров следует, прежде всего, исходить из их целевого назначения, в зависимости от которого изменяются и требования, к ним предъявляемые. При этом следует различать две основные группы инженерных условий, при которых применяются скважины, оборудованные фильтрами:

- фильтры для оборудования скважин кратковременного действия (разведочных, опытных, наблюдательных, эксплуатационных, но сооружаемых для временного водоснабжения или водопонижения);
- фильтры для оборудования скважин длительного (постоянного) действия (эксплуатационные скважины городского, промышленного, железнодорожного и крупного сельскохозяйственного водоснабжения, а также скважины постоянно действующих глубинных дренажей). К этой группе могут быть отнесены и наблюдательные скважины постоянной режимной сети.

В середине 50-х годов прошлого века существовали рекомендации, увязывающие конструкции фильтров с составом окружающих пород и продолжительностью работы самих фильтров. Рекомендовалось установка следующих фильтров:

Таблица 4.8 - Рекомендации по подбору фильтров

Характер водоносных слоев	Рекомендуемые типы и размеры фильтров	
	конструкция фильтра	размеры отверстий или номер сетки
1. Твердые устойчивые	Водоносные слои остаются без крепления. Фильтр не требуется	
2. Твердые, неустойчивые породы или слои твердых водоносных пород, переслаивающиеся с неустойчивыми породами	Перфорированные трубы	Диаметр отверстий 15 – 20 мм
3. Галечники и гравий	Щелистые фильтры с прямоугольными отверстиями. Допускаются перфорированные трубы со спиральной обмоткой толстой (2 – 3 мм) проволокой	Ширина щелей 3 – 5 мм. Длина щелей 25 – 50 мм. Расстояния между витками проволоки 3 – 5 мм
4. Гравийные и крупнозернистые пески	Щелистые фильтры с трапецеидальными отверстиями. Сетчатые фильтры с крупными номерами сетки	Ширина щелей 1 – 2 мм. Длина щели 25 – 50 мм. Сетка простого или кривоугольного плетения с отверстиями от 1×1 мм до 2×2 мм
5. Среднезернистые пески	Сетчатые фильтры	Сетка галунного (репсового) плетения от № 6/40 до 12/90. Каркас фильтра – перфорированная труба с отверстиями диаметром 15 – 20 мм
6. Мелкозернистые пески:	Перфорированная труба, обмотанная спирально проволокой. Сетчатые фильтры с заfilterовой засыпкой гравием и крупным песком	Расстояние между витками проволоки 0,5 – 1 мм. Сетка галунного плетения от № 6/40 до 12/90 в зависимости от толщины засыпки
а) разнородные		
б) однородные	Корзинчатые или сетчатые фильтры с обильной засыпкой гравием и крупным песком, осуществляемой одновременно с откачкой воды из скважины с постепенным обнажением фильтра	

– в скважинах временного действия: в песках крупнозернистых и разнозернистых целесообразно применять щелестые и сетчатые фильтры со щелями и ячейками большого размера, без гравийной обсыпки; в песках мелкозернистых и среднезернистых – сетчатые фильтры с размером проходных отверстий, соответствующих составу окружающих пород, без гравийной обсыпки;

– в скважинах постоянного действия необходимо широко применять щелестые и гравийные фильтры. Постановка сетчатых фильтров (из меди и латуни) должна быть резко ограничена и может быть допущена в исключительных случаях, например, там, где они апробированы опытом долголетней эксплуатации;

– в песках тонкозернистых однородных и глинистых – гравийные фильтры.

Таким образом, осуществлялся дифференцированный подход к подбору фильтров, исходя из их целевого назначения. На тот момент времени эти подходы являлись принципиально новым и важным шагом. Но и они не исчерпывали того многообразия факторов, которые могут влиять на выбор конструкций фильтров и их работу.

В перечисленных выше классификациях и рекомендациях не учитываются: возможное влияние химического состава подземных вод на материалы, из которых изготавливают фильтры; способность подземных вод вызывать зарастание фильтрующих поверхностей (вследствие осаждения солей); влияние размера проходных отверстий и процента скважности на продолжительность работы фильтров; влияние глубины скважин и способа их сооружения на конструкцию фильтра.

Конечно, разработка универсальной классификации является делом весьма трудным, но всякая попытка, направленная на создание более гибкой классификации, позволяющей учитывать предельно возможное количество факторов, представляется нам актуальной.

Прежде чем изложить ряд требований, которые, по нашему мнению, должны быть положены в основу новой классификации фильтров, необходимо рассмотреть некоторые положения общего характера.

Эти положения кратко можно сформулировать следующим образом:

1) фильтр должен обладать необходимой механической прочностью и иметь достаточную устойчивость против химической, электрохимической коррозии и эрозионного воздействия воды;

2) при минимальных диаметрах фильтровых каркасов должен быть обеспечен пропуск максимального количества воды;

3) поступление воды в скважину должно происходить по возможности с большей поверхности водоносных пород и с наименьшими скоростями;

4) поверхность фильтра должна обладать, по возможности, большим процентом скважности для усиления активной пористости в зоне сопряжения поверхности фильтра с водоносной породой;

5) при постоянной работе фильтра не должно происходить «пескование», которое может быть допущено лишь в период проведения строительных

откачек и заранее определено расчетом;

6) постановка фильтра должна обосновываться расчетом с учетом возможного изменения во времени таких его параметров, как скважность, размер проходных отверстий, площадь фильтрационной поверхности и т. п., в зависимости от эксплуатации вод различного химического состава;

7) каркасы фильтров должны быть доступны для механической, а в ряде случаев и для химической очистки, выполняемой с помощью растворителей (кислот, гексаметафосфата натрия и др.).

Помимо вышеуказанных общих требований выбор рациональных конструкций должен производиться с учетом ряда специфических требований, которые будут рассмотрены ниже.

Целевое назначение скважин определяет условия работы фильтров. По целевому назначению все конструкции фильтров следует разделить на три основные группы:

– фильтры, устанавливаемые в скважинах для водоснабжения и дренажа, рассчитанные на длительный срок эксплуатации свыше 10 – 15 лет и более;

– фильтры для оборудования скважин на воду с ограниченным сроком эксплуатации от нескольких месяцев (иногда дней) до нескольких лет. К этой группе следует отнести фильтры, устанавливаемые в скважинах для временного водоснабжения, водопонижения и проведения опытных откачек при изысканиях;

– фильтры, устанавливаемые в наблюдательных скважинах на период опытных откачек и в скважинах режимных сетей, рассчитанных на длительный срок наблюдений. Эти фильтры часто условно называют «пьезометрами».

Такое подразделение фильтров по целевому назначению позволяет сразу же определить ряд других, но уже подчиненных, требований.

Фильтры эксплуатационных скважин, из которых происходит усиленный отбор воды, и фильтры наблюдательных скважин, где через проходные отверстия передается только гидродинамический напор, должны иметь различный процент скважности; в первом случае необходимо стремиться к всемерному ее увеличению, тогда как во втором скважность в пределах 5 – 10 % будет вполне достаточной.

Вынос пород из скважин, оборудованных фильтрами для водоснабжения и водопонижения, в период откачек считается желательным, так как это приводит к увеличению проницаемости призабойной зоны. Поэтому в конструкциях фильтров следует предусматривать щели по возможности предельной ширины.

Вынос песка при откачках из скважин, закладываемых для определения коэффициентов фильтрации (особенно по данным одиночных скважин), будет приводить к увеличению водопроницаемости зафильтровой зоны и тем самым к завышению коэффициентов фильтрации. Поэтому при инженерно-геологических изысканиях не возникает необходимости в установке фильтров с большим процентом скважности и размером проходных отверстий.

Разобранные выше примеры показывают, что при выборе конструкций фильтров необходимо учитывать целевое назначение скважин.

При выборе конструкций фильтра условия его эксплуатации (длительность и размер водоотбора) также имеют большое значение. При установке в скважинах фильтров временного действия снижаются требования к роду материалов, из которых изготавливаются фильтры (здесь может быть применена простая сталь), понижаются требования к их антикоррозийной защите, допустимы уменьшение скважности и размеров проходных отверстий, сокращение до минимума толщины гравийных обсыпок и др.

В скважинах, рассчитанных на длительную эксплуатацию, все перечисленные выше требования резко повышаются. Каркасы фильтров необходимо изготавливать из нержавеющей стали, пластмасс, асбестоцемента и других стойких материалов. В случае применения в фильтрах обычных сталей марок Ст. 3 и Ст. 5 необходимо применять их защиту путем покрытия водоустойчивыми лаками, пластмассами или применять металлические покрытия, наносимые путем кадмирования, цинкования или осаждения электрофоретическим методом на металле твердых резиновых оболочек типа эбонита.

Увеличение числа слоев гравийных обсыпок и их толщин предохраняет фильтры от зарастания и повышает сроки их эксплуатации.

Агрессивность подземных вод влияет на механическую устойчивость конструкций фильтров, на форму и размеры проходных отверстий и другие конструктивные элементы.

Состав водоносных пород определяет соотношение размера проходных отверстий на фильтровых каркасах, количество слоев гравийных обсыпок, их механический состав, а также и величину возможного водопритока.

Глубина скважин определяет конечные диаметры рабочих колонн, а следовательно, влияет также и на конструкции фильтров. С увеличением глубины скважин число возможных к использованию конструкций фильтров сокращается. Усложняются подбор и установка фильтров, а потому выбор конструкций фильтров для глубоких скважин следует производить с особой тщательностью, учитывая при этом сложность ремонта и смены фильтров.

Специфические условия водоотбора из водоносных горизонтов с агрессивными водами, неустойчивого химического состава требуют введения в классификацию нового показателя – величины водоотбора. Опыт подтверждает, что в данных условиях аналогичные конструкции фильтров при малом и большом водоотборе работают совершенно различно. Скважины с малым водоотбором работают дольше, и потому к ним могут предъявляться и более пониженные требования.

Под величиной незначительного водоотбора следует понимать скважины с дебитом 20 – 40 м³/час, а под большим – 40 – 150 м³/час. Причем, нижние значения дебита даны для мелкозернистых песков, а верхние – для крупнозернистых и гравелистых.

В.М. Гаврилко [37] в 1952 г. была предложена новая классификация с рекомендациями по установке фильтров (табл. 4.9). При ее составлении автор поставил задачу включить в классификацию также и новые, более

совершенные, конструкции фильтров, которые к этому времени были уже опробованы в производственной обстановке.

В отличие от классификации по ГОСТ В-1872-42 в части фильтров, в новой классификации не дается соотношений между размером проходных отверстий и диаметром частиц пород, окружающих фильтр. Эти параметры для каждой скважины должны определяться на основе расчета.

В утвержденных технических условиях значительной переработке были подвергнуты рекомендации по подбору фильтров, что видно из данных табл. 4.10.

В отличие от старого ГОСТа, в новой классификации по конструкциям фильтров учитываются: механический состав пород, химический состав подземных вод, мероприятия по антикоррозийной защите фильтров, применение новых синтетических материалов, ограничение применения латунных (галунных) сеток, расширение области применения гравийных фильтров и др.

В технические условия не были внесены гравийные фильтры блочного типа на том основании, что эти конструкции на тот момент проходили опытно-эксплуатационную проверку и по их работе еще не был накоплен фактический материал, позволяющий выносить окончательное суждение.

На данном этапе выбор типа фильтра определяется в основном гранулометрическим составом водосодержащих пород. Фильтры буровых скважин рекомендовано подбирать согласно [72] (табл. 4.11).

В современных условиях фильтры буровых скважин должны отвечать следующим основным требованиям:

– обеспечивать максимальный дебит скважины при минимальном понижении уровня воды в ней, то есть создавать минимальные входные сопротивления в прифильтровой зоне для сведения к минимуму затрат на подъем воды;

– обладать необходимой механической прочностью;

– иметь по возможности наибольшую площадь контакта с водоносной породой для обеспечения наименьших входных скоростей фильтрации;

– при длительной эксплуатации быть достаточно устойчивыми против химической и электрохимической коррозии, водной эрозии, а также зарастания;

– иметь конструкцию, которая обеспечивает возможность применения механических и химических методов восстановления проницаемости прифильтровых зон и фильтра, а также позволяет извлекать из скважины старый фильтр для замены его новым.

Таблица 4.9 - Рекомендации по подбору фильтров в зависимости от величины водоотбора и химического состава подземных вод (по В.М. Гаврилко)

Глубина скважин более 100 м	Глубина скважин до 100 м	3	4	5	6
<p>1</p> <p>Фильтры сетчатые из нержавеющей стали и латуни на обычных стальных каркасах с защитой их от образования гальванических пар. Фильтры гравийные с расширением забоя и закачкой гравия, а также кожуховые</p>	<p>2</p> <p>Фильтры сетчатые из нержавеющей стали и латуни. Фильтры гравийные обсыпные, корзинчатые, кожуховые, гальванические пар. Фильтры гравийные из черных металлов, каркасно-стержневые с двухслойной гравийной обсыпкой</p>	<p>–</p>	<p>Литологический состав водоносных пород (пески)</p>	<p>Химический состав подземных вод по степени агрессивности</p>	<p>Срок действия скважин</p>
<p>Фильтры сетчатые из нержавеющей стали и латуни: шелевые, металлические штампованные из листовой стали и обычных стальных буровых труб. При большом водоотборе возможно расширение забоя с закачкой гравия</p>	<p>–</p> <p>Фильтры сетчатые из латуни и нержавеющей стали. При увеличенном водоотборе шелевые фильтры всех типов и каркасно-стержневые с однослойной гравийной обсыпкой</p>	<p>–</p>	<p>Среднезернистые Крупнозернистые и гравий</p>	<p>Неагрессивный</p>	<p>Длительный</p>
<p>Перфорированные трубы из простой стали. Каркасно-стержневые фильтры из простой стали с проволокой из нержавеющей стали</p>	<p>Трубы перфорированные (шелевые и дырчатые) из обычной стали, дерева, пластических масс, асбестоцемента. Фильтры стержневые из арматурного железа с проволокой из нержавеющей стали без гравийной обсыпки</p>	<p>–</p>			

продолжение табл. 4.9

<p>Фильтры сетчатые из нержавеющей стали на каркасах, защищенных от коррозии. Фильтры щелевые из нержавеющей стали с гравийной обсыпкой, вводимой при помощи вспомогательных оболочек или кожухов. Желательно расширение забоя и закачка гравия</p>	<p>Мелкие сетки из нержавеющей стали Фильтры корзинчатые с многослойной обсыпкой Сетки лагунные на каркасах, защищенных от образования гальванических пар.</p>	<p>Незначительная</p>	<p>Длительный</p>
	<p>Фильтры каркасно-стержневые проволочные из антикоррозийных материалов с созданием двухслойных гравийных обсыпок с предельным процентом скважности и размером проходных отверстий</p>	<p>Большая</p>	<p>Длительный</p>
<p>Фильтры сетчатые из нержавеющей стали, щелевые из труб антикоррозийных металлов, при большом водозаборе, желательно расширение забоя и закачка гравия</p>	<p>Фильтры с применением сеток из нержавеющей стали или пластических масс, фильтры щелевые из пластических масс, дерева, каркасно-стержневые с частым шагом обмотки</p>	<p>Незначительная</p>	<p>Длительный</p>
<p>Перфорированные трубы и щелевые каркасы из стальных антикоррозийных металлов. Каркасно-стержневые и проволочные фильтры, выполненные из нержавеющей стали</p>	<p>Перфорированные трубы с антикоррозийным покрытием: щелевые фильтры из дерева, пластических масс, керамики со скважностью 20 – 25 % и предельным размером проходных отверстий</p>	<p>Незначительная</p>	<p>Длительный</p>
	<p>Перфорированные трубы из нержавеющей стали: каркасно-стержневые и щелевые из металлических стержней, выполненных из нержавеющей стали с максимальным процентом скважности и размером проходных отверстий</p>	<p>Большая</p>	<p>Длительный</p>
	<p>Крупнозернистые и гравий</p>	<p>Агрессивный</p>	<p>Длительный</p>
	<p>Среднезернистые</p>	<p>Меткозернистые</p>	<p>Длительный</p>

Таблица 4.10 - Рекомендации по подбору фильтров согласно техническим условиям СН 14 - 57 (по В.М. Гаврилко)

№ п/п	Характеристика пород водоносного горизонта	Рекомендуемые типы и конструкции фильтров	
		типы и конструкции фильтров и род материалов	размеры проходных отверстий или номер сеток
1	Скальные и полускальные устойчивые породы	Установка фильтра не требуется	—
2	Полускальные неустойчивые породы; щебенстые и галечниковые с преобладающей крупностью частиц шебня и гальки от 10 до 100 мм (вес частиц от 10 до 100 мм составляет более 50 %)	Трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией. Каркасно-стержневые фильтры без проволоочной обмотки	Круглые отверстия диаметром 10 – 25 мм; щелевые отверстия шириной 10 – 15 мм, длиной 150 – 250 мм; размер щелей каркасно-стержневых фильтров 15×200 мм
3	Гравий, песок крупный, гравелистый с крупностью частиц от 1 до 10 мм и с преобладающей крупностью частиц от 2 до 5 мм (вес частиц 2 – 5 мм составляет более 50 %)	Трубчатые фильтры с круглой перфорацией. Щелевые фильтры всех типов. Каркасные фильтры с обмоткой проволокой из нержавеющей стали	Ширина щелей 2,5 – 5 мм, длина от 50 до 200 мм. Диаметр круглых отверстий 5 – 10 мм
4	Пески крупные с преобладающим размером частиц 1 – 2 мм (вес частиц 1 – 2 мм составляет более 50 %)	Щелевые фильтры всех типов. Фильтры с сетками квадратного плетения на трубчатых каркасах. Сетки из латуни и нержавеющей стали устанавливаются на каркасах при помощи подкладочной проволоочной спирали из нержавеющей стали, виннипласта или при помощи подкладки сетки из виннипласта	Ширина щели 1,25 – 3 мм. Сетка с размером ячейки от 1×1 до 2×2 мм (по ГОСТ 6613 - 53).
5	Пески средние с преобладающей крупностью частиц от 0,25 до 0,5 мм (вес частиц 0,25 – 0,5 мм составляет более 50 %)	Гравийные фильтры с однослойной обсыпкой, с различными опорными каркасами (каркасно-стержневыми, проволоочными, щелевыми, сетчатыми). Материалы и конструкция фильтрующей части согласно п. 4 настоящей таблицы	Ширина щелей на каркасно-стержневых и щелевых фильтрах подбирается в зависимости от преобладающей крупности частиц обсыпки. Сетки гладкие от № 6/70 до 10/70. Отверстия на трубчатых каркасах под сетку 15 – 20 мм
6	Пески мелкие с преобладающей крупностью частиц 0,1 – 0,25 мм (вес частиц 0,1 мм составляет более 50 %)	Гравийные фильтры с двухслойной песчаной или песчано-гравийной обсыпкой, с опорными каркасами: стержневыми, щелевыми, сетчатыми. Кожуховые фильтры с песчано-гравийным заполнением	Ширина отверстий на фильтрах подбирается в зависимости от преобладающей крупности частиц обсыпки. Сетки от № 6/70 до 10/70. Отверстия на трубчатых опорных каркасах под сетку: круглые до 15 – 20 мм, щели шириной 7 – 10 мм, длиной до 100 мм

Таблица 4.11 - Условия применения фильтров различных типов и конструкций (согласно СНиП II - 31 - 74)

Водоносная порода	Тип и конструкция фильтров
Полускальные неустойчивые породы, щебенистые и галечниковые с преобладающей крупностью частиц щебня и гальки от 20 до 100 мм (более 50 % по массе)	Трубчатые фильтры с круглой или щелевой перфорацией. Стержневые фильтры.
Гравий, гравелистый песок с крупностью частиц от 1 до 10 мм и с преобладающей крупностью частиц от 2 до 5 мм (более 50 % по массе)	Трубчатые фильтры с круглой и щелевой перфорацией, с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки или из штампованного стального листа. Стержневые фильтры с обмоткой проволокой из нержавеющей стали или с водоприемной поверхностью из штампованного листа.
Пески крупные с преобладающим размером частиц 1 – 2 мм (более 50 % по массе)	Трубчатые фильтры со щелевой перфорацией, с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, штампованного стального листа или из сетки квадратного плетения. Стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки, стального листа или из сетки квадратного плетения
Пески средние с преобладающей крупностью частиц от 0,25 до 0,5 мм (более 50 % по массе)	Трубчатые стержневые фильтры с водоприемной поверхностью из сеток гладкого (галунного) плетения. Трубчатые и стержневые фильтры с однослойной гравийной обсыпкой (гравийные фильтры)
Пески мелкие с преобладающей крупностью частиц 0,1 - 0,25 мм (более 50 % по массе)	Трубчатые стержневые фильтры с однослойной, двух- или трехслойной песчаной или песчано-гравийной обсыпкой (гравийные фильтры). Блочные фильтры

При работе фильтра пескование допускается лишь в начальный период при проведении строительных и опытных откачек.

4.3.1.2. Схемы оборудования водоприёмной части буровых скважин гравийными фильтрами

Современная техника и технология вскрытия водоносных пластов бурением позволяет оборудовать водоприемную часть скважин различными фильтрами или без фильтров в зависимости от характеристик пласта.

На рис. 4.8 приведены наиболее типичные конструкции оборудования водоприемной части скважин. При этом следует учесть, что фильтр может быть опущен в скважину как впотай, так и на сплошной колонне с выводом надфильтровой части до устья скважины. Как видно из рис. 4.3, гравийная

обсыпка фильтров рекомендуется в большинстве применяемых в настоящее время схем оборудования водоприемной части буровых скважин.

В качестве опорных каркасов фильтров для гравийной обсыпки широко используют различные конструкции фильтров (дырчатые, каркасно-стержневые, щелевые, проволочные, сетчатые и др.), которые подробно рассмотрены в работах В.М. Гаврилко [34, 36, 38]. Однако рекомендации по созданию гравийно-засыпных фильтров в зависимости от применяемой технологии бурения и вскрытия водоносного пласта не систематизированы, что отрицательно сказывается на качестве гравийно-засыпных фильтров и применении оптимальных технологических приемов их использования.

Проведенный Г.П.Квашниным [61] анализ современного состояния технологии бурения буровых скважин позволил их классифицировать по способам вскрытия водоносных пластов (табл. 4.12). Как видно из табл. 4.12, создание гравийно-засыпных фильтров возможно при различных способах вскрытия водоносного пласта. При этом гравийная обсыпка фильтров в зависимости от объема кольцевого зазора между стенками может быть однослойной уширенного контура и многослойной. В зависимости от типа гравийной обсыпки фильтров способы ее проведения имеют некоторые технологические особенности как при ударно-канатном способе бурения, так и при вращательном.

В табл. 4.13 представлены основные преимущества, недостатки и рациональные области применения различных способов сооружения гравийных фильтров.

4.3.1.3. Классификация способов сооружения гравийных фильтров буровых скважин

Рациональный способ создания гравийного фильтра в скважине выбирается исходя из необходимости получения обсыпки высокого качества с заданными параметрами при определенных условиях проведения работ и минимуме затрат. Разнообразие природных горно-геологических и гидрогеологических факторов, конструкций скважин и их назначений, способствовало разработке принципиально различных способов создания гравийных фильтров, каждый из которых имеет свои преимущества, недостатки и рациональные области применения.

На сегодняшний день существует большое разнообразие классификаций конструкций гравийных фильтров и способов их создания. В.С. Оводовым (1960) [92] дана классификация фильтров по принципу их работы в контакте с грунтом или гравийной обсыпкой. Развивая подобный подход, Н.А. Карамбириным [60] была предложена классификация фильтров, дополненная Д.Н. Башкатовым [8].

В.М. Гаврилко (1968) классифицирует фильтры по конструктивному признаку на пять групп: щелевые и дырчатые из труб, из листовых материалов

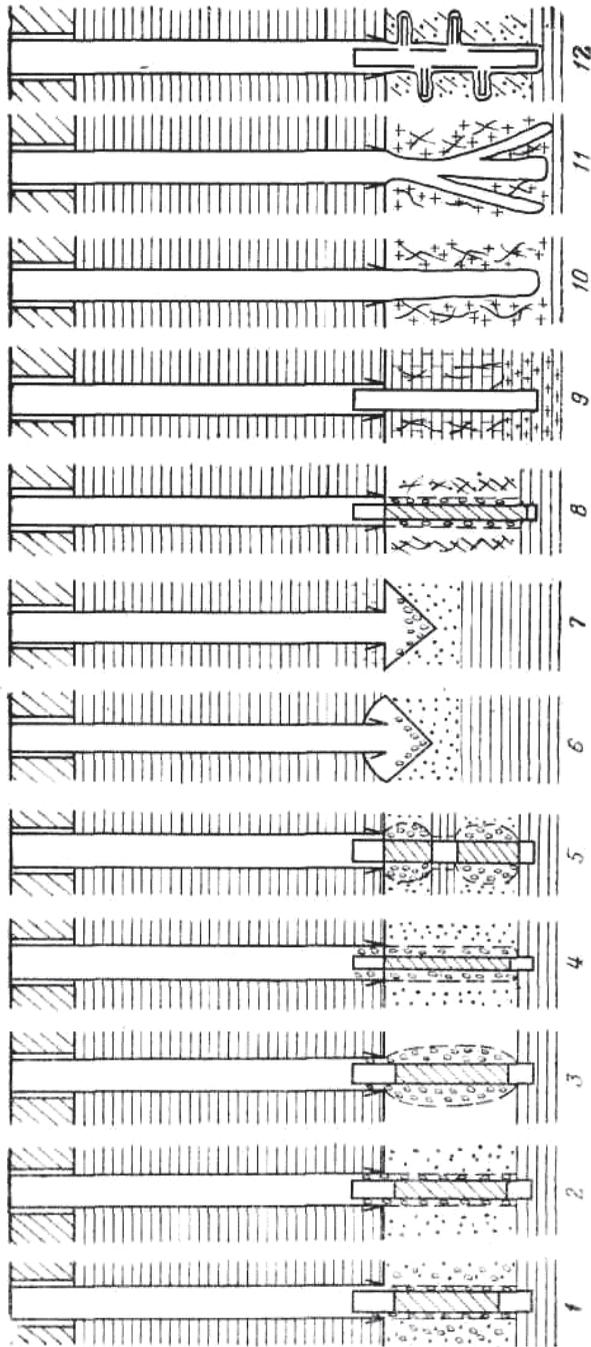


Рисунок 4.3 - Типовые схемы оборудования водопримной части скважин

1 - с проволочным фильтром или каркасом для водоносного пласта (А - III - в, г); 2 - с проволочным (сетчатым) фильтром и гравийной обсыпкой для водоносных пластов (А - II - б, г); 3 - с проволочным (сетчатым) фильтром и гравийной обсыпкой для водоносных пластов (А - I - а, г); 4 - с проволочным (сетчатым) фильтром и многослойной гравийной обсыпкой для водоносных пластов (А - I - а), представленных иловатыми, пылеватыми тонкими песками; 5 - с проволочным (сетчатым) каркасом и гравийной обсыпкой ушренного контура с многоярусным фильтром для водоносных пластов (А - I, II, а, б); 6, 7 - бесфильтровые с засыпкой гравием каверны для водоносных пластов (А - I, II - б, в, г); 8 - с проволочным фильтром и гравийной обсыпкой для водоносных пластов (Б - I, II - а, б); 9 - с дырчатым (целевым) каркасом без обмотки для водоносных пластов (Б - I - II - III, а, б, в, г); 10 - бесфильтровые для водоносных пластов (В - I, II, III - а, б, в, г); 11 - многослойные бесфильтровые для водоносных пластов (В - II, II - а, б); 12 - водоприемная часть при вскрытии водоносного пласта лучевыми скважинами (Б - I, II - а, б)

Таблица 4.12 - Рекомендации по технологии производства гравийной обсыпки фильтров

Рекомендации способов вскрытия водоносного пласта	Технология вскрытия пласта	Группа водоносного пласта по геологическим и гидродинамическим условиям залегания	Рекомендуемые конструктивные элементы скважины					
			Параметры фильтра					
			Глубина скважины, м	Тип	Диаметр, мм	длина, м	Наличие гравийной обсыпки, рекомендуемый тип конструкции водоприемной части (рис. 4.8)	Максимальный дебит, м ³ /ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ударно-канатный	С опережением забоя вспомогательной колонной обсадных труб и последующим оголением фильтра	$\frac{A-I-a}{A-II-a}$	< 100	Сетчатый, проволочный	219-325	< 30	Гравийная обсыпка (возможно многослойная); тип 2, 4	< 100
	Под защитой тиксотропной рубашки	$\frac{A-I-a, \Gamma}{A-II-a, \Gamma}$	< 150	Сетчатый	168-273	< 50	Тип 1	< 50
	Фильтровой колонной с дырчатым шелевым каркасом, проволочной обмоткой и конусным башмаком	$A-III-в$	< 100	Проволочный, каркас без обмотки	273-426	< 40	Без гравийной обсыпки; тип 1	< 300
Вращательный с прямой промывкой	Открытым забоем без крепления трубами	$\frac{B-I-б}{B-II-в}$	< 150	Каркас, без фильтра, сетчатый проволочный	273-325	< 50	Без гравийной обсыпки; тип 10	< 150
	Технической водой	$\frac{A-I-a, A-II, б}{B-I-a, з}$ $B-II, III-з$	< 100 < 600	Проволочный, каркас без обмотки, без фильтра	168-377 219-273	< 80	Гравийная обсыпка ушренного контура от 500 до 900 мм; типы 3, 5	< 300

продолжение табл.4.12								
	Глинистыми растворами	$A - I, II - \Gamma$ $A - II, II - \Gamma$	100 – 500 и более	Сетчатый провололочный. Дырчатый каркас	219-273 168-325 168-273	10 – 200	Без гравийной обсыпки; тип 9, 10	< 200
	Аэрированными растворами	$B - I - \mathbf{Б}$ $B - III - \mathbf{Б}$	100 – 600	Каркас, без фильтра	168-273	< 200	Без гравийной обсыпки; тип 9, 10	< 150
	Меловыми растворами	$B - II - \mathbf{Б}$ $B - I - \mathbf{Б}$	100 – 600	Каркас без фильтра	168 – 219	< 200	Без гравийной обсыпки; тип 9, 10	< 100
	Спец растворами	$A - I - a, z$ $A - II - b, z$ иногда $B, B-I, II - a, b$ залетающие в условиях многолетней мерзлоты	100 – 600	Сетчатый провололочный	168-273	< 200	Без гравийной обсыпки; тип 1, 8	< 100
Вращательный с обратной промывкой	Тех.водой	$A - I - a$ $A - II - \mathbf{Б}$ $A - III - в$	< 200 м и более	Сетчатый, провололочный каркас	325-426 325-426 < 500	< 100	Гравийная обсыпка диаметром до 1000 мм; тип 2, 3	< 300 и более
	Глинистым раствором	$B - II, III - b, в$ $A - I, III - z$	< 200	Сетчатый провололочный	325-426	< 100	С гравийной обсыпкой диаметром до 1000 мм; тип 3, 5, 2	< 300
Вращательный с продувкой воздуха	С пневмодуларником	$B - I, II - a, б$	< 150	Каркас	168	< 120	Без гравийной обсыпки; тип 9, 10	< 50
	С прямой продувкой и бурением шарошечным долотом	$B - III - \mathbf{Б}$ $B - I, II$ $III - a, б, в$	< 200	Без фильтра	219	< 120	То же 9, 10	
Гидрорывовый фильтра	С гидравлическим расширителем	$A - I - a$	< 50	Сетчатый	168-325	< 20	С обсыпкой фильтра гравием; типы 3, 5, 2	< 100
	С гидронасадкой	$A - II - a$	< 50	Провололочный	168-325	< 20		< 200
Разработка каверны для бесфильтровой скважины	С заполнением каверны гравием	$A - I, II - a, б$ с неустойчивой кровлей водоносного пласта	100 – 300	Без фильтра	–	< 5	С заполненным гравием; тип 6	< 150
	Без заполнения каверн гравием	$A - I - II - a, б$ с устойчивой кровлей водоносного пласта	100 – 300	Без фильтра	–	< 5	С заполнением каверн гравием или без гравия	< 150

Таблица 4.13 - Преимущества, недостатки и рациональная область применения различных способов сооружения гравийных фильтров

Способ сооружения гравийного фильтра	Основные преимущества	Основные недостатки	Рациональные области применения	Примечание
1	2	3	4	5
Гидромыв фильтровой колонны в предварительно закачанный на забой гравий	Упрощение технологического процесса доставки гравия на забой	Формирование в гравийном слое большого числа пустот и открытых каналов, сложность центрированной установки фильтровой колонны, возможность нарушения фильтровой поверхности каркаса фильтра при гидромыве, необходимость использования насосного оборудования повышенной мощности при расширении скважины в интервале водоносного пласта. Сложность установки фильтровой колонны вплотай	В скважинах без расширения в интервале водоносного пласта глубиной, как правило, не более 100 м. Оборудование скважин с одной секцией фильтровой колонны длиной не более 10 – 15 м при использовании в качестве каркаса перфорированной трубы или проволочного фильтра с усиленным креплением проволоки. Фильтровая колонна с выводом на поверхность	Применение способа может быть рекомендовано только при обязательном проведении работ по принудительному уплотнению гравийного фильтра перед откачкой
Сооружение гравийного фильтра при транспортировке гравия в интервал водоносного пласта через кольцевое пространство при отсутствии циркуляции	Упрощение технологического процесса сооружения гравийного фильтра	Сложность обеспечения надежной доставки гравия в интервал формирования фильтра, повышенная вероятность возникновения в гравийном слое открытых каналов и пустот, ведущих к пескованию. Невозможность оборудования гравийным фильтром нескольких интервалов водоносного пласта. Сильное расслоение гравия в процессе закачки, особенно при ручной подаче в скважину	Одноколонные конструкции скважин с большим кольцевым зазором между фильтровой и обсадной колоннами глубиной не более 30 м. Преимущественно скважины, пробуренные ударно - канатным способом. Сооружение многослойных гравийных фильтров. Фильтровая колонна с выводом на поверхность. Односекционные конструкции фильтров	Целесообразно перед откачкой проведение работ по принудительному уплотнению гравийного фильтра с целью повышения его качества

продолжение табл. 4.13				
<p>Сооружение гравийного фильтра при транспортировке гравия в интервал водоносного пласта через кольцевое пространство в восходящем потоке</p>	<p>Простота проведения технологических операций в скважинах, пробуренных вращательным способом с прямой промывкой, заниженные требования к качеству гравийного материала с учетом фракционирования в скважине в процессе засыпки</p>	<p>Сложность обеспечения надежной доставки гравия в интервал формирования обсыпки. Возникновение в гравийном слое большого числа открытых каналов и пустот, повышенная вероятность пескования скважины, невозможность оборудования гравийным фильтром нескольких интервалов нескольких водоносных пластов. Очень сильное расслоение гравия, особенно при ручной подаче в кольцевое пространство скважины</p>	<p>В скважинах одноколонной конструкции глубиной, как правило, не более 50 м и пробуренных вращательным способом с прямой промывкой, при невозможности фракционирования гравийной смеси плохого качества на поверхности, односекционные конструкции фильтров, окатанный гравий</p>	<p>Применение способа может быть рекомендовано только при обязательном проведении работ по уплотнению гравийного фильтра перед откачкой</p>
<p>Сооружение гравийного фильтра при транспортировке гравия в интервал водоносного пласта через кольцевое пространство в восходящем потоке</p>	<p>Простота выполнения технологических операций в скважинах, пробуренных вращательным способом с обратной промывкой и гидроtransportом зерна</p>	<p>Сложность обеспечения надежной доставки гравия в интервал формирования обсыпки при малых скоростях нисходящего потока, сложность сохранения герметичности обсадных труб, особенно при больших глубинах и диаметрах скважин. Попадание в гравийном слое большого объема инородных примесей. Невозможность оборудования гравийными фильтрами нескольких интервалов водоносного пласта или установки фильтровой колонны вглотай. Расслоение при больших глубинах скважины</p>	<p>Скважины, как правило, глубиной до 50 м при малых скоростях нисходящего потока и скважины глубиной до 200 м при больших скоростях нисходящего потока, пробуренные с обратной промывкой или гидроtransportом зерна. Скважины, оборудованные фильтровой колонной, выведенной на поверхность</p>	<p>Перед закачкой скважину необходимо промыть при расходе, превышающем расход закачки гравийной смеси</p>

продолжение табл. 4.13			
<p>Сооружение гравийного фильтра при транспортировке гравия в интервал водоносного пласта через вспомогательную колонну труб, опущенную в кольцевое пространство скважины</p>	<p>Относительная простота выполнения технологических операций в скважинах, пробуренных с промывкой</p>	<p>Невозможность создания равномерной обсыпки со всех сторон каркаса фильтра, обрушение стенок скважины в интервале водоносного пласта, перемешивание песка с гравием, снижение качества фильтра</p>	<p>Закачка гравия в воронку бесфильтровой скважины</p> <p>После намыва фильтра необходимо принудительно уплотнить гравий, выполнение с целью предотвращения обрушения стенок скважины целесообразно вести репрессии на пласт, создаваемых подливом воды в кольцевое пространство скважины или другими способами</p>
<p>Сооружение гравийного фильтра в скважине при транспортировке смеси при комбинированной циркуляции</p>	<p>Получение гравийного фильтра высокого качества при любых горно-геологических условиях проведения работ</p>	<p>Необходимость использования специального скважинного и поверхностного оборудования</p>	<p>Скважины глубиной более 50 м и другие условия, при которых получение гравийного фильтра удовлетворительного качества обычными методами затруднительно</p>
продолжение табл. 4.13			

<p>Сооружение гравийного фильтра блочного, корзинчатого и кожухового типа на поверхности с последующим их спуском в скважину</p>	<p>Получение фильтра высокого качества</p>	<p>Сложность сохранения фильтрационного слоя фильтра в процессе установки в скважину, малая водозахватная поверхность фильтра, необходимость увеличения диаметра бурения и крепления скважины</p>	<p>Скважины большого диаметра глубиной обычно до 50 – 100 м</p>	<p>При использовании фильтров, сооружаемых на поверхности, необходимо соблюдать дополнительные требования к транспортировке и установке фильтров, обеспечивающие сохранность фильтрационного слоя</p>
--	--	---	---	---

и стержней, из антикоррозионных материалов, сетчатые, гравийные и гравитационные [37].

Существуют также классификации отдельных конструкций фильтров, например гравийных, блочных, сетчатых, антикоррозионных, классификации с позиций их гидравлических сопротивлений.

В 1961 году В.М. Гаврилко [38] была предпринята попытка классифицировать фильтры гравийного типа по месту их создания. Он разделил гравийные фильтры на два класса – создаваемые на дневной поверхности и на забое скважины. В дальнейшей классификации, предложенные Д.Н. Башкатовым (рис. 4.4) [8], Ю.В. Пятикопом [120], А.В. Панковым [94], А.Д. Башкатовым [10] и др., содержали именно этот признак.

На современном этапе развития технологий фильтростроения авторами предложена усовершенствованная классификация способов сооружения гравийных фильтров. За основу была взята классификация способов сооружения гравийных фильтров, предложенная А.Д. Башкатовым (рис. 4.5).

Использование наиболее отличительных признаков при анализе этих способов дало возможность авторам представить их в виде новой классификации (рис. 4.6) [71]. В данной классификации наряду с практикуемыми способами создания гравийной обсыпки в водоприемной части скважин включены также способы, применение которых принципиально возможно после их соответствующей доработки. Структурно-генетический анализ, примененный при изучении этих способов, дал возможность установить связь между ними и обобщить их по основным направлениям создания гравийных фильтров.

При добыче подземных вод используют два основных вида гравийных фильтров: создаваемые в скважине с помощью гравия, который засыпается или закачивается в скважину, и опускные, которые собраны на поверхности земли с последующей установкой их в скважинах в готовом виде.

При бурении скважин малых и средних глубин (до 100 м) успешно применяются гравийные фильтры с рыхлой обсыпкой, которая создается путем засыпки гравия между труб.

При бурении же более глубоких скважин с малым конечным диаметром, а также при вскрытии напорных водоносных горизонтов, самоизливающихся на поверхность земли, создание таких гравийных фильтров становится затрудненным, а в некоторых случаях и невозможным.

Кроме того, технологии их создания имеют ряд недостатков:

- производство рыхлых обсыпок требует необходимых технических навыков и соответствующей квалификации буровых мастеров, которые часто нарушают требования нормативных документов;

- значительные временные расходы на транспортировку гравийного материала с дневной поверхности в зону водоносного горизонта;

- качественное формирование гравийной обсыпки требует сложного поверхностного и забойного оборудования и инструмента, который увеличивает стоимость работ;

- расслоение гравийного материала по размеру, как по высоте, так и по

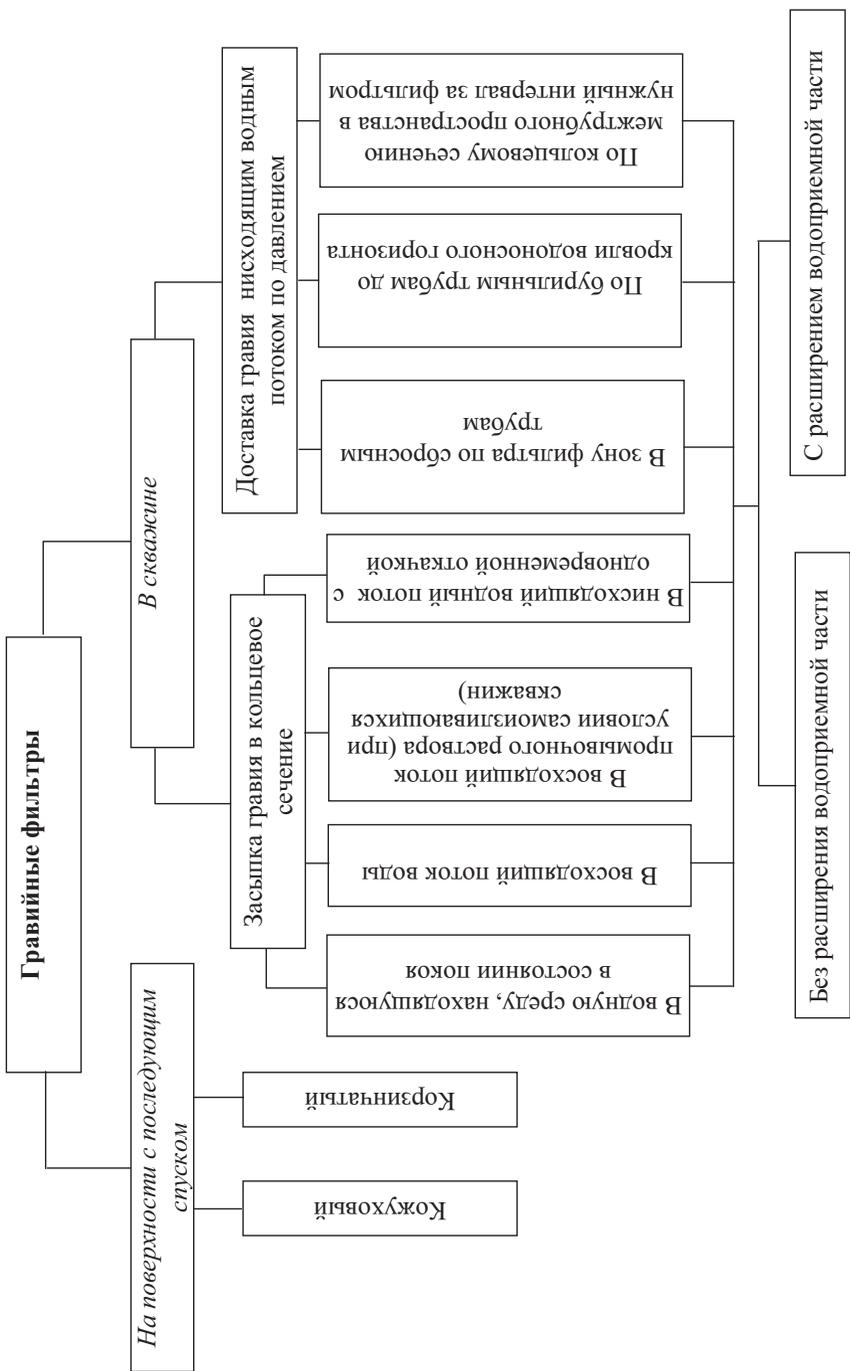


Рисунок 4.4 - Классификация способов создания гравийно-засыпных фильтров (по Д.Н. Башкатову)

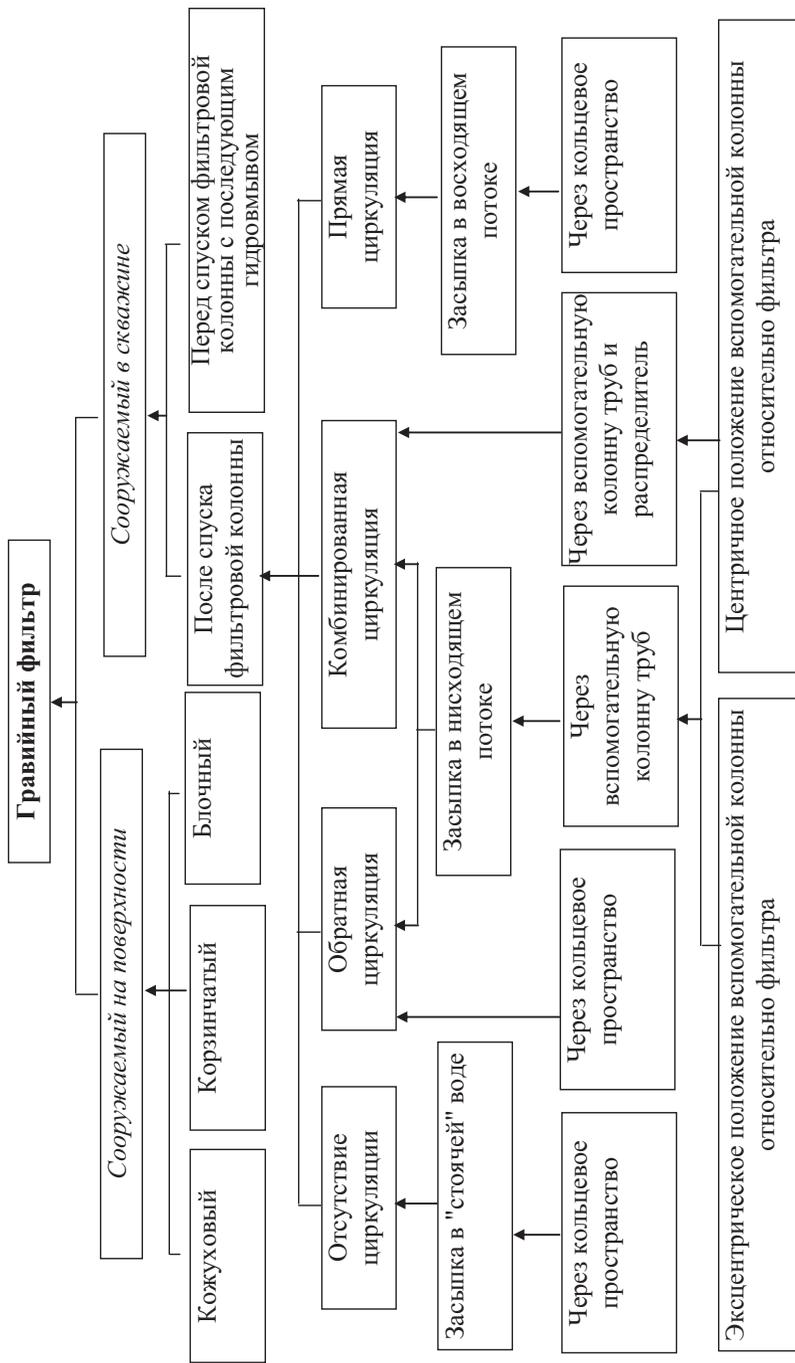


Рисунок 4.5 - Классификация способов создания гравитных фильтров (по А.Д. Башкатову)

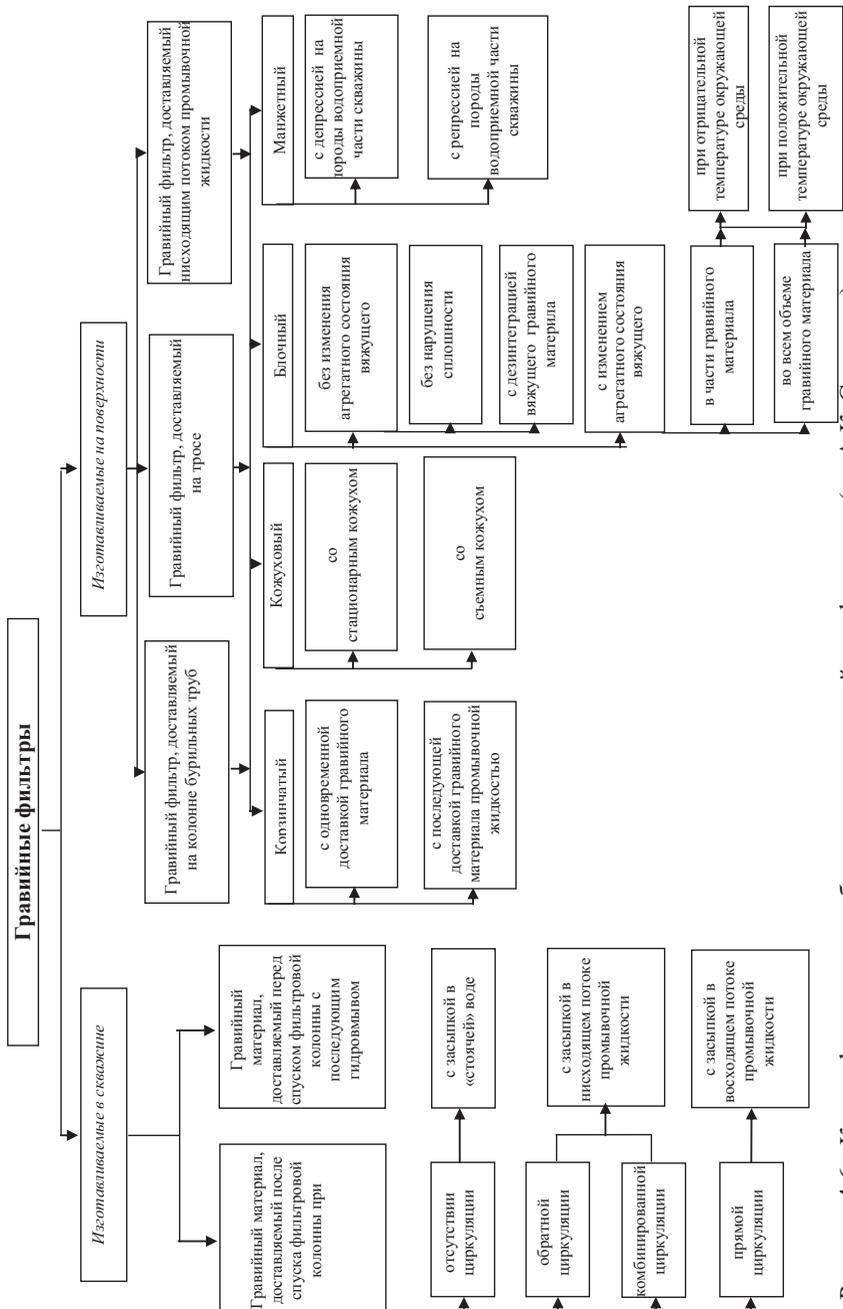


Рисунок 4.6 - Классификация способов создания гравийных фильтров (по А.К. Судакову)

диаметру создаваемой гравийной обсыпки;

- зависание гравийного материала на пути транспортировки с образованием пробок, ликвидация которых требует дополнительных расходов времени;

- образование зияющих пустот в гравийной обсыпке в зоне водоносного горизонта, которые влекут за собой пескование скважины.

Из-за этих причин среди технологий оборудования скважин гравийными фильтрами как в России и Украине, так и других странах появилось направление по созданию фильтров на дневной поверхности с последующей их транспортировкой по стволу скважины посредством колонны бурильных труб, троса или нисходящего потока промывочной жидкости, с последующим оборудованием ими водоприемной части скважины.

К ним относят корзинчатые, кожуховые и блочные фильтры, применение которых также имеет ряд существенных недостатков.

Корзинчатые фильтры рекомендуется применять для оборудования водоприемной части скважин в рыхлых породах при небольших водоотборах [120]. Корзинчатый фильтр – одна из старейших конструкций для оборудования водоприемной части скважины. Его достоинство в том, что при создании фильтра возможно обеспечить тщательность и строгую последовательность укладки зерен гравийной обсыпки, по сравнению с гравийно-обсыпными их можно устанавливать в скважинах небольшого диаметра. Но они обладают меньшей производительностью и большей способностью повышать сопротивление в обсыпке во времени, чем гравийно-обсыпные фильтры. Как показал опыт эксплуатации, они подвержены закупорке и кольматажу, в результате чего снижается дебит скважин. Ремонт скважин с заменой корзинчатых фильтров весьма затруднен, в особенности, когда фильтр изготовлен из чугунных отливок.

До сегодняшнего дня в практике создания кожуховых фильтров нашли применение кожуховые фильтры со стационарным кожухом. Данный тип фильтров по сравнению с гравийной обсыпкой имеет повышенное гидравлическое сопротивление. В процессе эксплуатации из-за электрохимической реакции кожуховые фильтры склонны к быстрому зарастанию. При спуске они деформируются, что приводит к образованию неравномерного по толщине гравийного слоя, а иногда и к формированию открытых каналов и пустот.

Авторами предложена технология оборудования буровых скважин кожуховыми фильтрами, сооружаемых на дневной поверхности с последующей доставкой и установкой в водоприемной части скважин [47, 66, 68, 73]. Отличительной особенностью разработанных и предлагаемых к применению гравийных фильтров является то, что они содержат съемный защитный кожух, имеющий диаметр максимально приближенный к диаметру водоприемной части скважины. Кожух предназначен для формирования гравийной обсыпки и предотвращения нарушения ее сплошности до момента приведения фильтра в

рабочее состояние; центрирования гравийного фильтра при установке в водоносном горизонте и т.д.

В целом применение технологии оборудования гидрогеологических скважин гравийными фильтрами со съёмным защитным кожухом позволит уменьшить расход гравийного материала и времени на его транспортировку к водоносному горизонту; избежать зависания гравийного материала при его транспортировке по стволу скважины, а также улучшить качество гравийных фильтров за счет формирования при визуальном контроле на дневной поверхности гравийной обсыпки и при необходимости формирования многослойной обсыпки с заданными параметрами; устранения вероятности образования пустот; снижения вероятности пескования; снижения гидравлических сопротивлений при повышении эффективной пористости и др. При этом скважина будет оборудована гравийным фильтром с заданными и неизменными при транспортировке и установке в водоносный горизонт геометрическими и гидравлическими параметрами.

Недостатками фильтров данной конструкции является следующее: большинство их конструкций имеют ограниченную по длине рабочую поверхность, обусловленную высотой мачты буровой установки и отсутствием возможности закрепления съёмного кожуха над устьем скважины; из-за конструктивных особенностей и технологии оборудования водоприемной части скважины при извлечении съёмного кожуха из скважины образуется зазор между слоем гравийной обсыпки и стенками скважины, заполняемый обсыпкой фильтра, что может привести к нарушению ее текстуры и обнажению верхней части рабочей поверхности фильтровой колонны.

У фильтров блочного типа гравийная обсыпка связана различными вяжущими веществами. Такие блоки одевают на опорные перфорированные каркасы и доставляются в скважину в готовом виде.

До недавнего времени в качестве вяжущих веществ применялись следующие материалы: клей БФ-2 и БФ-4, бакелитовый лак марки А, битум, цемент, резиновый клей, жидкое стекло [38]. В последнее время нашли применение гравийные фильтры блочного типа как производства Украины и России, так и других государств, в этих фильтрах в качестве вяжущего вещества выступают синтетические материалы на основе эпоксидных смол.

Блочным фильтрам нежелательны ударные нагрузки, вызывающие разрушение структуры блоков. При изготовлении гравийных блоков вяжущие вещества должны применяться в таких количествах, при которых происходит соединение только зерен гравия в агрегатное состояние при сохранении необходимой пористости. На практике блочные фильтры имеют меньшую проницаемость и большие гидравлические сопротивления по сравнению с рыхлой обсыпкой, которая состоит из зерен того же механического состава. Введение вяжущих веществ ведет к снижению эффективной пористости и уменьшению размера самих пор, образуемых в теле блока. Это происходит за счет или полного перекрытия целого ряда фильтрационных каналов клеем, или их сужения.

В основу работ, выполняемых в Национальном горном университете (Днепропетровск, Украина), положена идея создания технологии изготовления элемента гравийного фильтра блочной конструкции с соединением гравийного материала в монолитный композит с помощью минераловязущего вещества на водной основе с последующей однопорционной доставкой и установкой его в скважине и переходом гравийного композита из монолитного состояния в рыхлое в связи с приобретением минераловязущим веществом реологических свойств воды, которое происходит под воздействием тепловых полей пластовых вод.

Разрабатываемая технология оборудования гравийным фильтром водоприемной части гидрогеологических скважин предназначена для водоносных горизонтов, представленных среднезернистыми, мелкозернистыми, тонкозернистыми и пылеватыми песками [67, 95].

Применение разрабатываемой технологии оборудования буровых скважин криогенно-гравийными фильтрами позволит:

- уменьшить расход гравийного материала и времени на его транспортировку к водоносному горизонту;
- избежать зависания гравийного материала при его транспортировке по стволу скважины;
- улучшить качество гравийных фильтров за счет формирования при визуальном контроле на дневной поверхности гравийной обсыпки и при необходимости формирования многослойной обсыпки с заданными параметрами;
- устранить вероятности образования зияющих пустот;
- снизить вероятности пескования;
- снизить гидравлические сопротивления при повышении эффективной пористости и др.; при этом скважина будет оборудована гравийным фильтром с заданными и неизменными при транспортировке и установке в водоносный горизонт геометрическими и гидравлическими параметрами;
- сократить непроизводительные затраты времени и средств при улучшении качества работ и долговечности скважины.

Авторами предложена технология оборудования водоприемной части скважины манжетными фильтрами. При этом гравийная обсыпка находится в рыхлом состоянии, от осевого перемещения удерживается манжетами, закрепленными на фильтровой колонне, опускаемой к водоприемной части скважины на колонне бурильных труб или тросе, или нисходящим потоком промывочной жидкости. При этом, в зависимости от состояния башмака, технология может осуществляться как с депрессией, так и без депрессионного воздействия на водоносный горизонт.

4.3.2. Конструкции и технологии создания гравийно-засыпных фильтров

Способ бурения, применяемый для вскрытия водоносного пласта, его технологические особенности практически определяют выбор технологии создания гравийно-засыпных фильтров.

Технология создания гравийно-засыпных фильтров должна обеспечивать заданные расчетные параметры водоприемной части скважины, удаление продуктов кольматажа пласта и фильтра, равномерную укладку гравия в зазоре между стенками скважины и каркасом фильтра, гарантированные геометрические параметры диаметра скважины в интервале расширения. Кроме того, технология создания гравийно-засыпных фильтров должна позволять управлять процессом формирования водоприемной части водозаборной скважины, для чего нужны надежные источники информации о процессах, происходящих в призабойной зоне.

4.3.2.1. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с прямой промывкой промывочной жидкостью

Из опыта бурения водозаборных скважин известно, что наиболее характерными горными породами для вскрытия и освоения водоносных пластов с прямой промывкой водой являются обводненные пески, залегающие на различных глубинах.

Закачка гравия в восходящем потоке жидкости через кольцевое пространство получила довольно широкое распространение в практике сооружения гравийных фильтров в скважине до 40-х годов прошлого столетия.

На рис. 4.7 представлены наиболее характерные типы конструкций скважин и гидрогеологических разрезов для условий Западной Сибири, где около 80 % водоносных пластов представлены неустойчивыми песками. При сооружении таких скважин рекомендуется применять технологию бурения и освоения с прямой промывкой технической водой.

Для других условий и районов указанные на рис. 4.11 конструкции будут отличаться только глубиной установки эксплуатационной колонны и интервалами установки рабочей части фильтра, которая практически для каждой скважины должна уточняться в процессе бурения в зависимости от чередования пропластков глин, сулинков и песков.

При этом диаметры фильтровых и эксплуатационных колонн также уточняются в соответствии с проектным дебитом скважины от 10 до 250 м³/ч. Водоприемная часть всех скважин может иметь гравийную обсыпку уширенного контура. В зависимости от гидрогеологических условий возможна установка рабочей части фильтра в нескольких интервалах с обсыпкой гравием уширенного контура.

Вскрытие водоносных пластов, представленных песками, с промывкой водой и гравийной обсыпкой рекомендуется в следующих случаях:

- 1) в мелкозернистых однородных песках с мощностью водоносной пласта до 100 м;
- 2) при чередовании мелко- и крупнозернистых песков;
- 3) при чередовании крупно- и разнозернистых песков с включением гравелистых песков;
- 4) в слабо сцементированных тонкозернистых песчаниках. Вскрытие прослоев крупнозернистых песков и глин с промывкой водой не рекомендуется, так как нарабатываемый при бурении по глинам глинистый раствор будет глинизировать продуктивную часть пласта, что потребует проведения специальных работ по разглинизации.

При вскрытии водоносных песков с прямой промывкой водой не рекомендуется бурить подошву пласта, представленную глинами, во избежание глинизации естественным глинистым раствором.

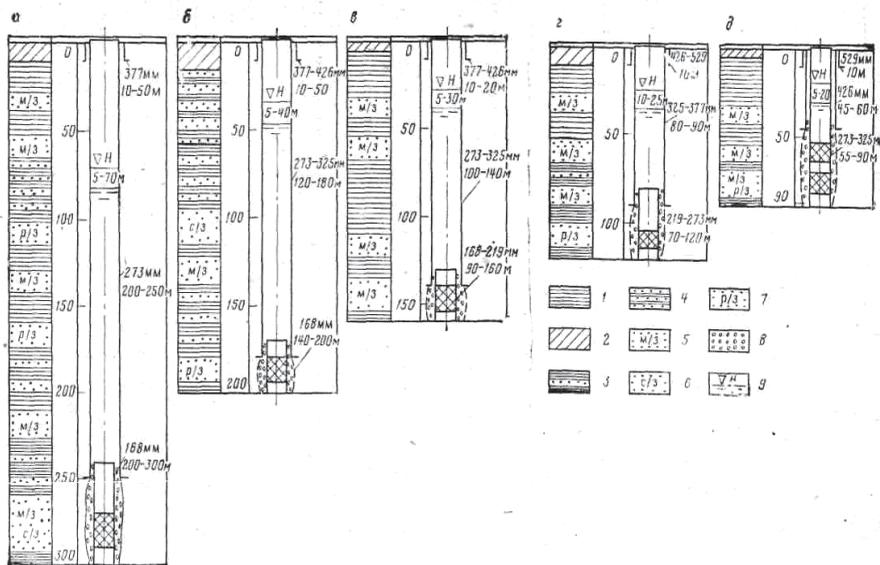


Рисунок 4.7 - Типовые гидрогеологические разрезы и конструкции скважин (для условий Западной Сибири)

Глубина скважины: а – 250 - 300 м, б – 160 - 200 м, в – 120-160 м, г – 100-120 м, д – 60-100 м.

1 – глина плотная, 2 – суглинок, 3 – глина плотная с прослоями песка, 4 – песок мелкозернистый с прослоями глины, 5, 6, 7 – пески мелко-, средне- и разнозернистые, 8 – гравийная обсыпка фильтра, 9 – статический уровень воды в скважине

Технологическая последовательность операций по сооружению водозаборных скважин в неустойчивых песках с прямой промывкой водой и гравийной обсыпкой фильтров показана на рис. 4.8.

Первый и второй этапы выполняются при бурении разведочно-эксплуатационных скважин, когда интервал установки рабочей части фильтра нельзя определить по гидрогеологическим данным близлежащих скважин.

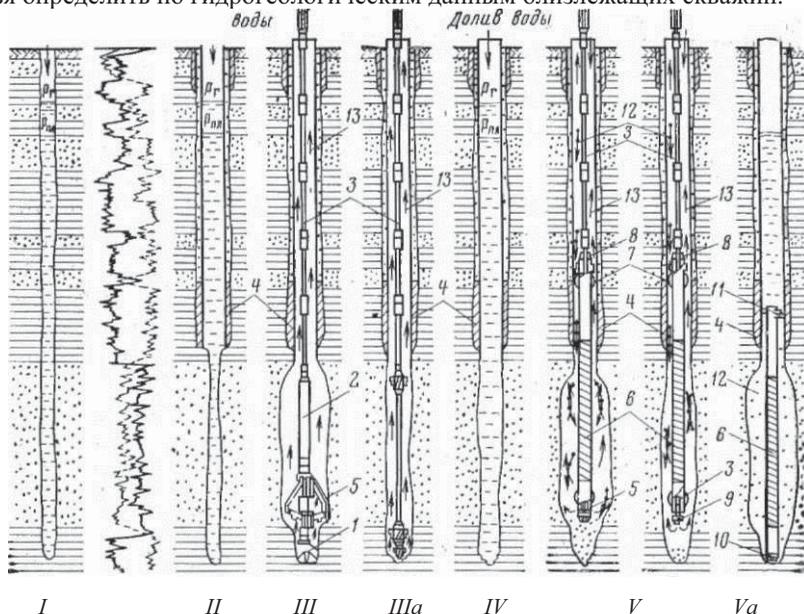


Рисунок 4.8 - Схемы последовательности технологических операций при вскрытии водоносных песков с прямой промывкой водой и создания гравийной обсыпки фильтра

I - бурение разведочной скважины и каротаж; *II* - разбуривание и установка эксплуатационной колонны с цементированием; *III* - расширение ствола скважины механическим расширителем; *IIIa* - вскрытие ствола скважины без уширения; *IV* - поддержание избыточного гидростатического давления в скважине перед опусканием фильтровой колонны; *V* - спуск фильтровой колонны с одновременным уширением скважины гидротурбинным расширителем под гравийную обсыпку и обсыпка фильтра гравием в восходящем потоке; *Va* - спуск фильтра и гравийная обсыпка без уширения ствола скважины; *VI* - заканчивание скважины

1 - пилот-долото; 2 - колонна УБТ; 3 - бурильные трубы; 4 - эксплуатационная колонна; 5 - расширитель; 6 - фильтровая колонна; 7 - центрирующие фонари; 8, 11 - сальники; 9 - переводник с левой резьбой и обратным клапаном; 10 - пробка с клапаном; 12 - гравийная обсыпка; 13 - поток промывочной воды

Первый этап включает бурение разведочной скважины диаметром не более 140 – 150 мм. В этом случае можно бурить с прямой промывкой водой. После подъема инструмента в скважине поддерживается избыточное давление

$$P_r > P_{пл} + 0,03 \text{ МПа.} \quad (4.6)$$

Избыточное давление поддерживается доливом воды в скважину.

После бурения разведочной скважины проводят комплекс электрометрических измерений, по данным которых, с учетом выноса шлама в процессе бурения, определяют интервал установки рабочей части фильтра и глубину спуска эксплуатационной колонны.

Второй этап включает разбуривание ствола скважины до водоносного пласта. Бурение ведется с прямой промывкой наработанным естественным раствором. Ствол скважины закрепляют кондуктором и эксплуатационной колонной и цементируют.

При бурении эксплуатационных скважин первый этап может быть исключен. В этом случае скважину бурят под эксплуатационную колонну до кровли водоносного пласта. Эксплуатационную колонну устанавливают и цементируют согласно проекту.

Третий этап включает следующие технологические операции:

- 1) разбуривание цементной пробки;
- 2) замена бурового раствора, заполняющего эксплуатационную колонну, технической водой (без примесей илистых и глинистых частиц);
- 3) разбуривание водоносного пласта с прямой промывкой водой. При этом возможно разбуривание с уширением ствола скважины механическим расширителем под гравийную обсыпку и без предварительного уширения;
- 4) буровой инструмент поднимают из скважины с доливом воды и поддержанием избыточного гидростатического давления в скважине.

Ствол скважины, подготовленный для спуска фильтровой колонны, представлен на рис. 4.8, этап IV.

По технологии, разработанной в тресте Востокбурвод, возможно совмещение операций по вскрытию водоносного пласта уширенным контуром с одновременной посадкой фильтровой колонны (рис. 4.8, этап V). С этой целью разработана специальная оснастка, включающая гидротурбинный расширитель; переводник с левой резьбой, устанавливаемый у башмака фильтра, для опускания фильтровой колонны на подвесе; пробку-заглушку; устройство для установки разжимного сальника.

По этой схеме фильтровую колонну предварительно монтируют в эксплуатационной колонне 4, после чего в нее спускают колонну бурильных труб 3 и через левый переводник соединяют у башмака фильтровой колонны с гидротурбинным расширителем 5. На надфильтровую часть устанавливают специальную заглушку с сальниковым устройством 8, которое в процессе спуска колонны находится в сжатом состоянии.

Затем фильтровую колонну спускают до кровли водоносного пласта и промывочную жидкость – техническую воду (рис. 4.8, этап V) подают через бурильные трубы 3 к гидротурбинному расширителю 5, установленному под башмаком фильтровой колонны.

Погружение фильтровой колонны, оборудованной центрирующими фонарями 7, осуществляют со скоростью 0,3 – 0,1 м/мин с одновременным

уширением ствола скважины гидротурбинным расширителем до проектной отметки. Перед наращиванием бурильных труб в процессе посадки проводят (иногда до 30 мин) одно- или двукратную проработку пройденного интервала с максимальной промывкой до относительной чистоты забоя и вымыва шлама. При проработке колонну спускают плавно, а подъем осуществляют на первой или второй скорости (для установок УРБ - 3АМ и БА - 15В) во избежание гидродинамических ударов на пласт. При вынужденных паузах в работе бурового насоса в скважину доливают воду для поддержания избыточного пластового давления.

По окончании посадки фильтровой колонны *b* в уширенную водоприемную часть скважины загружают гравий и одновременно в скважину доливают воду. Гравий с водой *12* поступает в кольцевой зазор между стенками скважины и фильтром. Для уплотнения гравийной засыпки и равномерной ее укладки возможна засыпка с одновременной промывкой. Скорость загрузки гравия и интенсивность промывки в этом случае осуществляются по рекомендациям М.Г. Оноприенко во избежание расслоения гравийной обсыпки [93]. При этом скорость восходящего потока должна быть в пределах 0,6 – 1,3 см/с, а интенсивность загрузки гравия 0,05 – 0,06 м³/мин. Скорость восходящего потока в кольцевом пространстве рекомендуется определять по номограмме, разработанной М. Г. Оноприенко [93] (рис. 4.9).

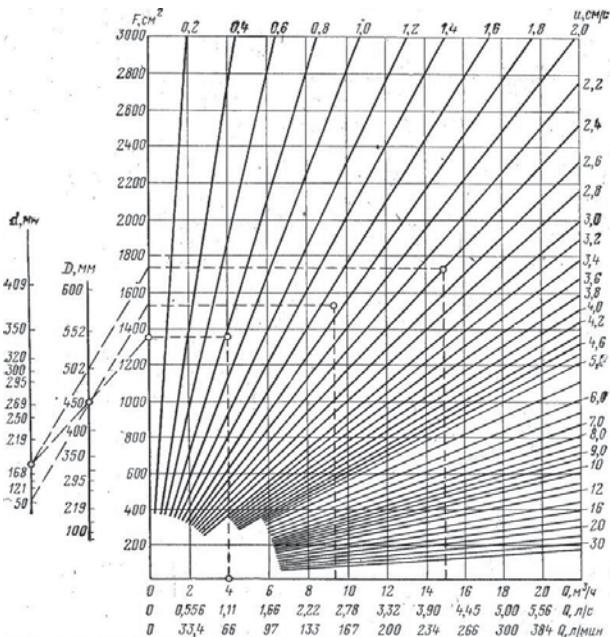


Рисунок 4.9 - Номограмма для определения средней скорости восходящего потока и в кольцевом пространстве, ограниченном

цилиндрическими поверхностями D и d при расходе жидкости $Q \leq 22 \text{ м}^3/\text{ч}$ (по М. Г. Оноприенко)

Пользование номограммой поясняется следующим примером: $D = 450 \text{ мм}$ – диаметр скважины; $d = 168 \text{ мм}$ – диаметр трубы; $u = 0,8 \text{ см/с}$ – заданная скорость восходящего потока. Через точки $d = 168 \text{ мм}$ и $D = 450 \text{ мм}$ на шкалах d и D (рис. 4.9) проводят прямую до пересечения с лучом скорости потока $u = 0,8 \text{ м/с}$. Полученную точку сносят на ось Q и определяют требуемый расход интенсивности промывки $Q = 4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

С целью равномерной обсыпки фильтра гравием фильтровую колонну в период засыпки рекомендуется слегка встряхивать, поднимая ее на $5 - 10 \text{ см}$ от забоя (при условии неглубоких скважин).

Практика показала, что для более надежной изоляции межтрубного пространства, а также резерва гравия на период эксплуатации скважины, заход фильтровой колонны (надфильтровой части) в эксплуатационную должен быть не менее $10 - 15 \text{ м}$.

После установки фильтровой колонны 6 на место (рис. 4.8, этап V) и создания гравийной обсыпки фильтра бурильные трубы 3 отвинчивают от левого переводника и извлекают. При этом корпус разжимного сальника 8 также извлекают из скважины вместе с бурильными трубами, и сальник 11 надежно изолирует кольцевой зазор между эксплуатационной и фильтровой колоннами (рис. 4.18, этап VI).

На схеме (рис. 4.18, этап Va) приведен вариант, когда фильтр спускают в скважину без образования уширенного контура в водоносном пласте под гравийную обсыпку. В этом случае переводник с левой резьбой устанавливают на башмаке фильтра с обратным клапаном. Технология производства работ по гравийной обсыпке аналогична приведенной на рис. 4.18, этап V.

Готовую скважину (рис. 4.18, этап VI) испытывают откачкой.

Технология вскрытия водоносных пластов с прямой промывкой водой и созданием гравийно-засыпных фильтров требует четкой организации работ, хорошей технической оснастки и максимального сокращения времени цикла, вскрытия пласта, установки фильтра, гравийной обсыпки и откачки [63].

Во время цементировании эксплуатационной колонны и схватывания цемента проводят следующие подготовительные работы [63]:

- 1) очистку отстойника, подготовку запасных емкостей под воду, обеспечение (при необходимости) отвода промывочной жидкости от скважины, миную отстойник;

- 2) прокладку временного водопровода к емкостям, если источник воды находится недалеко. При удалении источника воды от буровой необходимо предусмотреть наличие не менее двух автоцистерн вместимостью 4 м^3 , чтобы обеспечить в установленные сроки доставку на буровую не менее 50 м^3 воды;

- 3) очистку, смазку и проверку резьбы муфты переводника с левой резьбой так, чтобы он легко навинчивался на ниппель («от руки»);

4) проверку фильтровой колонны и подготовку для спуска в скважину, для чего к нижней ее части приваривают с помощью опорного фланца муфтовый переводник с левой резьбой, снабженный обратным клапаном;

5) на фильтровую колонну наваривают центрирующие фонари (по три штуки на каждую муфту) с таким расчетом, чтобы они проходили внутри эксплуатационной колонны;

6) подготовку гравия, просеивание его и доставку к устью скважины;

7) проведение профилактического осмотра бурового оборудования при обращении особого внимания работе насоса (сальник, манометр, напорный шланг и т. д.), так как его выход из строя может привести к аварии в скважине;

8) в комплекте инструмента предусматривают одну – две укороченные бурильные трубы (длиной 3 – 4 м), если в разрезе встретятся крупные фракции водоносного горизонта, которые не выносятся из скважины и, осажаясь во время перерыва в бурении, не позволят наращивать трубы нормальной длины.

Водоносный пласт находится в устойчивом состоянии при соблюдении условия устойчивости:

$$P_r - P_{пл} \geq \Delta P \quad \text{при } \Delta P = 0,03 - 0,05 \text{ МПа.}$$

Устойчивость стенок скважины гарантируется наличием избыточного гидростатического давления воды в скважине над пластовым и отсутствием гидродинамических импульсных волновых колебаний, возникающих при неосторожном ведении спускоподъемных операций, промывке скважины и других явлениях.

Избыточное гидростатическое давление в скважине вызывает некоторое поглощение воды в пласт, которое сопровождается положительными фильтрационными силами, поддерживающими устойчивость стенок скважин. Интенсивность поглощения воды при вскрытии неустойчивых водоносных пластов с прямой промывкой водой в условиях Западной Сибири при проведении различных технологических операций в скважине, приведена на рис. 4.15 [63].

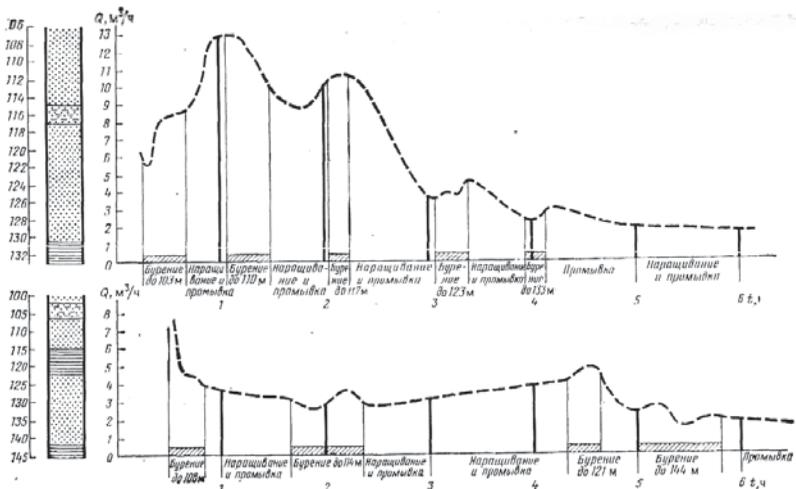


Рисунок 4.10 - График поглощения воды при различных технологических операциях при вскрытии пласта

Производственный опыт позволяет рекомендовать методику расчета количества воды, необходимого для вскрытия водоносных песков с прямой промывкой водой и создания гравийной обсыпки фильтров.

Общая потребность воды для вскрытия водоносного пласта и создания гравийно-засыпного фильтра определяется выражением

$$Q = Q_B + Q_{ГР}, \quad (4.7)$$

где Q_B – потребное количество воды для вскрытия, m^3 ; $Q_{ГР}$ – потребное количество воды для создания гравийно-засыпного фильтра, m^3 .

Количество воды, необходимое для вскрытия водоносного пласта, представленного песками, рассчитывают по формуле

$$Q_B = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (4.8)$$

где Q_1 – объем воды, необходимый для замены промывочного раствора, заполняющего скважину перед вскрытием, m^3 ; Q_2 – объем воды, необходимый для заполнения ствола скважины, вскрывшей водоносный пласт, m^3 ; Q_3 – объем воды, необходимый для восполнения поглощения в процессе вскрытия пласта, m^3 ; Q_4 – объем воды, необходимый для восполнения поглощения в процессе проработки ствола, каротажных работ и спуска фильтровой колонны, m^3 .

Рассмотрим значение каждой из составляющих уравнение величин.

$$Q_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} H_1 k_1, \quad (4.9)$$

где D_1 – внутренний диаметр эксплуатационной колонны, м; H_1 – длина эксплуатационной колонны, м; k_1 – коэффициент, учитывающий число циклов промывки, необходимое для полного замещения глинистого раствора водой ($k_1 = 1,5 \pm 2$).

$$Q_2 = \frac{\pi(D_2 \times k_2)^2}{4} H_2, \quad (4.10)$$

где D_2 – диаметр скважины, вскрывшей водоносный пласт, м; k_2 – коэффициент, учитывающий увеличение при частичном размыве пород водой во время бурения (для среднезернистых песков $k_2 = 1,27 \pm 1,3$); H_2 – длина интервала от кровли пласта до забоя скважины, м.

$$Q_3 = Q_n T k, \quad (4.11)$$

где Q_n – подача бурового насоса, м³/ч (при работе на выброс). При очистке обогащенной шламом воды с последующим ее использованием, вводят понижающий коэффициент ($k_{\text{щирк}} = 0,2 \dots 0,3$); T – время вскрытия пласта, ч; k – коэффициент поглощения.

$$Q_4 = Q_n T_1 k, \quad (4.12)$$

где T_1 – время, необходимое на проработку ствола скважины, подъем инструмента, каротажные работы и спуск фильтровой колонны, ч (берется по нормам времени на перечисленные операции).

Количество воды, необходимое для создания гравийной обсыпки фильтра при одновременной промывке скважины, определяется выражением

$$Q_{\text{гр}} = Q_n T_{\text{гр}}, \quad (4.13)$$

где Q – подача бурового насоса при загрузке гравия, определяемая по номограмме (рис. 4.13), м³/ч; $T_{\text{гр}}$ – время для создания гравийной обсыпки, ч

$$T_{\text{гр}} = V_{\text{гр}} / u_{\text{гр}}, \quad (4.14)$$

где $V_{\text{гр}}$ – расчетный объем гравия для обсыпки фильтра, м³; $u_{\text{гр}}$ – рекомендуемая интенсивность загрузки гравия, м³/ч (по данным М.Г. Оноприенко [93] принимается равной 0,05 – 0,06 м³/мин или 3 – 3,6 м³/ч); $u_{\text{гр}}$ – для различных глубин и конструкций скважин должна уточняться.

Методика расчетов гравийной обсыпки фильтров при вскрытии водоносных песков вращательным бурением с прямой промывкой водой имеет некоторые особенности. Количество гравийно-песчаной смеси для обсыпки фильтров рекомендуется рассчитывать по формуле В.М. Гаврилко

$$V_{\text{гр}} = (D^2 - d^2) l \alpha \pi / 4, \quad (4.15)$$

где $V_{\text{гр}}$ – требуемый объем гравия, м³; D – диаметр скважины, м; d – наружный диаметр каркаса фильтра, м; l – длина фильтра, м; α – коэффициент растекания, $\pi/4 \approx 0,785$.

Практикой установлено, что коэффициент растекания для обсыпки фильтров в скважинах, пробуренных вращательным способом с промывкой водой, для условий неустойчивых водоносных песков следует брать в пределах: $\alpha = 2 \div 3$, что обуславливается повышенным кавернообразованием.

Размер зерен гравия для обсыпки рекомендуется рассчитывать по формуле

$$D_{\text{гр}} = (6 \div 10) d_n, \quad (4.16)$$

где $D_{\text{гр}}$ – диаметр зерен гравия; d_n – диаметр минимального зерна из 10 % остатка образца пород водоносного пласта после отсева.

Следует максимально стремиться к применению гравия, однородного по гранулометрическому составу, что обеспечит наибольшую активную пористость обсыпки.

Ниже (табл. 4.14) приведены данные В.И. Фоменко [130], характеризующие изменение активной пористости гравийной обсыпки при различных коэффициентах неоднородности.

Таблица 4.14 - Изменение активной пористости гравийной обсыпки при различных коэффициентах неоднородности

Коэффициент неоднородности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пористость, %	47,0	42	40	39	38	37	36,5	36	35,7	35,5

При применении неоднородной гравийной смеси для обсыпки фильтров при одновременной промывке зафильтрованного пространства водой следует учитывать, что скорость падения различных частиц гравия разная, это может привести к послойному формированию гравийной обсыпки. Ниже (табл. 4.15) приведены данные о скорости и времени падения частиц гравия различных размеров (для ориентировочных расчетов без учета стесненных условий падения частиц и вращения бурильных труб в скважине).

По данным исследований М.Г. Оноприенко [93], скорость восходящего потока воды при загрузке гравийной смеси в скважину должна быть в 1,5 – 4 раза меньше скорости свободного осаждения в воде минимального диаметра частиц материала обсыпки, допустимого для водоносного песка.

При транспортировке песчано-гравийного материала по кольцевому пространству скважины к забою происходит его расслоение.

Таблица 4.15 - Скорости и время падения частиц гравия в зависимости от его крупности

Размер зерен гравия (песка), мм	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2	4	5	10
Скорость падения в спокойной жидкости (воде), м/мин	1,8	2,6	4,0	5,6	6,8	8	10,8	13,2	18
Время падения на глубину 100 м в спокойной жидкости, мин	92	65	41	30	24	20	15	12	9

При равномерной загрузке материал обсыпки расслаивается лишь в начальный и завершающий периоды обсыпки, поэтому непрерывность процесса загрузки гравия в скважину при обсыпке фильтров является основным условием предотвращения расслоения.

Практикой и исследованиями треста Молдбурвод [93] установлено, что оптимальный режим интенсивности засыпки гравия в скважину в мелких песках должен составлять 1 – 2 г/(с · см²). Для уменьшения расслоения при длине пути транспортировки разнозернистой обсыпки более 100 м интенсивность его загрузки должна быть не более 0,5 – 0,8 г/(с · см²). При

использовании для гравийной обсыпки разнородного неоднородного материала в процессе транспортировки можно его очищать гидравлическим способом от мелкой фракции путем подбора требуемых скоростей восходящего потока промывочной воды в кольцевом пространстве и соответственно регулировкой количества воды, подаваемой буровым насосом.

В конкретном числовом выражении расслоение гравия при обсыпке выражается зависимостью [93]

$$V_i = \Delta T_i \sum_l n_l F_l / F_2 (l - m); \quad (4.17)$$

$$V = \sum_l V_l, \quad (4.18)$$

где V_i – объем скважины, заполненной песчано-гравийным материалом, по интервалам длины скважины ($i_1, i_1+i_2, i_1+i_2+i_3$ и т.д.); ΔT_i – продолжительность осаждения фракции; n_l – объем загрузки частиц каждой фракции на единицу площади поперечного сечения кольцевого зазора, $\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$; F_1, F_2 – площади кольцевого зазора соответственно на участках транспортировки и накопления материала обсыпки; m – пористость обсыпки; V – суммарный объем расслоенного интервала, выраженный в сантиметрах длины скважины.

Оптимальная концентрация твердых частиц в воде определяется зависимостью

$$s = \sum_l n_l / us_l, \quad (4.19)$$

где s – концентрация твердых частиц в единице объема воды; us_l – относительная скорость движения частиц в потоке воды, $\text{см}/\text{с}$.

Установлено, что оптимальной является концентрация гравийной обсыпки в воде в пределах 10 %. Следует также учитывать особенности и методику расчета интенсивности промывки скважины при вскрытии водоносных песков с прямой промывкой водой.

Для оценки способности восходящего потока воды транспортировать частицы разбуренной породы рекомендуется пользоваться методикой Д.Н. Башкатова [9].

Принимаем следующую размерность обозначений: Q – подача бурового насоса, л/с (для насоса 11Гр $Q = 4,5$ л/с); Q_n – поглощение промывочной жидкости, л/с; D – диаметр скважины, см; F – площадь кольцевого зазора, см^2 ; d – диаметр бурильных труб, см; l – характерный размер частиц шлама, см; g – ускорение свободного падения; γ_1 – плотность породы ($2,6 \text{ г}/\text{см}^3$); γ_2 – плотность восходящего потока ($1 - 1,2 \text{ г}/\text{см}^3$); c_x – коэффициент лобового сопротивления для частиц шлама; ω – средняя скорость восходящего потока, $\text{см}/\text{с}$ ($\omega = (Q - Q_n) / F$); $\omega_{кр}$ – критическая скорость для данных частиц шлама.

Для обеспечения выноса шлама (разбуренного песка) должно быть выполнено условие

$$\omega_{кр} \leq \omega. \quad (4.20)$$

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2gl}{c_x''} \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_2} - 1 \right)}; \quad (4.21)$$

$$c_x = 1,67 \left(\frac{D-d}{l} \right)^{-0,18}, \quad (4.22)$$

откуда

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2gl}{1,67 \left(\frac{D-d}{l} \right)^{-0,18}} \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_2} - 1 \right)};$$

или

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2gl^{0,28} (D-d)^{0,18}}{1,67} \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_2} - 1 \right)}. \quad (4.23)$$

Подставляя ω и $\omega_{\text{кр}}$ в неравенство (4.20) и решая полученное уравнение, находим предельное значение для l по формуле Шумилова

$$\omega = \sqrt{\frac{2gl^{0,28} (D-d)^{0,18}}{1,67 \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_2} - 1 \right)}}. \quad (4.24)$$

Для наших условий величина ω определяется выражением

$$\omega = \frac{Q - Q_n}{F}. \quad (4.25)$$

Возведя обе части уравнения во вторую степень, определим l :

$$2gl^{0,28} (D-d)^{0,18} \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_2} - 1 \right) = \omega^2 1,76,$$

или

$$l^{0,28} = \frac{\omega^2 1,76}{2g (D-d)^{0,18} \left(\frac{\gamma_l}{\gamma_2} - 1 \right)}. \quad (4.26)$$

Подставляя численные значения и логарифмируя, находим теоретическую величину l , размер которой рекомендуется проверить по обобщенной формуле Реттингера

$$\omega_{\text{кр}} = k \sqrt{1 \frac{\gamma_l - \gamma_2}{\gamma_2}}, \quad (4.27)$$

где k – коэффициент, зависящий от формы частиц. Для частиц круглой формы $k = 50$, для частиц неправильной формы $k = 25 \div 40$. Данные расчета применимы для условий, когда промывочная жидкость (вода) движется в скважине без вращения колонны бурильных труб. В момент вскрытия водоносного пласта вращающаяся колонна бурильных труб создает благоприятные условия для выноса шлама в результате вращения промывочной жидкости. Исследованиями В.П. Логинова, Ю.М. Носовского [9] и другими установлено, что в результате вращения колонны бурильных труб в скважине,

заполненной водой, устанавливается состояние развитой турбулентности. Данные расчета показывают, что при бурении с промывкой водой (кинематическая вязкость воды $\nu = 0,01 \text{ м}^2/\text{с}$) в случае использования колонны бурильных труб диаметром 73 мм с частотой вращения около 100 об/мин, число Рейнольдса, определяемое выражением

$$\text{Re} = \omega r^2 / \nu, \quad (4.28)$$

составляет $\text{Re} \approx 2,1 \times 10^3$.

Скорость вращения жидкости пропорциональна окружной скорости бурового снаряда. В этом случае результирующая скорость будет равна геометрической сумме скоростей: окружной $v_{\text{окр}}$ и поступательной c , направленной вертикально

$$\omega = \sqrt{v_{\text{окр}}^2 + c^2}. \quad (4.29)$$

Эта результирующая скорость будет направлена по винтовой линии с углом подъема, зависящим от величины приведенных скоростей. Таким образом, результирующая скорость будет всегда больше c , т. е. с увеличением частоты вращения бурового снаряда при прочих равных условиях очистка забоя скважины будет улучшаться.

Дополнительная скорость от вращения колонны бурильных труб определяется выражением

$$v_{\text{окр}} \approx 28 (v/s)^{1/3},$$

где v – объем частицы; s – площадь частицы.

На основе практического опыта и наблюдений в момент вскрытия водоносного пласта с вращением колонны бурильных труб рекомендуется расчетный размер частиц шлама увеличивать в 2 – 3 раза, т. е. $l_{\text{пр}} / l_{\text{теор}} = 2 \div 3$ ($l_{\text{пр}}$ – размер частиц шлама, выносимых из скважины в момент вскрытия пласта с вращением бурильного вала; $l_{\text{теор}}$ – теоретический (критический) размер частиц шлама, рассчитанный по формулам для условий прямолинейного движения промывочной жидкости).

Из проведенного анализа и расчетов вытекают важные для практики выводы.

1. Перед наращиванием бурильных труб в процессе вскрытия водоносного пласта с прямой промывкой водой необходимо проработать ствол скважины при одновременном вращении колонны бурильных труб. Время проработки и промывки должно определяться по формуле

$$T = H / (2(\omega - \omega_{\text{кр}})), \quad (4.30)$$

где T – время проработки с промывкой, с; H – глубина интервала, см; $\omega_{\text{кр}}$ – расчетная скорость падения частиц шлама в жидкости, см/с; ω – расчетная скорость восходящего потока промывочной жидкости, см/с.

При вращении долота и бурильных труб вращающаяся жидкость в скважине ускоряет движение шлама; при избыточном гидростатическом давлении промывочной жидкости на пласт и действии фильтрационных сил происходит интенсивный механический кольматаж стенок скважины, что

значительно снижает удельное водопоглощение в процессе вскрытия пласта и способствует повышению устойчивости стенок скважины.

Практические наблюдения и производственный опыт показывают, что при вскрытии водоносного пласта, представленного различными песками, с промывкой чистой водой интенсивность удельного водопоглощения в десятки раз меньше, чем удельное водопроявление при откачке воды из скважины.

Интенсивность водопоглощения зависит от избыточного давления на пласт, водопроницаемости пласта, режима бурения, интенсивности гидродинамических воздействий на водоносный пласт в процессе спуско-подъемных операций, степени механического кольматажа шламом пор пласта, вскрытого скважиной.

Из рис. 4.10 видно, что удельное водопоглощение по приведенным скважинам составляет от 0,15 до 0,4 м³ на 1 м пласта. Удельное водопоглощение (м³/(м·ч)) определяется выражением:

$$g = (Q_n - Q_{возв}) / H, \quad (4.31)$$

где Q_n – количество воды, поданное буровым насосом, м³/ч; $Q_{возв}$ – количество воды после циркуляции, м³/ч.

По данным наблюдений Д. Н. Башкатова и М. Г. Оноприенко, в Молдавии удельное водопоглощение в мелкозернистые пески в сотни раз меньше, чем удельное водопроявление после освоения скважины откачкой [93]. Это зависит в основном от интенсивного механического кольматажа стенок скважин.

Таким образом, при вскрытии бурением с прямой промывкой водой водоносного пласта, представленного песками, на выносимый шлам (песок с размером частиц от 0,01 до 2 мм) действуют сложные силы, обуславливающие движение этого шлама в кольцевом зазоре между стенками скважины и вращающейся колонной бурильных труб в условиях турбулентного режима течения промывочной воды.

При вращении бурового снаряда путь подъема каждой частицы идет по синусоиде, причем кривизна ее зависит от частоты вращения снаряда. Однако В.П. Логинов, Ю.М. Носовский и В.Л. Ваксман не учитывали действия на частицы шлама, движущиеся в кольцевом зазоре между стенками вскрываемого пласта и колонной бурильных труб, фильтрационных сил, обусловленных частичным поглощением воды в пласт.

Очевидно, что частицы шлама находясь в процессе транспортировки от забоя на дневную поверхность, подвергаются действию следующих сил: подъема восходящего потока воды в скважине; инерционных от закручивания потока вращающейся колонной бурильных труб; фильтрационных от поглощения промывочной жидкости в пласт при его вскрытии; тяжести и лобового сопротивления.

Скорость фильтрации воды в пласт в призабойной части в момент вскрытия рассчитывают по формуле

$$u_{\delta} = \frac{Q_f}{2\pi \cdot r \cdot l \cdot n}, \quad (4.32)$$

где r – радиус скважины в интервале пласта, м; l – длина участка интенсивного поглощения, м; n – активная пористость водоносных пород.

Этот поток также воздействует на частицу шлама (песка), находящуюся в интервале поглощения. При этом силу гидродинамического давления потока на частицу песка при инфильтрации можно определить по выражению

$$p = c \frac{\pi d_q^2 u_\phi^2}{4} \frac{\gamma_2}{2g}, \quad (4.33)$$

где c – коэффициент лобового сопротивления (гидродинамическая характеристика), принимается для условий турбулентного движения потока в скважине; d_q – условный диаметр частицы шлама (песка), м; g – ускорение свободного падения, м/с²; γ_2 – плотность потока воды в скважине, кг/м³; u_ϕ – скорость движения фильтрационного потока в интервале поглощения, м/с.

Как видно, весьма сложное движение частицы песка в потоке воды при вскрытии пласта приводит к расслоению шлама по крупности зерен в плоскости, перпендикулярной к оси скважины. В результате турбулизации потока самая низкая скорость движения потока находится у стенки скважины, куда перемещаются частицы песка. Эти частицы, очевидно, подхватываются потоком воды, инфильтрующимся в пласт, и под действием гидродинамических сил и сил трения, обусловленных давлением потока, перекрывают поры и каналы пористого коллектора пласта, сводя к минимуму его способность к водопоглощению.

Таким образом, суммарная сила, действующая на частицу шлама (песка) в турбулентном потоке в интервале поглощения пласта, является векторной величиной и зависит от многих факторов.

Неоднородность гранулометрического состава пород водоносного пласта способствует эффективному применению технологии вскрытия водоносного пласта с прямой промывкой водой. При этом мелкие частицы песка играют роль природного клапана вследствие механического кольматажа поверхности стенок скважины. В процессе освоения скважины, под действием фильтрационных сил при движении воды из пласта, происходит интенсивный декольматаж без особых затрат времени и средств, и мелкие частицы песка открывают поры пласта и выносятся через фильтр или гравийную обсыпку.

Применение технологии вскрытия водоносных пластов с прямой промывкой водой практически возможно при условии обеспечения выноса песка при заданных параметрах конструкции скважины. По данным исследований Ю.М. Носовского [9] максимальный диаметр выносимых частиц вычисляют по формуле

$$d = \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma_2} \sqrt{v_{ie\delta}^2 + u_a^2} \frac{u}{k^2}, \quad (4.34)$$

где γ_1 – плотность частицы породы; γ_2 – плотность воды; $v_{окр}$ – скорость движения частицы под действием центробежных сил в турбулентном потоке; u_6 – скорость восходящего потока; k – коэффициент, зависящий от формы

частицы (для частиц с круглой формой $k = 50$, для частиц неправильной формы $k = 25 \div 40$).

Накоплен положительный опыт сооружения водозаборных скважин с гравийно-засыпными фильтрами в восходящем потоке при прямой промывке водой в Молдавии. Этот опыт рассмотрен М. Г. Оноприенко [93].

На рис. 4.11 приведена технологическая последовательность операций по вскрытию водоносного пласта, представленного песками, и созданию гравийно-засыпного фильтра.

Первый этап (рис. 4.11, II) – бурение пилот-скважины диаметром 146 мм, электрокартаж и выбор интервалов установки рабочей части фильтра.

Второй этап (рис. 4.15, II) – расширение скважины диаметром 350 – 500 мм до кровли водоносного пласта с промывкой глинистым раствором, крепление скважины колонной обсадных труб и цементирование затрубного пространства.

Третий этап (рис. 4.11, III) – вскрытие водоносного пласта с промывкой водой, обрушение песков, промывка с обратной циркуляцией воды, установка фильтровой колонны труб, зафильтровая промывка, обсыпка фильтра песчано-гравийной смесью в восходящем потоке воды.

Четвертый этап (рис. 4.11, IV) – испытание скважины, досыпка песчано-гравийной смеси на заданную глубину, подготовка к эксплуатации.

При создании гравийной обсыпки уширенного контура технологический процесс включает: вскрытие водоносного пласта с промывкой водой расширяющимся долотом диаметром 450 – 600 мм, установку фильтровой колонны труб, зафильтровую промывку водой, обсыпку фильтра песчано-гравийной смесью уширенного контура в восходящем потоке воды (рис. 4.11, V).

Процесс испытания скважины, оборудованной засыпным фильтром уширенного контура, и подготовка к сдаче ее в эксплуатацию показан на рис. 4.11, VI.

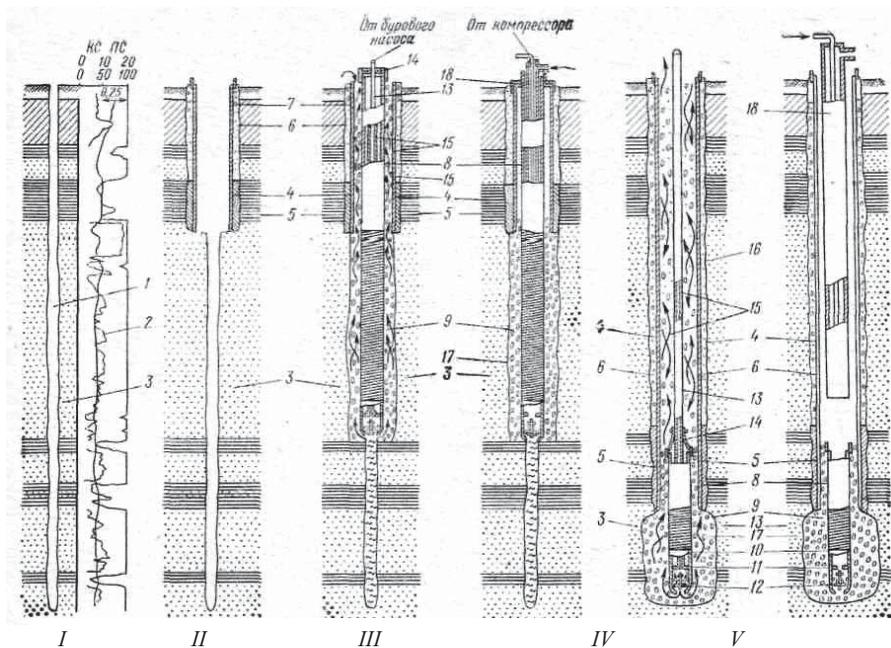


Рисунок 4.11 - Схемы технологических операций по вскрытию водоносного пласта и созданию гравийной обсыпки фильтра с прямой промывкой водой
(по М.Г. Оноприенко)

1 – пилот-скважина; 2 – электрокаротажная диаграмма; 3 – водоносные пласты; 4 – интервал скважины большого диаметра, пройденный с промывкой глинистым раствором и обсаженный колонной труб; 5 – зацементированное кольцевое пространство; 6 – кольцевое пространство, затампонированное глинистым раствором; 7 – забетонированное кольцевое пространство у устья; 8 – фильтровая колонна; 9 – рабочая часть фильтра; 10 – отстойник фильтра; 11 – левое муфтовое соединение донной части фильтра с бурильными трубами; 12 – обратный клапан; 13 – бурильные трубы; 14 – герметизирующее приспособление; 15 – направление движения промывочной жидкости; 16 – направление движения песчано-гравийной смеси; 17 – песчано-гравийный фильтр; 18 – эрлифт

В тресте Промбурвод также применяли технологические приемы по созданию гравийно-обсыпных фильтров уширенного контура в водоносных песках. Последовательность проведения технологических операций, по данным С.Л. Драхлиса [51], приведена на рис. 4.12.

Вначале скважину бурят с промывкой глинистым раствором до проектной глубины заданным диаметром (рис. 4.12, I). По данным геофизических исследований уточняют интервалы установки рабочей части фильтра. При необходимости скважину закрепляют обсадными трубами с цементированием до кровли водоносного пласта. Затем глинистый раствор

заменяют водой и при помощи механического расширителя поинтервально расширяют ствол вращательным бурением с прямой промывкой водой. Для этих целей применяют гидромеханический расширитель с режущими лопастями, раздвигающимися под давлением нагнетаемой через бурильные трубы воды; лопасти складываются при снятии давления. Применяют также эксцентриковый механический расширитель. По окончании расширения ствола скважины (рис. 4.12, *IV*) лопасти расширителя складывают, и снаряд извлекают из скважины.

В скважину на бурильных трубах спускают фильтр с направляющими фонарями. Фильтр обсыпают гравием по кольцевому зазору между стенками скважины и фильтром. По данным С.Л. Драглиса [34], при расширении скважины в мелких песках удельное водопоглощение составляет $0,0013 \text{ м}^3/\text{мин}$.

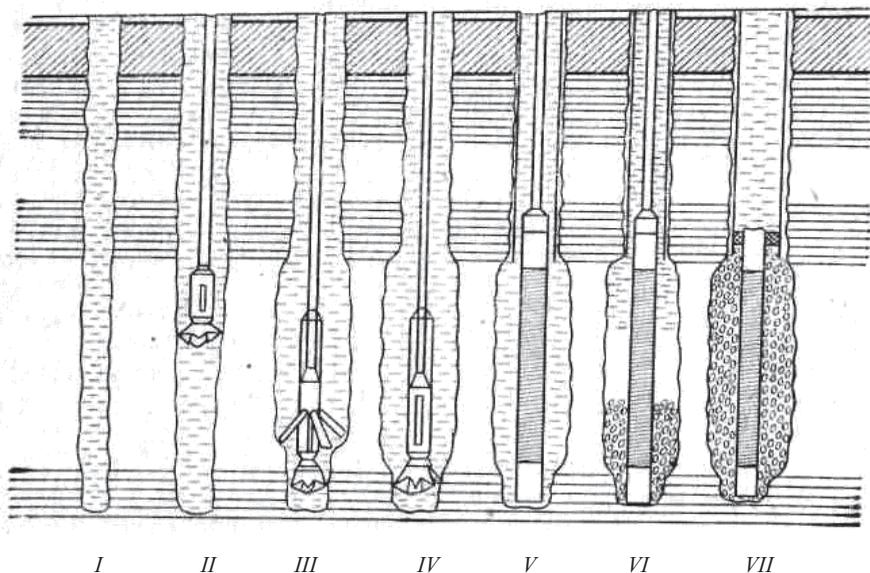


Рисунок 4.12 - Схема создания гравийного фильтра уширенного контура (опыт треста Промбурвод)

I – ствол скважины после окончания бурения; *II* – спуск расширителя; *III* – расширение ствола скважины; *IV* – подъем расширителя; *V* – спуск фильтровой колонны; *VI* – создание гравийно-засыпного фильтра; *VII* – заканчивание скважины

Как отмечает А.Д.Башкатов [5], технология закачки гравия в скважину отличается простотой проведения работ. В процессе закачки гравия мелкие некондиционные частицы вымываются на поверхность, а однородный гравийный материал осаждается вокруг каркаса фильтра.

К отрицательной стороне применения данной технологии можно отнести:

- при порционной подаче гравия в скважину увеличивается разделение его по фракциям в восходящем потоке жидкости;

- при использовании для закачки гравия вязких жидкостей скорость осаждения гравийных частиц уменьшается, а время доставки гравия в зону фильтра и его расслоение увеличивается. Применение маловязкой жидкости при вскрытии пластов вызывает, как правило, значительную кольматацию прифильтровой зоны, что снижает дебит скважины и время ее эксплуатации;

- в результате горизонтального расслоения гравия обсыпка получается слоистой. Через пропластки фильтра, сложенного частицами более крупного гравия, возможен вынос песка в скважину. Если материал гравийной обсыпки выбирался таким образом, что самые крупные фракции гравия превышали размер частиц песка не более чем в шесть раз (в соответствии с рекомендациями [139]), то через слои гравия более крупного размера пескования не происходит, но пропластки гравия, сложенного более мелкими фракциями, будут работать неэффективно вследствие их переуплотнения и низкой проницаемости;

- кроме горизонтального, имеет место и вертикальное расслоение гравия по фракциям (рис 4.13). Вследствие незначительных скоростей восходящего потока и небольших расходов жидкости, при значительной толщине гравийного фильтра восходящий поток проходит через уже намытый гравийный материал только по части каналам. Над каналами происходит зависание мелких гравийных частиц, а более крупные осаждаются вокруг каналов. Таким образом, эффективная толщина гравийной обсыпки, необходимая для задержания песка при определенных значениях коэффициента межслойности, будет меньше расчетных значений за счет вертикального разделения гравия по фракциям;

- при выносе мелких частиц гравийного материала через каркас фильтровой колонны, осаждаемых над каналами в гравийном фильтре в процессе откачки, возможно образование пустот, что приводит к выходу скважины из строя в течение первых трех месяцев со дня начала эксплуатации.

- при движении частиц в восходящем потоке жидкости в кольцевом пространстве скважины часто образуются пробки [127, 141]. Некоторые частицы не выносятся на поверхность даже при форсированных режимах промывки [134]. Часть частиц твердой фазы налипают на стенки скважины и эксплуатационную колонну, что способствует образованию пробок у направляющих фонарей и других ограничителей потока. С ростом глубины скважины вероятность пробкообразования в скважине возрастает. Этому процессу способствует усложнение конструкции скважины. В местах перехода на другой диаметр бурения вероятность образования гравийных пробок возрастает. Работа по ликвидации пробкообразования в скважине значительно увеличивает время сооружения гравийного фильтра, что экономически невыгодно.

- в начальный период эксплуатации размер пор значительно превышает расчетные значения. Это приводит к массовой миграции частиц песка через

гравийную обсыпку, закупорке пор и частичному выносу песка из скважины, снижению эффективной пористости. В процессе проседания гравийного материала в фильтре возможно образование открытых каналов арочных, мостовых структур, что приводит к длительному пескованию скважины породой водоносного горизонта.

Технология сооружения гравийных фильтров в восходящем потоке жидкости применяется при небольшой глубине скважин и значительных кольцевых зазорах.

Техническая вода, применяемая в качестве промывочной жидкости при вскрытии водоносного пласта, имеет следующие преимущества по сравнению с другими растворами:

- 1) отсутствует твердая фаза, глубоко проникающая в поры пласта при его вскрытии;
- 2) она не реагирует с породами водоносного пласта и насыщающей его водой;
- 3) стабильна при высокой температуре в контакте с пластовой водой;
- 4) нет необходимости в проведении дорогостоящих работ для удаления из скважины и пор пласта продуктов кольматажа после его вскрытия и оборуодования водоприемной части.

Успешное применение способа вскрытия водоносного пласта с промывкой водой с гравийной обсыпкой фильтра возможно при следующих условиях:

- 1) пьезометрический уровень вскрываемого водоносного горизонта не должен доходить до поверхности земли на 3 – 5 м;
- 2) для поддержания устойчивости песков необходимо и достаточно превышение гидростатического давления над пластовым на 0,03 МПа;
- 3) кровля водоносного пласта должна быть достаточно устойчивой (глины, плотные суглинки и т. д.);
- 4) гранулометрический состав песков не должен содержать более 10 – 15 % гравия, в противном случае затруднится очистка забоя;
- 5) вся вышележащая над водоносным пластом толща пород должна быть обсажена, т. е. с промывкой технической водой вскрывают непосредственно лишь водоносные пески;
- 6) необходима четкая организация рабочего процесса с хорошей технической оснасткой с целью максимального сокращения цикла вскрытие – откачка.

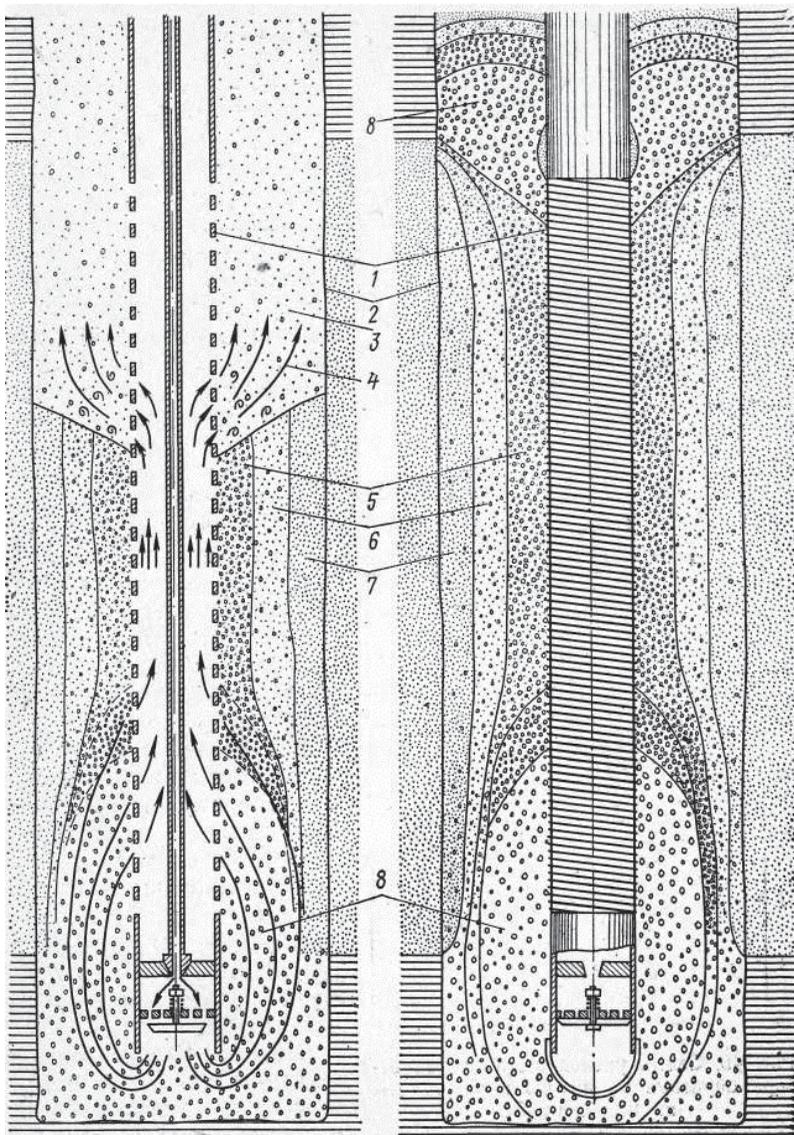


Рисунок 4.13 - Формирование структуры гравийно-обсыпного фильтра в восходящем потоке воды

- 1 - фильтровый каркас; 2 - стенки скважины; 3 - зафильтровое пространство;
 4 - направление движения воды в процессе осаждения гравия; 5 - внутренний контур обсыпки; 6 - средний контур обсыпки; 7 - наружный контур обсыпки; 8 - участки максимальной крупности частиц

Вскрытие рыхлых водоносных пластов с промывкой водой имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими способами, когда используются различные растворы (глинистые, меловые, азрированные и др.):

1) из операций, сопутствующих сооружению скважины, полностью исключается длительная трудоемкая и не всегда качественная разглинизация водоносного пласта;

2) происходит, как правило, полное восстановление дебита водоносного пласта;

3) в несколько раз уменьшается время на проведение пробной откачки.

Если невозможно вскрыть водоносный пласт с промывкой водой, то предпочтение следует отдавать водогипановым растворам. Технологические операции по вскрытию пласта и создание гравийно-засыпных фильтров с применением водогипановых растворов аналогичны приведенной технологии с прямой промывкой водой.

4.3.2.2. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с обратной промывкой промывочной жидкостью

Вскрытие водоносных пластов с обратной промывкой дает наибольший эффект по сравнению с другими способами, так как сохраняются естественные условия пористости и проницаемости пласта. Этот способ позволяет вскрывать пласт при диаметрах бурения от 500 до 1000 мм и более. Опыт бурения показывает преимущества этого способа даже по сравнению со способом вскрытия пласта ударно-канатным бурением. Дебиты скважин при вскрытии пласта с обратной промывкой в песках в 1,5 – 2 раза превышают дебиты аналогичных скважин, где пласты вскрыты ударно - канатным бурением. Для применения обратной промывки при вскрытии пласта основными являются следующие условия:

1. Пластовое давление для неустойчивых и слабоустойчивых водоносных пластов должно быть на 0,04 – 0,05 МПа менее полного гидростатического давления столба жидкости в скважине.

2. Запас воды должен быть достаточным, чтобы компенсировать водопоглощение в пласт при избыточном давлении на пласт не менее 0,05 МПа.

Ориентировочный расход воды для различных гидрогеологических условий показан в табл. 4.16 [61].

Таблица 4.16 - Расход воды для различных гидрогеологических условий

Породы водоносного пласта	Расходы воды, л/с
Мелкозернистые глинистые пески	0,5 – 2
Среднезернистые хорошо отсортированные пески	10 – 15
Крупнозернистые пески	20 – 30
Гравелистые пески и гравийно-галичниковые отложения	До 50

Расход воды можно также определить предварительно до вскрытия пласта по известной формуле

$$Q = \frac{4\pi k m p_{z,изб}}{24 \ln \frac{2,45 a t}{r_0^2}}, \quad (4.35)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут; m – мощность вскрываемой части водоносного пласта (интервала поглощения), м; $p_{z,изб}$ – избыточное гидростатическое давление на пласт мощностью не менее 4 – 5 м; a – коэффициент пьезопроводности, м²/сут.; r_0 – радиус скважины, м; t – время вскрытия и установки фильтра, сут.

Однако, практически, удельное водопоглощение значительно меньше, чем удельное водопроявление.

3. Глубина залегания водоносного пласта должна быть в пределах 200 м (в отдельных случаях более 200 м).

При вскрытии водоносных пластов с обратной промывкой следует применять техническую воду без примесей глинистых или других частиц.

Опыт показывает, что можно применять обратную промывку для вскрытия устойчивых водоносных пластов, характеризующихся полным или катастрофическим поглощением, при условии, когда пластовое и избыточное гидростатическое давления в стволе скважины достаточны для нормальной работы эрлифта.

До начала вскрытия водоносного пласта на буровой должно быть все готово для спуска фильтровой колонны и созданию гравийной обсыпки фильтра.

В слабоизученных районах до начала вскрытия пласта с обратной промывкой иногда бурят пилот-скважину, которой определяют интервалы установки фильтра.

В особо сложных гидрогеологических условиях, характеризующихся сильным водопроявлением (самоизливом), можно вскрывать неустойчивые пласты с обратной промывкой глинистым раствором, когда требуются диаметры скважин, вскрывающих пласт, более 500 мм. При этом необходимо рассчитать плотность промывочной жидкости.

При вскрытии водоносного пласта с обратной промывкой создание гравийной обсыпки фильтров осуществляют двумя способами: созданием гравийно-засыпных фильтров с нормальной толщиной гравийной обсыпки и с уширенным контуром.

В первом случае гравийную смесь подают в скважину путем закачки смеси с водой в зафильтрованное пространство с одновременной эрлифтной откачкой. Технологическая последовательность всех операций приведена на рис. 4.14.

Первый этап завершается бурением (возможно с глинистым или естественным раствором) с обратной циркуляцией промывочной жидкости в скважине до кровли водоносного пласта. Скважину закрепляют обсадными

трубами 1, 2 и цементируют, после чего глинистый раствор удаляют и заменяют его технической водой.

На втором этапе вскрывают водоносный пласт с обратной циркуляцией воды для выноса выбуренной породы. Во время подъема бурильных труб 3 в скважину доливают воду для удержания стенок от обвала. Спуск-подъемные операции проводят без рывков, плавно, не более чем на II скорости для установок УРБ - 3АМ и 1БА - 15В.

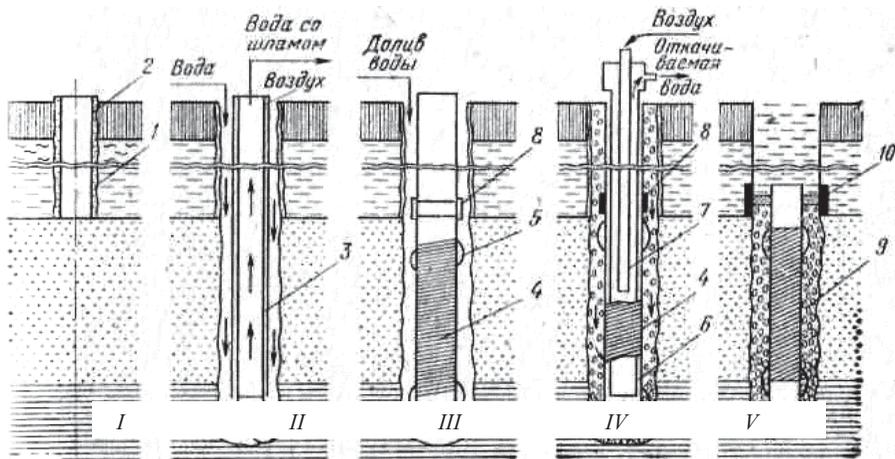


Рисунок 4.14 - Схемы технологических операций по созданию гравийной обсыпки при вскрытии водоносного пласта с обратной циркуляцией промывочной жидкости

I - бурение до кровли водоносного пласта; *II* - вскрытие водоносного пласта;
III - установка фильтра; *IV* - формирование гравийной обсыпки; *V* - заканчивание скважины

На третьем этапе в скважину на обсадных трубах на муфтовом переводнике 8 с левой резьбой спускают фильтровую колонну 4 с фонарями 5. Во время спуска фильтровой колонны и наращивания в скважину доливают воду.

На четвертом этапе в фильтровую колонну спускают эрлифт. При этом нижний конец водоподъемной колонны 6 устанавливают в отстойнике фильтра, имеющего внизу заглушку или пробку. Воздухоподводящую трубу 7 эрлифта устанавливают по расчету под ожидаемый динамический уровень при откачке. Воду с гравием подают в кольцевой зазор между обсадной колонной и фильтром при одновременной откачке эрлифтом. Интенсивность загрузки гравия подбирают по приведенным ранее рекомендациям.

По предложению В.М. Гаврилко, в процессе формирования гравийной обсыпки фильтра рекомендуется проводить откачку так называемым методом «скользящего эрлифта». С этой целью, водоподъемная колонна в нижней части

имеет заглушку и самоуплотняющийся сальник. Башмак водоподъемной колонны устанавливают выше нижней рабочей части фильтровой колонны на 1,0 – 1,5 м. Водоподъемные трубы жестко соединяются с трубами для подачи воздуха. Самоуплотняющийся сальник герметизирует межтрубное пространство внутри фильтра. Выше сальника прорезаны отверстия для прохода откачиваемой воды. После включения эрлифта начинается откачка с одновременной подачей гравия и воды в затрубное пространство. Возможность подъема эрлифта с сальником в фильтровой колонне способствует более надежному формированию гравийного слоя вокруг фильтра.

После завершения гравийной обсыпки 9 фильтра, что определяется щупом, из скважины извлекают эрлифт, отвинчивают колонну обсадных труб от муфты 8 и межтрубное пространство изолируют сальником 10 (рис. 4.14, V).

При вскрытии водоносных песков с обратной циркулирующей промывочной жидкости гравийную обсыпку уширенного контура рекомендуется создавать по двум схемам.

Первая рекомендована В.М. Гаврилко [35] и внедрена в практику буровых работ.

Схема основных технологических операций по созданию гравийной обсыпки фильтров (по В.М. Гаврилко) приведена на рис. 4.15.

Следует отметить, что данный способ создания гравийной обсыпки фильтров весьма эффективен и его следует рекомендовать к широкому внедрению в производство.

С обратной промывкой бурят до кровли водоносного пласта и закрепляют скважину колонной обсадных труб с цементированием ее (рис. 4.15, I).

После этого желательно вскрывать водоносный пласт с промывкой водой (рис. 4.15, II).

Затем в скважину спускают гидравлический расширитель, представляющий собой сопла, смонтированные на колонне труб.

Воду в сопло подают через кольцевой зазор двойной колонны бурильных труб для обратной промывки (рис. 4.15, III), а разрушенная порода удаляется эрлифтом: при этом в двойную колонну бурильных труб для обратной промывки спущена труба 10 с форсункой для подачи воздуха.

Закончив уширение ствола скважины в интервале водоносного пласта, извлекают снаряд для обратной промывки. В скважину доливают воду для поддержания избыточного гидростатического давления и устойчивости стенок скважины.

Фильтровую колонну спускают на двойных бурильных трубах на левом муфтовом переводнике (рис. 4.15, IV) и в кольцевой зазор засыпают гравий с водой с одновременной откачкой через двойной снаряд для обратной промывки. Данный способ создания гравийной обсыпки фильтров также весьма эффективен и его следует рекомендовать к широкому внедрению в производство. Технология загрузки гравия аналогична ранее приведенной.

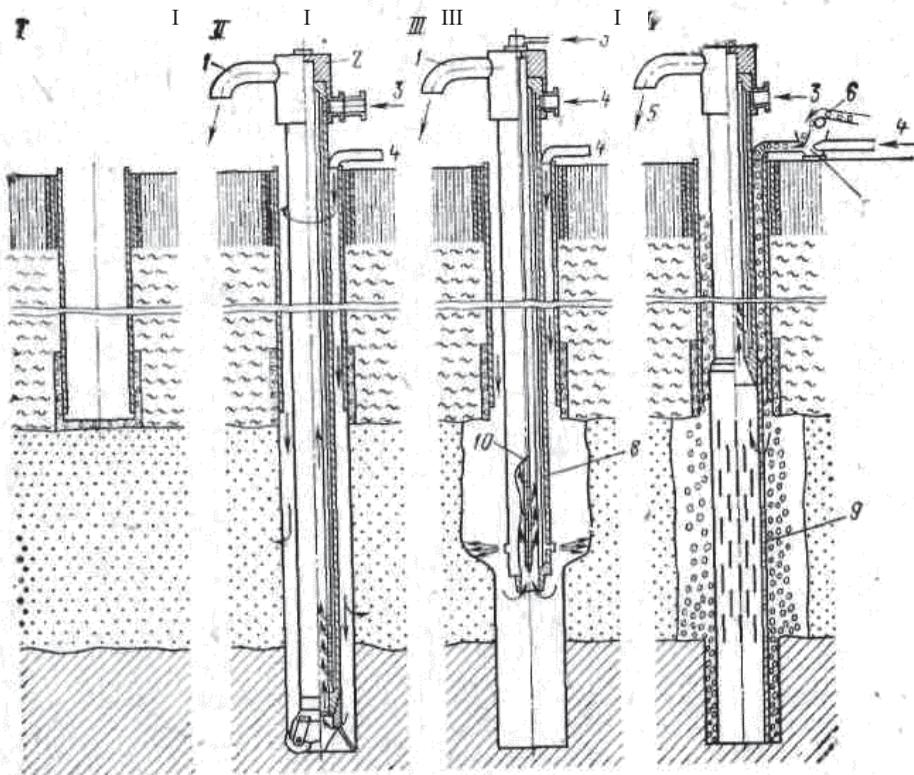


Рисунок 4.15 - Схема создания гравийно-засыпных фильтров
(по В.М. Гаврилко)

- 1 - выброс шлама; 2 - вертлюг специальный; 3 - подача воздуха; 4 - подача воды в скважину; 5 - сброс воды; 6 - подача гравия; 7 - гидросмесительный агрегат; 8 - двойные трубы; 9 - фильтр; 10 - эрлифтные трубы

Вторая схема создания гравийно-засыпного фильтра с уширенным контуром при обратной промывке широко применяется в тресте Укрбурвод. Она основана на расширении ствола скважины с помощью механического расширителя. Н.В. Гудзенко, Н.А. Зайченко [61] и другими работниками проектной конторы треста Востокбурвод разработан комплект инструмента для обратной промывки, включающий набор лопастных механических расширителей для образования каверны под уширенный контур гравийной обсыпки фильтра.

Технологическая последовательность ведения работ по вскрытию пласта и оборудованию водоприемной части гравийно-засыпным фильтром схематично приведена на рис. 4.16.

В малоизученных районах рекомендуется бурить разведочную скважину. По результатам электрокаротажных работ определяют интервал установки эксплуатационной колонны и рабочей части фильтра. После этого скважину закрепляют до кровли водоносного пласта обсадными трубами (рис. 4.16, I) с последующим ее цементированием. Далее глинистый раствор рекомендуется заменять технической водой. В скважину спускают снаряд для обратной промывки (рис. 4.16, II), в состав которого входят: ведущая двойная бурильная труба 7 для подачи воздуха и промывки; вихревой насос 6, создающий вакуум и обеспечивающий всасывание пульпы; колонна бурильных труб 5 диаметрами 114 – 146 мм; долото-расширитель 4 лопастного типа с выдвижными режущими элементами; пилот-долото лопастного типа; центраторы 12.

При необходимости в комплекс снаряда включают камнеловки. Специальный вертлюг, на котором спускают двойную бурильную трубу, позволяет подавать к вихревому насосу воздух и отделять выбуренный шлам с водой от воздуха при поступлении пульпы из скважины.

Процесс уширения ствола скважины в интервале водоносного пласта показан на рис. 4.16, III. После окончания уширения и углубки скважины буровой инструмент извлекают из скважины; при этом лопасти расширителя складываются. Извлечение инструмента сопровождается доливом воды в скважину (рис. 4.16, IV).

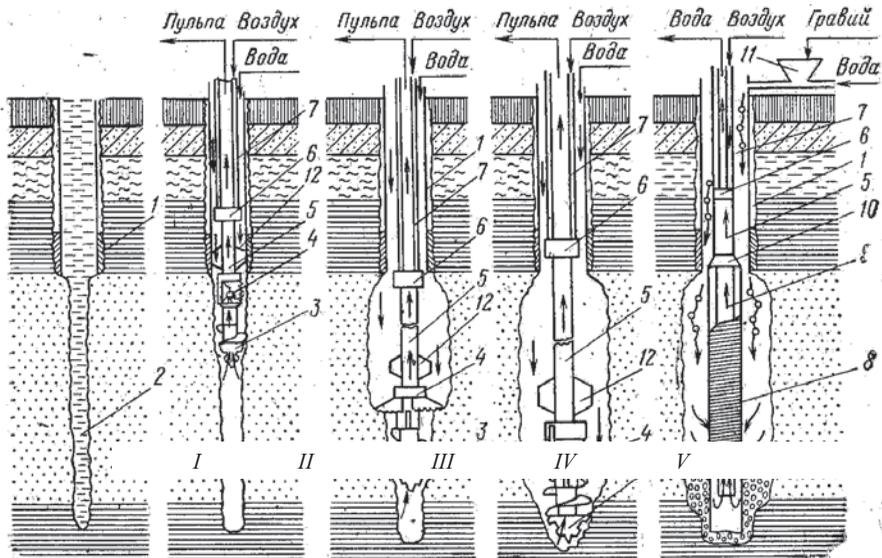


Рисунок 4.16 - Схема создания гравийно-засыпных фильтров

1 - зацементированная обсадная колонна; 2 - ствол разведочной скважины; 3 - лопастное долото - пилот; 4 - механический расширитель; 5 - бурильные трубы; 6 - вихревой насос; 7 - ведущая двойная бурильная труба; 8 - фильтрная колонна; 9 - водоподъемная колонна; 10 - муфтовый переводник с левой резьбой; 11 - гравиепитатель; 12 - центратор

Фильтровую колонну спускают в скважину на ведущей бурильной трубе 7 (рис. 4.16, *V*) и переводнике с левой резьбой 10. Внутрь фильтра устанавливают водоподъемную трубу 9. Гравий с водой подают через устье скважины, засыпая его в нисходящем потоке воды с откачкой струйным насосом при обратной схеме циркуляции промывочной воды.

После завершения обсыпки фильтра гравием, ведущую бурильную трубу 7, вихревой насос 6 и бурильные трубы 5 извлекают из скважины, отвинтив от муфтового переводника 10 с левой резьбой. В скважине кольцевой зазор между фильтровой и обсадной колоннами герметизируют сальником, и заканчивают скважину.

Трестом Укрбурвод при сооружении водозаборных скважин по указанной технологии достигнуты весьма положительные результаты.

При вскрытии водоносного пласта с обратной промывкой гравийно-обсыпной фильтр можно создавать с нормальной толщиной гравийной обсыпки [12]. В этом случае гравийную смесь подают в скважину путем закачки смеси с водой в зафильтрованное пространство с одновременной эрлифтной откачкой.

При сооружении гравийных фильтров в нисходящем потоке жидкости в кольцевом пространстве количество случаев пробкообразования по сравнению с закачкой в восходящем потоке было несколько снижено, однако число закупорок кольцевого пространства оставалось большим и на ликвидацию осложнений затрачивались значительные средства, иногда превышающие затраты на бурение скважины [87].

Вертикальное расслоение гравия (при закачке в нисходящем потоке через кольцевое пространство) устранить не удастся вследствие того, что при большом зазоре между стенками скважины и фильтром нисходящий поток проходит только по нескольким каналам, сложенным гравием более крупного фракционного состава.

Недостатком рассмотренной технологии закачки является тот факт, что мелкие частицы гравия и инородные примеси, в отличие от закачки гравия в восходящем потоке жидкости, не вымываются на поверхность, а осаждаются в зоне фильтра, что вызывает необходимость тщательного просеивания гравия на поверхности и длительной промывки скважины перед подачей в нее гравия.

За рубежом технология закачки гравия в нисходящем потоке через кольцевое пространство наиболее широкое использование нашла при сооружении гравийных фильтров в скважинах глубиной не более 250 м с большими кольцевыми зазорами и пробуренных способом с обратной промывкой.

Для устранения недостатков, присущих технологии закачки гравия в нисходящем потоке через кольцевое пространство, за рубежом было предложено ряд скважинных устройств. Так фирмой Jonston при подаче гравия в зону фильтра через кольцевое пространство [127] используется специальное устройство, обтюратор, способствующее турбулизации потока в надфильтровой части кольцевого пространства, чем предупреждается возможность пробкообразования и обеспечивается более равномерная и плотная укладка

гравия. D. Sparlin [135] разработал технологию закачки гравия в перфорационные каналы slurry-pack, в соответствии с которой гравийная смесь закачивается цементировочными агрегатами в кольцевое пространство скважины под большим давлением. Жидкость-носитель поглощается продуктивным пластом, а гравий компактно укладывается в зоне фильтра. Основными недостатками указанной технологии является кольматация продуктивного горизонта вследствие закачки в него инородной жидкости и то, что нет возможности устранить расслоение гравия и пробкообразование.

Параллельно велись работы по созданию технологий закачки гравийного материала по вспомогательным колоннам труб и даже скважинам.

L. Layens предложил использовать для закачки гравия вспомогательную колонну труб [134]. После установки в скважину фильтровой колонны, до забоя через кольцевое пространство спускали насосно-компрессорные трубы, через которые осуществлялся намыв гравия, в процессе закачки гравия насосно-компрессорные трубы периодически приподнимали. За счет снижения времени на доставку гравия в зону фильтра удалось до минимума исключить расслоение гравия в процессе закачки и избежать пробкообразования. Кроме того, удалось значительно уменьшить количество инородных примесей, поступающих в зону фильтра, за счет использования при закачке предварительно промытых насосно-компрессорных труб.

В процессе закачки гравия через насосно-компрессорные трубы, спущенные в кольцевое пространство, выяснилось, что данная технология равномерную обсыпку фильтра не обеспечивает, и это приводит к оголению одной из его сторон и пескованию скважины.

Было предложено вспомогательную колонну устанавливать в скважине соосно (рис. 4.17). В этом случае гравий вокруг каркаса фильтра осажается равномерно, фильтр получается плотным, хорошего качества. Однако предложенная технология имеет некоторые недостатки, в частности предусматривается установка фильтров впотай, причем изоляция кольцевого пространства скважины осуществляется после окончания гравийной засыпки. Выполнить качественную изоляцию при данной технологии довольно сложно. Кроме этого, диаметр вспомогательной колонны больше диаметра каркаса фильтра, в связи с чем возникает необходимость для

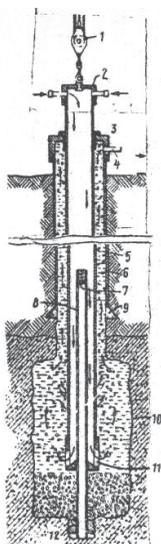


Рисунок 4.17 - Закачка гравия через вспомогательную центрированную колонну труб

1 – элеватор, 2 – нагнетательная магистраль, 3 – герметизатор устья, 4 – сливная магистраль, 5 – скважина, 6 – вспомогательная колонна, 7 – заглушка, 8 – фильтр, 9 – башмак обсадной колонны, 10 – приемная каверна, 11 – выпускные отверстия вспомогательной колонны, 12 – башмак фильтра

обеспечения требуемого зазора между обсадной колонной и фильтром и беспрепятственного спуска и подъема вспомогательной колонны в процессе бурения скважины значительно большего диаметра, чем диаметр фильтра.

Вскрытие водоносных пластов при обратной циркуляции промывочной жидкости имеет один существенный недостаток – требует большого количества технической воды для осуществления всех операций. По-видимому, на основе опыта вскрытия водоносных пластов с прямой промывкой водой, где удельное водопоглощение при вскрытии чрезвычайно мало вследствие механического кольматажа, целесообразно добавлять в воду, заливаемую через устье скважины, некоторое количество песка для интенсификации процесса механического кольматажа пород водоносного пласта. Это может значительно сократить расход воды при вскрытии водоносных пластов, представленных песками.

4.3.2.3. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с применением метода замещения

Из анализа технологии сооружения гравийных фильтров с уширением ствола скважины в зоне водоносного пласта при помощи механических и гидравлических расширителей вытекает, что качество сооружения зависит в основном от подготовки ствола в интервале водоносного пласта до засыпки гравия в прифильтровую зону.

Поэтому при вращательном бурении предъявляются достаточно жесткие требования к технологии вскрытия водоносных пластов и особенно к поддержанию чистоты воды, используемой для удаления продуктов кольматажа. Как указывается В.С. Алексеевым [3], даже применение способа обратной промывки с чистой водой не обеспечивает сохранения естественной проницаемости пород водоносного пласта, если в разрезе есть глинистые пропластки.

В связи с этим несомненный интерес приобретают способы гравийной обсыпки, которые не связаны с типом применяемой промывочной жидкости. К их числу следует отнести так называемые способы замещения.

Известен ряд способов гравийной обсыпки фильтров: при помощи скользящего эрлифта (по В.М. Гаврилко) и способ замещения П.А. Панкратова.

Эти способы послужили основой для дальнейшего совершенствования технологии гравийной обсыпки с удалением пород водоносного пласта из прифильтровой зоны при вращательном бурении. Большую роль в совершенствовании методов замещения сыграл также способ разглинизации скважин через промывочные окна в отстойнике фильтра, разработанный Д.Н. Башкатовым [11].

Сущность этого способа показана на рис. 4.18 и заключается в следующем. В скважину, закрепленную трубами 1, спущена водоподъемная колонна 2 с воздушными трубами 3 так, что она перекрывает водоносный пласт

на высоту l_{ϕ} . При этом делается допущение, что пески водоносного горизонта несвязные.

При откачке воды из скважины под действием фильтрационных сил в водоносном пласте происходит обрушение, и образуется область подвижных песков, приобретающая форму перевернутого усеченного конуса 4 с углом при вершине α . При постоянном отборе жидкости в водоподъемную колонну поступает водопесчаная смесь, которая удаляется эрлифтом на поверхность, а освободившийся у башмачной части объем заполняется вышележащим песком.

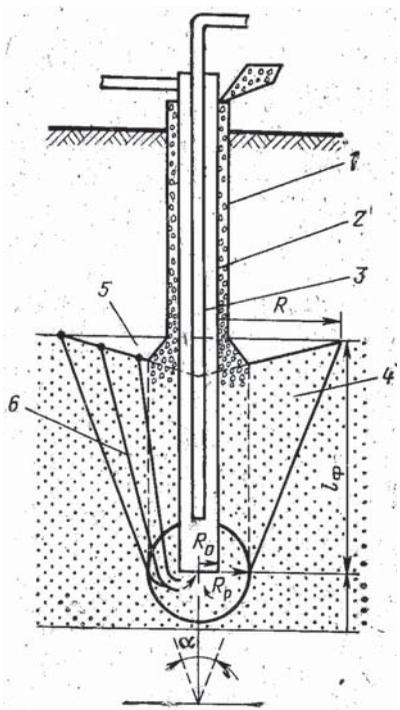


Рисунок 4.18 - Схема замещения песка гравием с удалением продуктов обрушения через башмак водоподъемной колонны

При дальнейшем отборе водопесчаной смеси будет постоянно увеличиваться объем воронки обрушения 5. Поэтому, чтобы обеспечить процесс образования гравийного контура, необходимо через кольцевой зазор подавать в воронку обрушения гравийный материал, который замещает удаляемый из скважины песок.

Траектория движения песчаной частицы показана в виде наклонной линии 6. С приближением к стволу скважины наклон линий тока уменьшается. Это может быть использовано для управления

формированием гравийного контура. Несмотря на то, что в целом песок движется по конусу вблизи фильтра, можно получить гравийный контур, приближающийся к цилиндру.

4.3.2.4. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с комбинированной промывкой

При сооружении гравийных фильтров в скважинах глубиной более 50 м основная сложность заключается в обеспечении надежной доставки гравия с

поверхности на забой и его компактной и равномерной укладки вокруг каркаса фильтра.

В конце 50-х годов прошлого века [136] предложена принципиально новая технология подачи гравия в зону фильтра, согласно которой вспомогательная колонна труб располагается внутри фильтровой колонны (рис. 4.19).

При нагнетании гравия, кроме колонны насосно-компрессорных труб используют пакер, распределительный узел и водоподъемную колонну. Гравий подается через насосно-компрессорные трубы к месту установки пакера в скважину. За счет высоких (до 10 м/с) скоростей движения гравийной смеси расслоение гравия в процессе закачки практически не происходит. Насосно-компрессорные трубы соединяются с распределителем, представленным двумя коаксиально расположенными трубами, имеющими по четыре выпускных и выходных отверстия. При прохождении потока через распределитель гравийная смесь движется внутри трубы меньшего диаметра, которая под пакером соединяется с четырьмя выпускными каналами, через них гравийная смесь поступает в затрубное пространство и гравий равномерно осаждается вокруг каркаса фильтра. После этого освобожденная жидкость-носитель фильтруется через отверстия фильтра и по водоподъемной трубе, спущенной внутрь фильтра, поднимается до распределителя. В распределителе жидкость движется в кольцевом зазоре между коаксиально расположенными трубами. Кольцевой зазор распределителя посредством четырех выходных отверстий соединен с кольцевым пространством скважины. Дальнейшее движение освобожденной жидкости до устья скважины после прохождения потоком выходных отверстий распределителя проходит в кольцевом пространстве скважины.

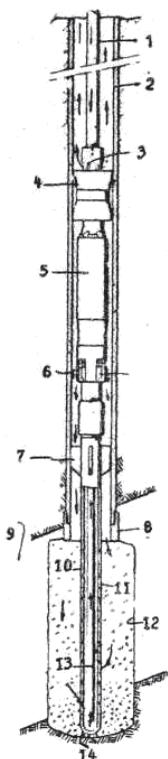


Рисунок 4.19 - Закачка гравия через вспомогательную колонну труб и распределитель при создании обратной призабойной циркуляции

1 - вспомогательная колонна; 2 - обсадная колонна; 3 - выходные отверстия распределительного узла; 4 - пакер; 5 - распределитель; 6 - выпускные отверстия распределительного узла; 7 - стабилизаторы-центраторы; 8 - башмак обсадной колонны; 9 - коллектор; 10 - фильтр; 11 - отверстия фильтра; 12 - приемная каверна; 13 - водоподъемная колонна; 14 - башмак фильтра

Таким образом, было предложено при закачке гравия в скважину создавать местную призабойную циркуляцию жидкости-носителя, за счет чего исключалось расслоение гравия, и достигалась его плотная и равномерная укладка вокруг каркаса фильтра [137]. Равномерному распределению гравия вокруг фильтра способствуют четыре стабилизатора потока, установленные

между фильтром и распределителем. Стабилизаторы выполняют также функцию центраторов.

Наряду с преимуществами предложенной технологии засыпки гравия, конструкция распределителя имеет ряд недостатков, в частности извлечение водоподъемной трубы из скважины трудоемко вследствие довольно сложного соединения между насосно-компрессорными трубами, распределителем и водоподъемной трубой.

Более поздние разработки, в подавляющем большинстве, посвящены усовершенствованию описанной конструкции устройства для закачки гравия при соблюдении принципа создания призабойной обратной циркуляции в скважине с помощью вспомогательной колонны труб, распределителя и водоподъемной трубы.

В. Спасов и И. Христов впервые использовали скважинное устройство для формирования гравийной обсыпки в водоносном горизонте, которое обеспечивает создание в призабойной зоне обратной циркуляции (рис. 4.20) [119]. Продуктивный горизонт был представлен тонкозернистыми песками однородного гранулометрического состава, мощностью 30 – 40 м, залегавшего на глубинах от 380 до 450 м.

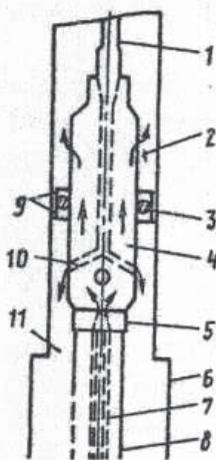


Рисунок 4.20 - Устройство для закачки гравия

1 - вспомогательная колонна; 2 - выходные отверстия распределительного узла; 3 - резиновое кольцо; 4 - распределительный узел; 5 - переходник с левой резьбой; 6 - приемная каверна; 7 - водоподъемная колонна; 8 - фильтр; 9 - металлические диски; 10 - выпускные отверстия распределительного узла; 11 - обсадная колонна

Интервал от устья скважины до кровли водоносного горизонта закреплялся трубами диаметром 244 мм. После вскрытия водоносный горизонт расширяли до 300 мм. В скважину спускали фильтр диаметром 114 мм с шириной щелей 1 мм. В верхней части надфильтровой трубы на левой резьбе устанавливался распределительный узел, в нижнюю часть которого ввинчивалась водоподъемная труба. Распределительный узел состоял из трубы диаметром 127 мм, внутрь которой вваривалась труба меньшего диаметра с тремя выходными каналами. К верхней части распределительного узла приваривался переходник с резьбой под бурильные трубы диаметром 89 мм. Кольцевое пространство между распределительным узлом и обсадной трубой изолировалось при помощи пакера. Над пакером находились три отверстия, обеспечивающие прохождение освободившейся жидкости-носителя из распределительного узла в кольцевое пространство скважины.

Контроль уровня осаждающегося гравия осуществлялся с помощью свинцового груза, привязываемого к стальному тросу диаметром 2 мм. Закачку прекращали, когда высота гравийного фильтра над верхними отверстиями

каркаса фильтра достигала 20 м. Критерием качества выполненной засыпки является отношение объема гравийного материала, закаченного в скважину, к объему пространства скважины, подлежащего заполнению. Обычно это отношение находится в пределах 1,05 – 1,15.

Применение данного устройства позволило сократить время освоения скважины с одной – двух недель до 10 – 15 ч.

А.Д. Башкатовым [5] были обоснованы режимы транспортировки смеси в скважине, исключающие возможность пробкообразования и сводящиеся к необходимости создания высоких скоростей движения потока при турбулентном режиме и критерии подобия $G > 3,0 \cdot 10$. Заданные режимы транспортировки гравийной смеси на всех этапах от устья до забоя обеспечиваются при комбинированной циркуляции в скважине. Над каркасом фильтра устанавливают распределительный узел, соединенный верхним торцом с колонной бурильных труб, выведенной на поверхность, а нижним – со вспомогательной колонной, башмак которой располагают под нижними отверстиями каркаса фильтра,

Гравийную смесь подают через бурильные трубы к распределительному узлу и в затрубное пространство скважины непосредственно над интервалом формирования фильтра. За счет высоких скоростей движения смеси в бурильных трубах пробкообразование исключается и обеспечивается надежная доставка гравия в заданную зону. После прохождения распределительного узла смесь поступает в кольцевое пространство скважины, расширенное в интервале установки фильтра до расчетного диаметра. За счет высокой площади сечения кольцевого пространства в расширенном стволе скважины и высоких скоростей нисходящего потока в интервале формирования фильтра наблюдается компактная и плотная укладка зерен гравия, обеспечивающая высокое качество оборудования скважины.

Гравий укладывается в каверне, а жидкость-носитель фильтруется через каркас фильтра и по вспомогательной колонне через распределительный узел, кольцевое пространство между фильтровой, бурильной и обсадной колоннами поднимается на поверхность. При намыве фильтра мелкие примеси и кольянт вымываются из обсыпки, обеспечивая тем самым ее высокое качество. Для повышения надежности работы фильтра создают запас гравия над верхними отверстиями каркаса фильтра высотой 5 – 10 метров с учетом его проседания и возможного уплотнения при эксплуатации. В этой связи распределительный узел устанавливают, как правило, на высоте не менее 5 м над верхними отверстиями каркаса фильтра.

Для осуществления технологии намыва гравийных фильтров в различных горно-геологических условиях А.Д. Башкатовым на базе предприятий «Интер-Аква» и Русбурмаш разработаны три модификации скважинного инструмента [5].

При установке фильтровой колонны впопай следует применять устройство для сооружения гравийного фильтра в скважине (УГФ) модификации П, при сооружении многосекционного гравийного фильтра –

модификации М. Если конструкцией скважины предусмотрено сооружение односекционного гравийного фильтра, при выводе фильтровой колонны на поверхность используют инструмент УГФ.

Технология сооружения односекционного гравийного фильтра в скважине, оборудованной фильтровой колонной, установленной впотай с помощью инструмента УГФ – П приведена на рис. 4.21. В скважину спускают отстойник с обратным клапаном, рабочую часть фильтровой и надфильтровую колонну расчетной длины. Инструмент фиксируют на устье с помощью хомута.

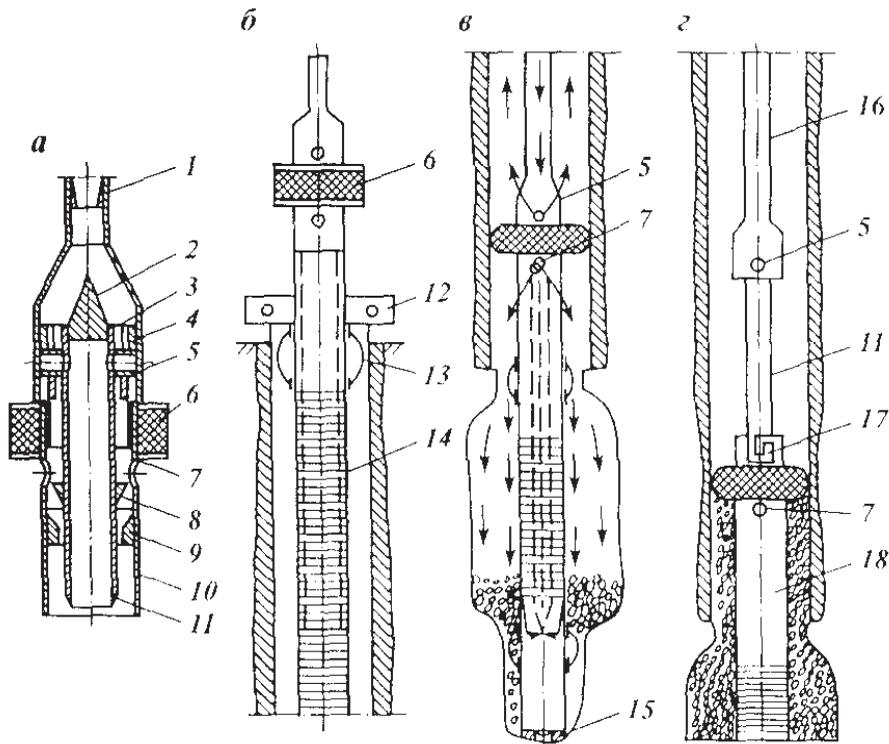


Рисунок 4.21 - Сооружение гравийного фильтра в скважине с установкой впотай фильтровой колонной

- 1 - верхний торец УГФ - П; 2 - пробка; 3 - герметизирующая втулка; 4 - направляющая втулка; 5 - опорные патрубki; 6 - пакер; 7 - выпускные отверстия; 8 - конус; 9 - седло;
 10 - переходник; 11 - вспомогательная трубка; 12 - хомут; 13 - центраторы;
 14 - фильтровая колонна; 15 - отстойник с обратным клапаном; 16 - бурильная колонна;
 17 - замковое седло; 18 - надфильтровая труба

На нижний торец УГФ – П наворачивают бурильные трубы длиной, соответствующей длине фильтровой колонны. Внутри фильтровой колонны спускают бурильные трубы и УГФ – П, которые соединяют с верхним торцом

надфильтровой трубы (рис. 4.21, *а*). Верхний торец УГФ – П соединяют с бурильными трубами на которых инструмент плавно спускают в скважину. При задержках инструмента его проворачивают ключом. При достижении инструментом расчетной глубины отстойник встает на забой и на пакер УГФ – П передается разжимающее усилие, равное весу колонны бурильных труб. Пакер разжимается и герметизирует кольцевое пространство скважины между фильтровой и обсадной колоннами. Одновременно с распаковкой герметизируется кольцевое пространство между фильтровой и вспомогательной колоннами ниже закачных отверстий устройства (рис. 4.21, *б*).

Скважину промывают. В бурильные трубы на поверхности подают промывочную жидкость. По бурильным трубам жидкость в нисходящем потоке движется к УГФ – П, поступает в кольцевое пространство между фильтровой и вспомогательной колоннам, и через выпускные отверстия УГФ – П выходит в кольцевое пространство скважины между фильтровой и обсадной колоннами. При прохождении промывочной жидкости через интервал водоносного пласта она начинает фильтроваться через фильтр, из внутреннего пространства которого в восходящем потоке через вспомогательную колонну, опорные патрубки УГФ – П и кольцевое пространство скважины между бурильной и обсадной колоннами выше пакера УГФ – П поднимается на поверхность.

Итак, скважину промывают при комбинированной циркуляции (рис. 4.21, *в*). После промывки на поверхности в нагнетательную магистраль подают гравий, который закачивается в интервал формирования фильтра. Гравий откладывается в зафильтровом пространстве, а жидкость-носитель фильтруется через фильтр и по вспомогательной колонне через патрубки УГФ – П и кольцевое пространство между бурильными и обсадными трубами выше пакера УГФ – П поднимается к устью. Частично или полностью жидкость-носитель может поглощаться водоносным пластом.

При поглощении в качестве жидкости-носителя недопустимо использовать специальные растворы, приводящие к ухудшению фильтрационных свойств пласта. В этом случае необходимо транспортировать гравий в воде, очищенной от инородных примесей. О заполнении гравием расчетного объема полости за фильтр свидетельствует резкое повышение давления в нагнетательной магистрали при перекрытии выпускных отверстий УГФ – П.

Инструмент взвешивают и проворачивают на 45 – 60°. При провороте опорные патрубки УГФ – П выходят из замкового соединения и инструмент поднимают па поверхность (рис. 4.21, *з*). При подъеме инструмента специальная втулка УГФ – П перекрывает выпускные отверстия УГФ – П, что обеспечивает требуемую герметизацию фильтровой колонны.

Сооружение односекционного гравийного фильтра в скважине, оборудованной фильтровой колонной, выведенной на поверхность с помощью инструмента УГФ, показано на рис. 4.22. В скважину спускают отстойник с обратным клапаном 20, секции фильтровой колонны и надфильтровую трубу расчетной длины 17. Инструмент фиксируют на устье с помощью хомута. На

надфильтровой трубе устанавливают муфту УГФ 2, после чего продолжают спуск фильтровой колонны 18, укомплектованной центраторами. Кольцевое пространство скважины между фильтровой колонной и кондуктором на устье герметизируют.

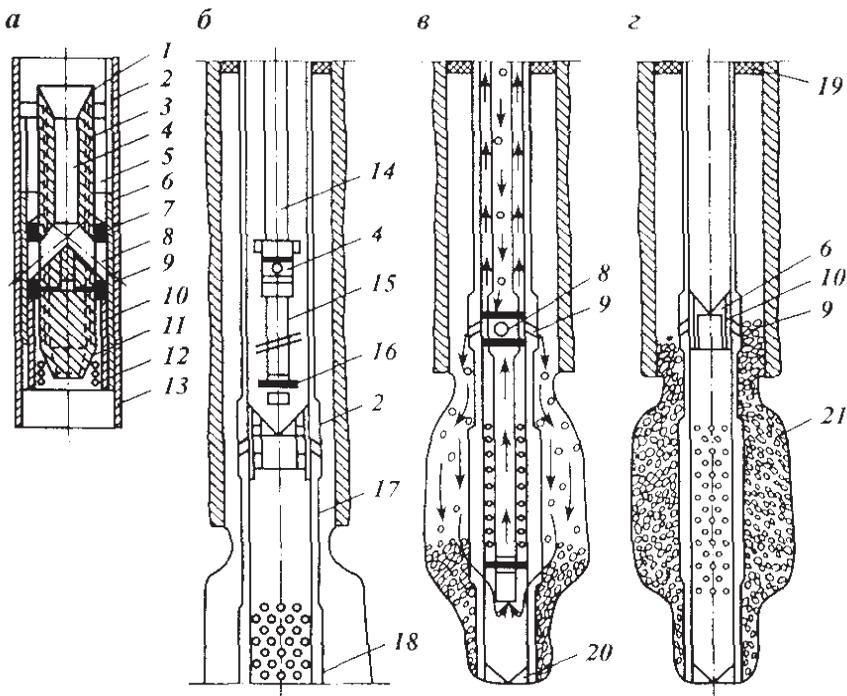


Рисунок 4.22 - Сооружение гравийного фильтра в скважине с выведенной на поверхность фильтровой колонной

а - инструмент для сооружения гравийного фильтра в скважине УГФ; *б* - спуск распределительного узла; *в* - фиксация распределительного узла внутри муфты УГВ в фильтровой колонне и намывание гравия при комбинированной циркуляции; *г* - извлечение распределительного узла; 1 - переходник для соединения с бурильной колонной; 2 - муфта УГФ; 3 - водоподъемные каналы; 4 - распределительный узел УГФ; 5 - опорные штыри; 6 - направляющая втулка; 7 - сальники; 8 - закачные каналы; 9 - выпускные отверстия; 10 - герметизирующая втулка; 11 - переходник для соединения со вспомогательной трубой; 12 - пружина; 13 - переходник для соединения с надфильтровой трубой; 14 - бурильные трубы; 15 - сваб; 16 - сальник; 17 - надфильтровая труба; 18 - фильтровая колонна; 19 - герметизатор; 20 - отстойник с обратным клапаном; 21 - гравийный фильтр

Внутри фильтровой колонны спускают бурильные трубы общей длиной, соответствующей длине фильтра. Бурильные трубы фиксируют на устье с помощью хомута или подкладной вилки. На бурильные трубы наворачивают распределительный узел УГФ. Распределительный узел УГФ 4 с

присоединенной к его нижнему торцу вспомогательной колонной, представленной бурильными трубами, спускают внутрь фильтровой колонны на бурильных трубах 14. Спуск осуществляют плавно (рис. 4.22, а). При достижении распределительным узлом глубины установки муфты УГФ происходит фиксация инструмента, при которой закачные отверстия муфты УГФ открываются и совмещаются с закачными каналами распределительного узла.

Скважину промывают при комбинированной циркуляции. В бурильные трубы подают промывочную жидкость. По бурильным трубам жидкость в нисходящем потоке движется к распределительному узлу, через закачные каналы которого и закачные отверстия муфты УГФ поступает в кольцевое пространство скважины между фильтровой и обсадной колоннами. При прохождении нисходящего потока промывочной жидкости через интервал водоносного пласта она начинает фильтроваться через фильтр, из внутреннего пространства которого в восходящем потоке через вспомогательную колонну, распределительный узел УГФ и кольцевое пространство между фильтровой колонной и бурильными трубами поднимается к устью скважины.

В нагнетательную магистраль на поверхности подают гравий, который потоком жидкости-носителя транспортируется в интервал формирования обсыпки (рис. 4.22, б). Закачку гравия осуществляют при комбинированной циркуляции. В процессе сооружения фильтра жидкость-носитель может частично или полностью поглощаться водоносным пластом. При поглощении с целью минимизации кольматации недопустимо в качестве жидкости-носителя использовать полимерные и другие растворы и рекомендуется применять чистую воду. О заполнении интервала формирования обсыпки гравием свидетельствует резкое повышение давления в нагнетательной магистрали, являющееся следствием перекрытия закачных отверстий муфты УГФ гравием.

Из скважины извлекают бурильные трубы, распределительный узел и вспомогательную колонну. При подъеме инструмента закачные отверстия муфты УГФ перекрываются специальной подпружиненной втулкой, что обеспечивает надежную герметизацию фильтровой колонны (рис. 4.22, в). Допускается совместно с фильтровой колонной спускать распределительный узел УГФ со вспомогательной колонной. Для этого распределительный узел и вспомогательную колонну фиксируют внутри закачной муфты УГФ на поверхности. После спуска фильтровой колонны, внутрь нее спускают бурильные трубы, которые при достижении глубины фиксации распределительного узла соединяют с ним вращением. В дальнейшем технологические операции по сооружению фильтра повторяют.

Технология сооружения многосекционных гравийных фильтров в скважине с помощью инструмента УГФ – М приведена на рис 4.23. Над каждой секцией фильтра устанавливают закачные муфты УГФ – М. Фильтровая колонна снабжается центраторами. Кольцевое пространство скважины между фильтровой и обсадной колонной герметизируют под головой фильтровой колонны. Внутри фильтровой колонны спускают на бурильных трубах

распределительный узел УГФ – М, на нижнем торце которого предварительно закрепляется вспомогательная колонна длиной, соответствующей сумме длин надфильтровой трубы и наиболее короткой секции фильтра. Распределительный узел спускают к нижнему интервалу формирования обсыпки и фиксируют на высоте 1 – 3 м выше закачной муфты УГФ – М, установленной над нижней секцией фильтра.

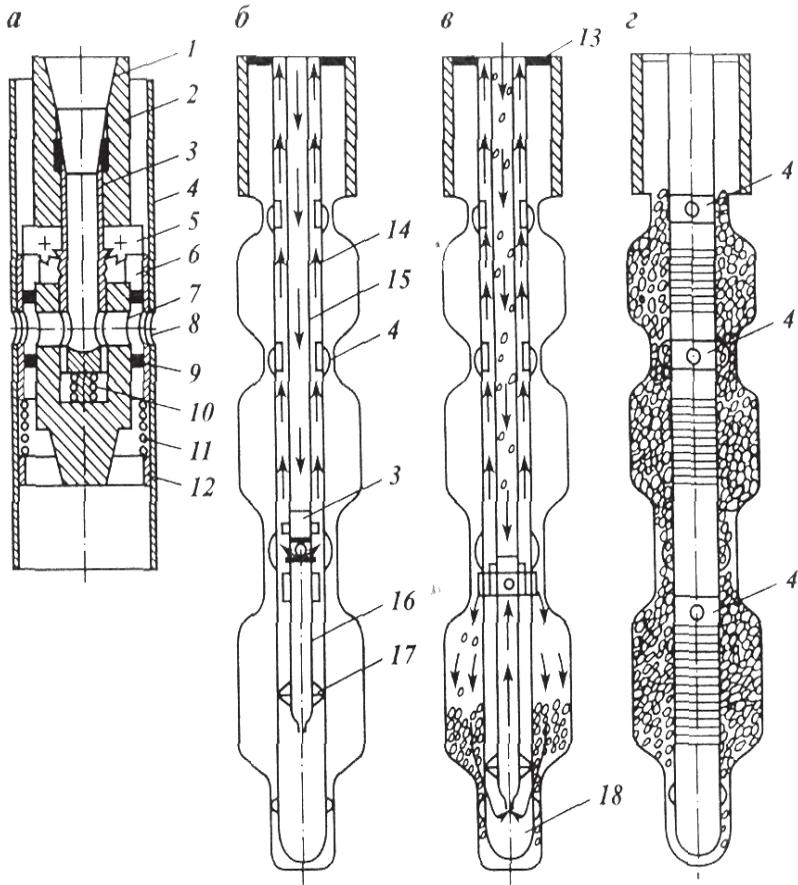


Рисунок 4.23 - Сооружение многосекционных гравийных фильтров в скважине
а - инструмент для сооружения многосекционных гравийных фильтров в скважине УГФ - М; *б* - спуск распределительного узла, промывка и выдвигание опорных штырей; *в* - фиксация распределительного узла внутри муфты УГФ - М в фильтровой колонне и намыв гравия в интервале формирования и обсыпки; *г* - извлечение распределительного узла; *1* - переходник для соединения с буровой колонной; *2* - распределительный узел УГФ-М; *3* - подвижной шток; *4* - муфта УГФ - М; *5* - опорные штыри; *6* - направляющая втулка; *7* - закачные каналы; *8* - выпускные отверстия; *9* - сальники; *10* - подпружиненная пробка; *11* - пружина; *12* - стопорное кольцо; *13* - герметизатор; *14* - фильтровая колонна; *15* - буровая колонна; *16* - вспомогательная колонна; *17* - сваб; *18* - отстойник с обратным клапаном
 Происходит фиксация распределительного узла внутри закачной муфты УГФ – М, о чем свидетельствует скачок давления в нагнетательной магистрали.

Включают промывку. От бурового насоса жидкость поступает в бурильные трубы и распределительный узел УГФ – М, из выпускных каналов которого через кольцевое пространство между фильтровой колонной и бурильными трубами в восходящем потоке она поднимается к устью. При промывке подвижная втулка УГФ – М опускается, и выдвигаются из корпуса распределительного узла опорные штыри (рис. 4.23, б). Продолжают спуск распределительного узла с промывкой. При достижении распределительным узлом глубины установки закачной муфты УГФ – М опорные штыри распределительного узла взаимодействуют с направляющей втулкой закачной муфты, закачные отверстия муфты открываются и совмещаются с закачными каналами распределительного узла.

Промывают нижний интервал формирования гравийного фильтра при комбинированной циркуляции. В бурильные трубы на поверхности с помощью бурового насоса подают промывочную жидкость. Из распределительного узла через закачные каналы и отверстия муфты УГФ – М промывочная жидкость поступает в интервал формирования фильтра, где движется в нисходящем потоке.

Из интервала формирования обсыпки жидкость фильтруется через фильтр и поступает внутрь фильтровой колонны, откуда через вспомогательную колонну, распределительный узел и кольцевое пространство между фильтровой и обсадной колоннами в восходящем потоке поднимается на поверхность.

На поверхности в нагнетательную магистраль подают гравий, который в нисходящем потоке транспортируется в интервал формирования фильтра. В процессе закачки частично или даже полностью жидкость-носитель может поглощаться водоносным пластом. При наличии поглощения в качестве жидкости-носителя используют воду. О заполнении расчетного интервала свидетельствует резкое повышение давления в нагнетательной линии магистрали, обусловленное перекрытием закачных отверстий муфты УГФ – М гравием (рис. 4.23, в).

Закачку гравия и промывку прекращают. Инструмент поднимают и фиксируют над второй от забоя закачной муфтой УГФ – М. При подъеме инструмента опорные штыри под воздействием пружины убираются в корпус УГФ – М и перекрываются специальной втулкой. Второй и последующие от забоя интервалы формирования фильтра оборудуют гравием по аналогии с первым. После оборудования всех интервалов распределительный узел со вспомогательной колонной и бурильные трубы извлекают из скважины (см. рис. 4.23, г).

Сотрудниками ЗАО «Русбурмаш» разработана специальная конструкция распределительного клапана для оборудования гравийными фильтрами скважин подземного выщелачивания. Последовательность технологических операций при намыве гравийных фильтров в скважинах ПВ аналогична описанной выше технологии намыва при комбинированной циркуляции. Особенностью условий проведения работ является необходимость изоляции

кольцевого пространства скважины выше обсыпки гельцементным составом и наличия в скважине эксплуатационной колонны ПВХ, устойчивой к агрессивным средам. Конструкция клапана проста и показана на рис. 4.24.

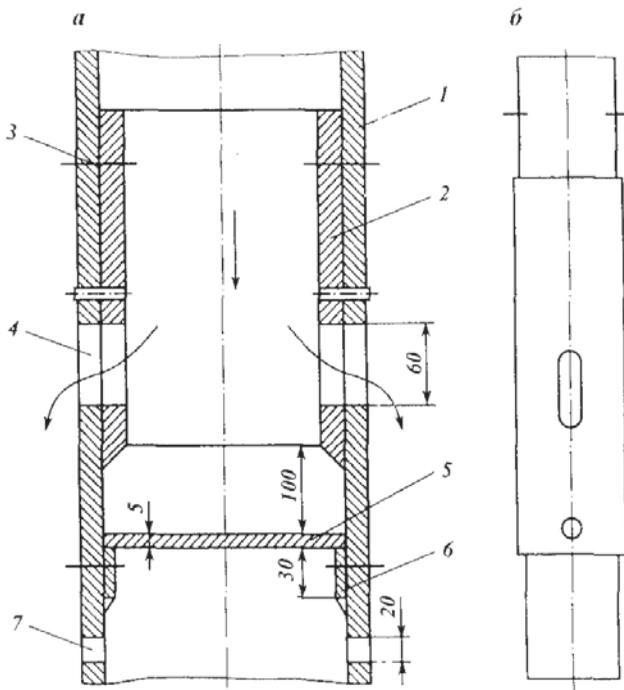


Рисунок 4.24 - Схема (а) и общий вид (б) распределительного клапана
 1 - нагнетательная колонна; 2 - кольцо; 3 - шпонки; 4 - отверстия; 5 - перегородка стеклянная;
 6 - упоры; 7 - окна

Засыпку гравия осуществляют через клапан и спущенную внутрь эксплуатационной колонны ПВХ НКТ, оборудованную в нижней части специальным приспособлением для фиксации и намыва смеси (рис. 4.25).

Схема засыпки гравия с помощью эжектора и дополнительной емкости показана на рис. 4.26. После заполнения гравием проектной полости давление в нагнетательной магистрали увеличивается, и через инструмент подают гельцементный раствор, который изолирует кольцевое пространство скважины выше фильтра. После окончания работ скважину осваивают с помощью ходового эрлифта с расчетным доливом воды в кольцевое пространство скважины.

Нижняя часть колонны оборудуется обратным клапаном, представленным на рис. 4.27.

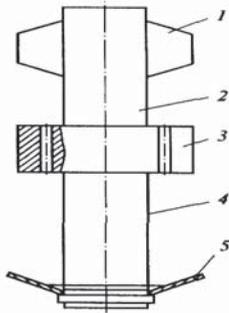


Рис. 3.25. Компоновка низа колонны

1 - направляющий фонарь (центратор), 2 - бурильная труба; 3 ударная муфта; 4 - бурильная труба (нижняя часть); 5 - отражатель резиновый

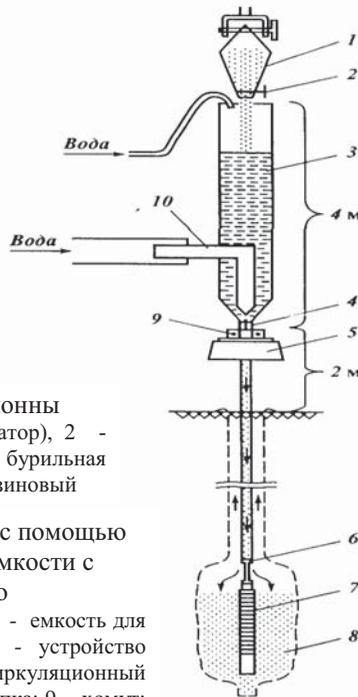


Рис. 3.26. Схема засыпки гравия с помощью эжектора и дополнительной емкости с водогравийной смесью

1 - емкость с гравием; 2 - дозатор; 3 - емкость для приготовления водогравийной смеси; 4 - устройство для герметизации; 5 - ротор; 6 - циркуляционный клапан; 7 - фильтр; 8 - гравийная обсыпка; 9 - хомут; 10 - эжекторное устройство

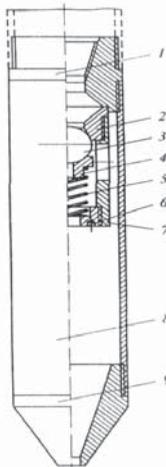


Рис. 3.27 Схема конструкции обратного клапана

1 - переходник; 2 - крышка; 3 - шарик; 4 - седло; 5 - пружина; 6 - гайка; 7 - корпус; 8 - труба диаметром 108 мм; 9 - насадка

S. Shryock [140] еще в конце 70-х годов прошлого столетия установил, что при небольших диаметрах выпускных отверстий распределительного узла гравийная пульпа поступает в затрубное пространство с большой скоростью. При соударении со стенками обсадной трубы происходит раскалывание гравийных зерен и повышенный износ обсадных труб. Попадание мелких и угловатых некондиционных частиц в зону фильтра существенно снижает проницаемость гравийной обсыпки. Кроме этого, при высоких скоростях закачки возможна пескоструйная перфорация обсадной трубы, находящейся напротив распределительного узла. При турбулентном течении жидкости между каркасом фильтровой колонны и стенками водоносного горизонта создание многослойного фильтра невозможно.

4.3.2.5. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносного пласта с одновременной посадкой фильтровой колонны и прямой промывкой водой

В водоносных пластах, представленных песками пльвунного типа, часто происходят осложнения, связанные с обвалами и оплыванием стенок скважины, что не позволяет выполнить высококачественную гравийную обсыпку фильтра при вращательном бурении.

В этих условиях, при отдельных операциях вскрытия пласта, установки фильтра и гравийной обсыпки, не всегда удается удержать стенки скважины в устойчивом состоянии, т. е. не соблюдаются условия, сформулированные уравнением:

$$t_{yse} \geq t_{вскр} + t_a + t_n + t_\phi + t_{тр}, \quad (4.36)$$

где t_{yse} – время устойчивости пласта от начала вскрытия; $t_{вскр}$ – время, потребное для вскрытия водоносного пласта; t_a – время, потребное для подъема инструмента из скважины; t_ϕ – время, потребное для установки фильтра в скважину; $t_{тр}$ – время, потребное для производства песчано-гравийной обсыпки.

Инженерно-техническими работниками треста «Востокбурвод» предложена проверенная практикой конструкция устройства для вскрытия водоносных пластов пльвунного типа с одновременной посадкой фильтровой колонны и гравийной обсыпкой фильтра. При посадке фильтровая колонна не вращается. Скважину промывают непрерывно даже в процессе наращивания бурильных труб. Устройство позволяет осваивать водоносный пласт фильтровой колонной длиной 50 – 80 м. Опыт показывает, что после вскрытия и освоения скважин с применением устройства вода осветляется через 3 – 4 ч после начала откачки.

Перед посадкой фильтровой колонны в скважину необходимо следующее:

- 1) пробурить скважину до кровли водоносного пласта и укрепить ее эксплуатационной колонной с последующим цементированием;
- 2) определить мощность водоносного пласта и интервалы установки фильтровой колонны путем разведочного бурения скважин малого диаметра или по имеющимся гидрогеологическим материалам близлежащих скважин;
- 3) уточнить конструкцию рабочей части фильтра, удалить из скважины глинистый раствор. Запас воды на буровой должен обеспечивать бесперебойную работу насоса в течение 2 – 3 ч;
- 4) проверить все узлы и детали устройства и скомплектовать буровой снаряд.

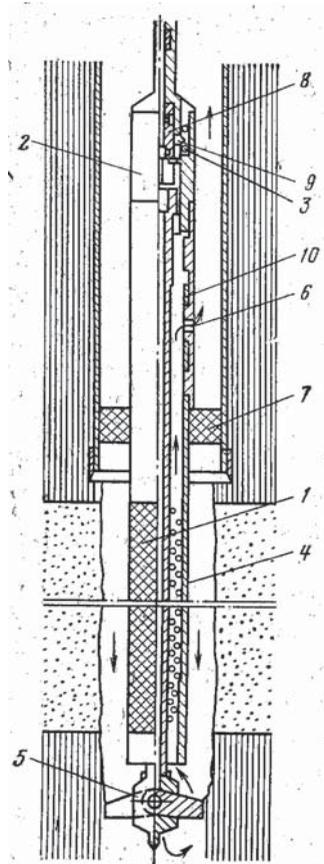
Порядок посадки фильтровой колонны показан на рис. 4.28.

В скважину на бурильных трубах спускают фильтровую колонну, скрепленную с бурильными трубами через отсоединитель 2 с упорными

подшипниками 3, которые обеспечивают возможность вращения бурильных труб при невращающейся фильтровой колонне.

Внутри фильтровой колонны проходят бурильные трубы 4, к которым присоединен забойный инструмент – саморасширяющееся долото 5.

При установке инструмента с фильтровой колонной на забой, на очередную бурильную трубу навинчивают специальный тройниковый замок (рис. 4.29) с пробковым краном для перекрытия канала замка. В тройниковый замок вмонтирован обратный клапан 2. Корпус клапана 3 имеет резьбу для быстрого присоединения нагнетательного шланга при наращивании бурильных труб в процессе посадки фильтра.



На рабочей площадке бурового агрегата (рис. 4.30) монтируют трехходовой кран 1, соединенный шлангом 2 с трехходовым краном 3 бурового насоса 4. К крану крепят еще два нагнетательных шланга 5 и 6, на концах которых имеется самоуплотняющееся сальниковое устройство с гайкой для быстрейшего соединения с тройниковыми замками 7 и 8.

Рисунок 4.28 - Схема вскрытия плавунных песков с промывкой водой и одновременной посадкой фильтра

Бурение с промывкой водой и одновременной посадкой фильтра начинают при наличии тройникового замка на очередной бурильной трубе, соединенной с одним из шлангов от трехходового крана 1. Одновременно с этим на мостках подготавливают другую бурильную трубу, соединенную со вторым нагнетательным шлангом от крана.

После установки фильтра на забой (лопасти долота при этом под действием осевой нагрузки расширяются) бурят с одновременной посадкой фильтровой колонны. Выбуренная порода выносится через фильтровую колонну в специальные окна 6 (рис. 4.28). Кроме того, она

может быть вынесена и по зафильтровому пространству. В этом случае специальные окна не нужны и сальник 7 (рис. 4.30) между фильтровой и эксплуатационной колоннами устанавливают позднее.

После спуска фильтровой колонны на длину ведущей бурильной трубы инструмент приподнимают с забоя, промывку переключают через

нагнетательный шланг 5 (рис. 4.29) и тройниковый замок 7, ведущую бурильную трубу 9 отвинчивают, наращивают очередную бурильную трубу 10 с тройниковым замком 8 наверху, к которому подсоединен нагнетательный шланг 6. Двухходовым краном тройникового замка 7 открывают отверстие и через трехходовой кран 1 переключают промывку и ведут ее через нагнетательный шланг 6. Нагнетательный шланг 5 отключают, и инструмент спускают (с одновременной промывкой) в скважину на длину бурильной трубы 10. Далее наращивают ведущую бурильную трубу 9, переключают двухходовой кран 12, тройниковый замок 8 и через трехходовой кран 3. После посадки фильтровой колонны на проектную глубину создают гравийную обсыпку фильтра по схеме, показанной на рис. 2.25. В случае создания гравийной обсыпки фильтра вместо самоуплотняющегося сальника устанавливают сальниковое устройство, которое позволяет удерживать сальник в сжатом состоянии при спуске фильтровой колонны. Гравийную обсыпку проводят в восходящем потоке воды.

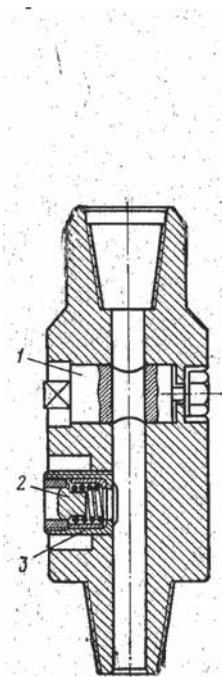


Рисунок 4.29 - Специальный замок с двухходовым краном

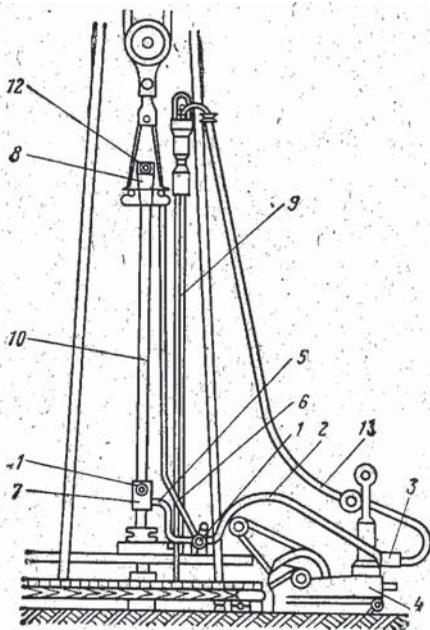


Рисунок 4.30 - Схема технологической последовательности работ по вскрытию пласта с промывкой водой и одновременной посадкой фильтра

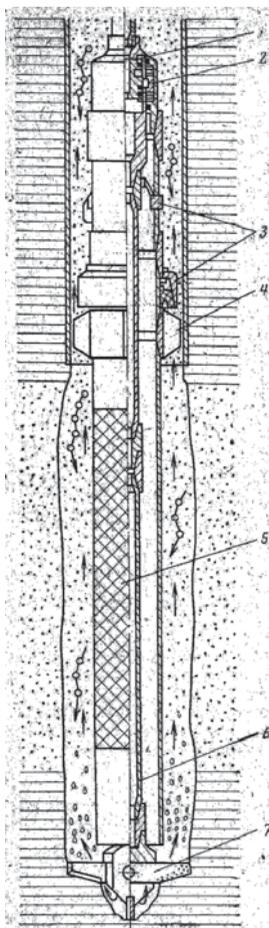


Рисунок 4.31 - Создание гравийной обсыпки при вскрытии водоносного пласта с одновременной посадкой фильтровой колонны и промывкой водой
 1 - гидравлический отсоединитель; 2 - фиксатор гидравлического отсоединителя; 3 - механический отсоединитель; 4 - центратор; 5 - фильтровая колонна; 6 - бурильные трубы; 7 - расширитель

После окончания формирования гравийной обсыпки корпус сальникового устройства вместе с расширителем 7, бурильными трубами 6, гидравлическим и механическим расширителями извлекаются из скважины.

Порядок извлечения и отсоединения труб следующий (рис. 4.28).

В бурильные трубы бросают шарик, который перекрывает отверстие в поршне 8, после чего включают насос. Под давлением промывочной жидкости поршень срезает шпильки и опускается вниз. Кольцевая выточка поршня 8 останавливается против отверстий 2 упорного подшипника 3. При подъеме бурильных труб стопор 9 подшипника 3 выжимается, попадает в кольцевую выточку поршня и вместе с отсоединителем поднимается вверх.

Лопasti долота 5 при подъеме бурильного инструмента, встречая на своем пути башмак отстойника фильтровой колонны, сжимаются, и долото свободно проходит вверх до механического отсоединителя 10. После этого лопasti долота заклинивают стопорное кольцо в механическом

отсоединителе, и при правом вращении бурильных труб и натяжении вверх устройство отсоединяется от фильтровой колонны.

Описанный способ установки фильтровой колонны позволяет: совместить процессы бурения, посадки фильтровой колонны и локального уширения ствола скважины в интервале водоносного пласта; обеспечить невращение фильтровой 5 колонны при вращающемся буровом наконечнике; обеспечить непрерывность промывки забоя водой не только в процессе бурения, но и при наращивании бурильной колонны.

Описанная технология практически не нашла широкого применения. Однако полученные при ее использовании результаты явились стимулом для разработки упрощенных технологических схем и способов с применением воды для подготовки ствола скважины под гравийную обсыпку. Один из таких способов показан на рис. 4.32.

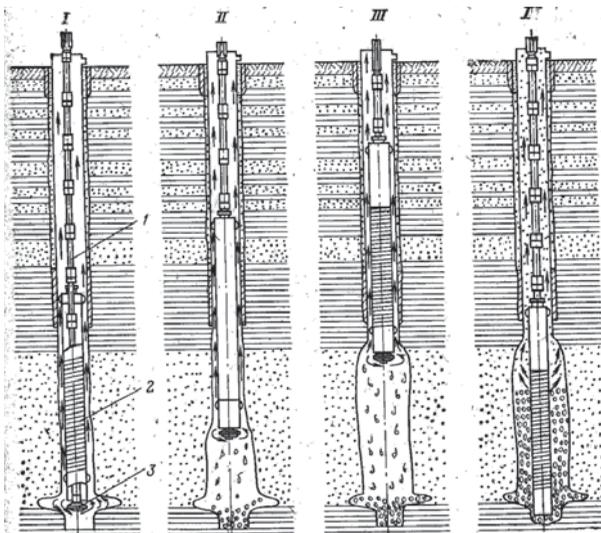


Рисунок 4.32 - Технологическая схема расширения ствола под гравийную обсыпку с одновременным опусканием фильтра по схеме снизу – вверх
 I - спуск фильтровой колонны до подошвы водоносного пласта, запуск гидротурбинного расширителя; II, III - расширение ствола снизу вверх; IV - гравийная обсыпка

Сущность его заключается в том, что в ствол скважины, вскрывшей водоносный пласт, спускают по ранее приведенной схеме на бурильных трубах 1 фильтровую колонну 2, башмак которой соединен с гидротурбинным расширителем 3, через переводник с левой резьбой. Отличительной особенностью технологии является расширение ствола скважины по схеме снизу вверх, что позволяет до минимума свести кольматаж пород водоносного пласта.

Способ вскрытия водоносного пласта гидровмывом фильтра практикуется для условий, когда пласт представлен неустойчивыми песками без примеси галечника. На практике, диаметры вмываемых фильтров не превышают 200 мм и зависят от мощности насосного оборудования, применяемого для вмыва фильтра и глубины вмыва фильтра, которая обычно не превышает 10 – 20 м. Вскрывать водоносный пласт гидровмывом фильтра не рекомендуется при условии, когда он имеет пропластки, состоящие из глинистых пород, в процессе размыва которых образуются естественные глинистые растворы, кольматирующие водоносный пласт.

В практике известны два способа вскрытия водоносных пластов методом гидровмыва фильтра (рис. 4.33): с применением неизвлекаемых и извлекаемых из скважины насадок. В первом случае для вскрытия водоносного пласта применяют фильтровую колонну, в нижней части которой оборудованы насадками, во втором – эрлифт.

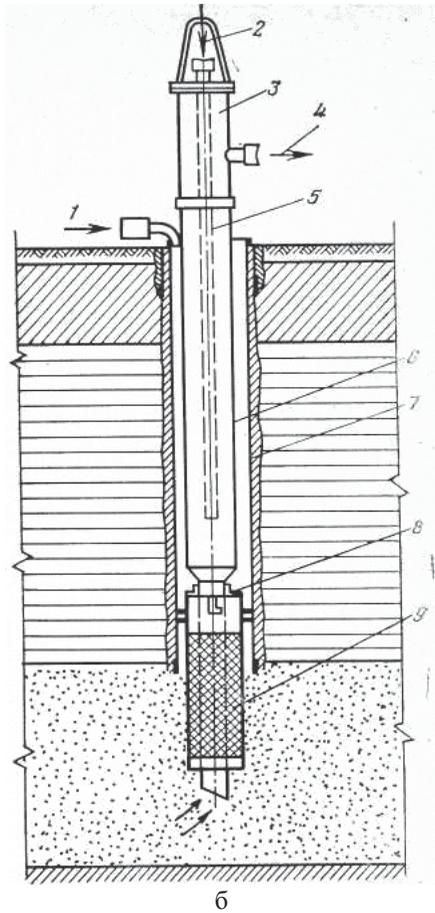
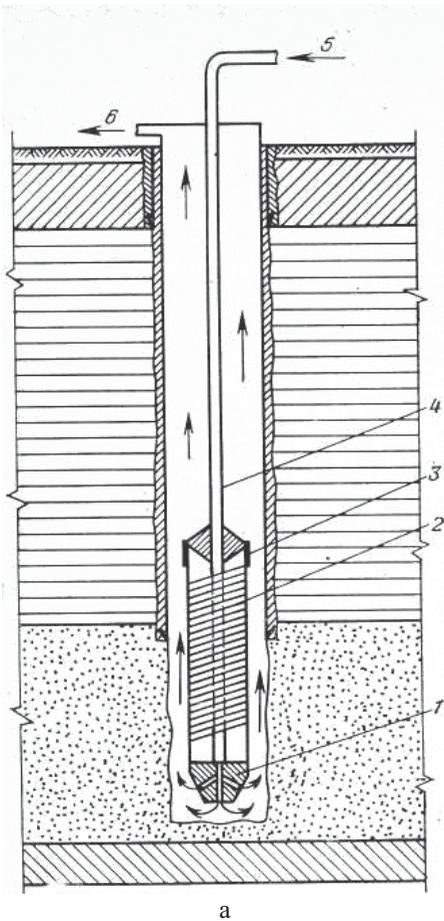


Рисунок 4.33 - Посадка фильтра гидровмывом

1 - коническая насадка; 2 - фильтровая колонна; 3 - сальник фильтровой колонны; 4 - бурильные трубы; 5 - подача воды от насоса; 6 - пульпа

1 - подача воды от насоса; 2 - подача воздуха от компрессора; 3 - оголовок; 4 - слив; 5 - воздухопроводная колонна; 6 - водоподъемная колонна; 7 - эксплуатационная колонна; 8 - Т-образный ключ; 9 - фильтр

В случае отсутствия сведений о мощности и механическом составе водоносного пласта его сначала вскрывают малым диаметром (пилот-скважиной) с промывкой раствором для уточнения интервала установки фильтра. Затем в скважину опускают фильтровую колонну с гидравлической конической насадкой, в корпусе которой имеются обратный клапан и втулка с левой резьбой для соединения с бурильными трубами (рис. 4.34, а).

Скорость выхода струн из сопла насадки должна быть не менее 40 м/с, при этом достигается необходимый эффект для вымыва фильтра. Расчет параметров струйных аппаратов приведен в работе Д.Н. Башкатова [12].

Если в разрезе отсутствуют линзы и пропластки глин, а водоносный пласт представлен чистыми песками, можно применять способ посадки фильтров с помощью эрлифтов (рис. 4.33, б).

К преимуществам этого способа посадки фильтра можно отнести то, что в чистых песках гарантировано достижение фильтром проектной глубины, а также сокращаются общие затраты времени на освоение скважины перед вводом ее в эксплуатацию.

Однако этот способ неприменим в глинистых песках, при наличии твердых прослоек, а также при низких статических уровнях воды, так как при этом требуется большое количество воды и необходимо применять компрессоры, развивающие давление 1,5...2 МПа, осложнен процесс регулирования уровня воды в скважине в начальной стадии посадки фильтра, что вызывает появление в эрлифтной установке песчаных пробок и приводит к увеличению давления на выходе компрессора. В процессе необходимо строго следить за скоростью спуска колонн в скважину, которая не должна превышать рекомендуемых [12], в виду того, что при гидровмыве выше и ниже смесителя воздухопроводной колонны возможно образование песчаных пробок. Образование песчаных пробок приведет к дополнительным временным и материальным затратам на их ликвидацию.

4.3.2.6. Технология создания гравийно-засыпных фильтров в скважинах глубиной 500 – 1000 м и более

Вскрытие водоносных пластов, представленных песками или слабосцементированными песчаниками, залегающими на глубинах 500 – 1000 м и более, а также создание в таких условиях гравийной обсыпки фильтров является весьма сложным и требует специальной оснастки.

Как правило, такие водоносные пласты насыщены термальными водами, проявляются самоизливом, а нередко и газопроявлениями.

Гидрогеологический разрез и конструкция наиболее типичной для условий Западной Сибири скважины глубиной 1090 м приведен на рис. 4.34.

Существующая и широко распространенная технология вскрытия водоносных пластов в таких скважинах осуществляется вращательным бурением с прямой промывкой глинистыми растворами. Водоприемная часть оборудуется сетчатыми фильтрами. Дырчатые каркасы покрывают сеткой из нержавеющей стали. Водоносный горизонт обычно представлен переслаиванием песчано-глинистых пород, что вызывает необходимость установки рабочей части фильтра в нескольких интервалах.

Водоносный горизонт осваивают заменой глинистого раствора чистой водой, возбуждением пласта за счет понижения уровня воды в скважине эрлифтом. Часто с целью интенсификации процесса освоения проводят работы по разглинзации методами поинтервальной промывки, взрывов ТДШ, импульсным режимом откачки и др.

Порода	Мощность пласта, м	Глубина залегания пласта	Литология пород	Категория пород	Конструкция скважины
Суглинок желтый. Глина серая, синеватая известковистая с прослоями темно-зеленых песков	00	5		I - II	377 мм 20 м
	95	100		II	
Пески темно-зеленые, серые с прослоями глины	100	200		I - II	273 мм 360 м
Глина серо-зеленая	200	300		II	
Песок мелкозернистый	50	350		I - II	
Глина зеленая плотная с известковистыми конкрециями	100	450		II	
Глина зеленая известковистая с редкими прослоями темно-зеленых песков и алевритов	100	550		II	
Глина серая, зеленоватая аргиллитоподобная с прослоями алеврита	150	700		III	
Глина зеленовато-серая плотная известковистая аргиллитоподобная с прослоями алеврита и слабых песчаников	280	980		III	
Песок серый мелкозернистый обводненный	50	1030		I - II	
Глина зеленовато-серая плотная	20	1050		III	
Песок серый мелкозернистый обводненный	40	1090		I - II	
Глина зеленая плотная				III	168-146 мм 750 м

Рисунок 4.34 - Типичный геологический разрез и конструкция глубокой водозаборной скважины

Процесс освоения сопровождается интенсивным выносом мелкого, пылеватого песка, продолжительность освоения колеблется от 15 до 30 сут.

Эффективность освоения различных наиболее продуктивных пропластков водоносного горизонта, где установлены фильтры, весьма неравномерна. Это подтверждается расходограммами таких скважин (рис. 4.35.) [62].

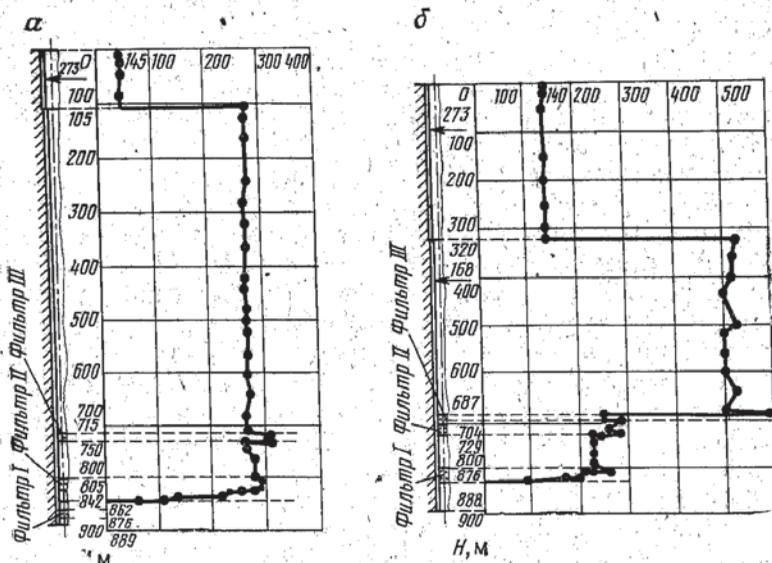


Рисунок 4.35 - Расходограммы работы фильтров в глубоких водозаборных скважинах

Водоносные горизонты в первой и второй скважинах представлены мелкозернистыми песками. Температура воды на поверхности около 27 °С. Первая скважина (рис. 4.35, а) работала на самоизлив с дебитом 72 м³/ч. Результаты расходомерии показали, что нижний фильтр, расположенный в интервале 862 – 876 м, является безводным. Дебит среднего фильтра в интервале 805 – 842 м составлял около 65 м³/ч, а дебит верхнего в интервале 715 – 730 м – 7 м³/ч.

Вторая скважина (рис. 4.35, б), глубиной 888 м, работала с самоизливом 121 м³/ч. Результаты расходомерии показали, что в скважине работали все три фильтра, причем дебит нижнего фильтра, расположенного в интервале 800 – 828 м, составлял 55 м³/ч, дебит верхнего в интервале 687 – 697 м – 60 м³/ч, а дебит среднего фильтра в интервале 704 – 729 м – 6 м³/ч.

Эти данные свидетельствуют о низкой эффективности освоения водоносных пластов; практически расходы воды из них должны быть значительно выше, чем полученные при данной технологии освоения. Очевидно, что применение способов вскрытия водоносных пластов в таких

скважинах, исключаящих кольматаж пласта, а также создание гравийной обсыпки фильтров значительно увеличат дебит скважины и сократят сроки ее освоения.

Особые трудности представляет транспортировка гравия на большие расстояния в скважинах глубиной более 1000 м. Эти трудности определяются в основном следующими факторами: малой величиной кольцевого зазора; большими расстояниями транспортировки в кольцевом зазоре, одна стенка которого является стенкой скважины; наличием на стенках скважины в кольцевом зазоре глинистой корки, сужений ствола и каверн.

При транспортировке гравия в таких условиях традиционными способами существует большая вероятность образования гравийных пробок, а также обогащение воды и гравийного материала глинистыми частицами.

В производственной практике сооружения глубоких водозаборных скважин сложилась конструкция, в которой длина обсадной колонны диаметром 273 мм, как правило, не превышает 350 м (рис. 4.35). В таких условиях при традиционной схеме транспортировки гравия по кольцевому пространству длина пути транспортировки гравия в необсаженной части ствола составит более 600 м. Вполне естественно, что попытки осуществить гравийную обсыпку в таких скважинах оказывались неудачными. Следовательно, для сооружения высокодебитных глубоких водозаборных скважин на термальные воды с проявлением самоизлива требуется разработка специальной технологии и оснастки.

Например, в Западной Сибири пластовое давление термальных вод обуславливает самоизлив воды из скважин с избыточным давлением 0,25 МПа. Для вскрытия и освоения водоносных пластов в таких скважинах следует рекомендовать водогипановые растворы. Учитывая, что требуемая плотность раствора для сооружения глубоких скважин в Западной Сибири, характеризующихся самоизливом, должна быть не менее $\gamma_p = 1,05 \text{ г/см}^3$; в каждом отдельном случае ее следует рассчитывать по формуле

$$\gamma_p = (P_{пл}/H)k, \quad (4.37)$$

где k – коэффициент превышения гидростатического, давления над пластовым (принимается $k = 1,03 - 1,05$); H – расстояние от устья скважины до подошвы пласта, м; $P_{пл}$ – пластовое давление (пьезометрический уровень), м.

Водогипановые растворы при добавлении в воду до 5 % гипана будут иметь плотность только в пределах до $1,02 \text{ г/см}^3$. При этом условная вязкость раствора по СПВ-5 при изменении содержания гипана-1 в водном растворе от 1 до 5 %, увеличивается от 16 до 27 с.

Таким образом, вскрытие напорных водоносных пластов, проявляющихся самоизливом воды с давлением на устье скважины до 0,25 МПа, практически невозможно.

С этой целью следует применять трехкомпонентную структуру раствора: вода – гипан – NaCl. Количество соли NaCl, добавляемой в водогипановые растворы, следует выбирать в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 4.17.

Таблица 4.17 - Количество соли NaCl, добавляемой в водогипановые растворы

Содержание соли (концентрация), %	Количество сухой соли на 1 м ³ воды, кг	Средняя плотность раствора при 15 °С, кг/л	Температура замерзания раствора, °С
0,1	1,0	1,0	0
1,5	15,2	1,01	- 0,9
2,9	29,9	1,02	- 1,8
4,3	45,0	1,03	- 2,6
5,6	59,0	1,04	- 3,5
7,0	75,0	1,05	- 4,4
8,3	90,0	1,06	- 5,4
9,5	106,0	1,07	- 6,4
11,0	124,0	1,08	- 7,5
12,3	141,0	1,09	- 8,5
13,6	157,0	1,10	- 9,8
14,9	175,0	1,11	- 11,0
16,2	193,0	1,12	- 12,2
17,5	206,0	1,13	- 13,6
18,8	230,0	1,14	- 15,1
20,0	250,0	1,16	- 18,2

Так, по данным А. М. Коломиеца, при добавлении в водогипановый раствор 4,5 % NaCl температура замерзания раствора будет ниже температуры замерзания воды на 2,7 °С, так как температура замерзания водогипановых растворов также ниже таковой для воды на 1,5 – 4,5°С в зависимости от концентрации в воде гипана (1 – 5 %).

Условная вязкость такого раствора (вода 96 % – гипан 4 % – NaCl 4 %) будет равна 26 с по СПВ - 5, а плотность – 1,05 г/см³.

Такие параметры раствора вполне обеспечат высокое качество работ при вскрытии водоносных пластов в глубоких скважинах, а также проведение уширения водоприемной части под гравийную обсыпку в нужных интервалах.

Технологическая последовательность операций по вскрытию глубоководных водоносных пластов, представленных песками или слабоцементированными песчаниками, приведена на рис. 4.36. Первоначально бурят до глубины 300 – 350 м и обсаживают эксплуатационной колонной с последующим ее цементированием (рис. 4.36, Л). После этого глинистый раствор заменяют водогипановым с добавками NaCl по приведенным выше рекомендациям и вскрывают весь комплекс пород с помощью лопатных долот 5 и комплекта расширителей 4. По данным электрокаротажа определяют перспективные участки установки рабочей части фильтра.

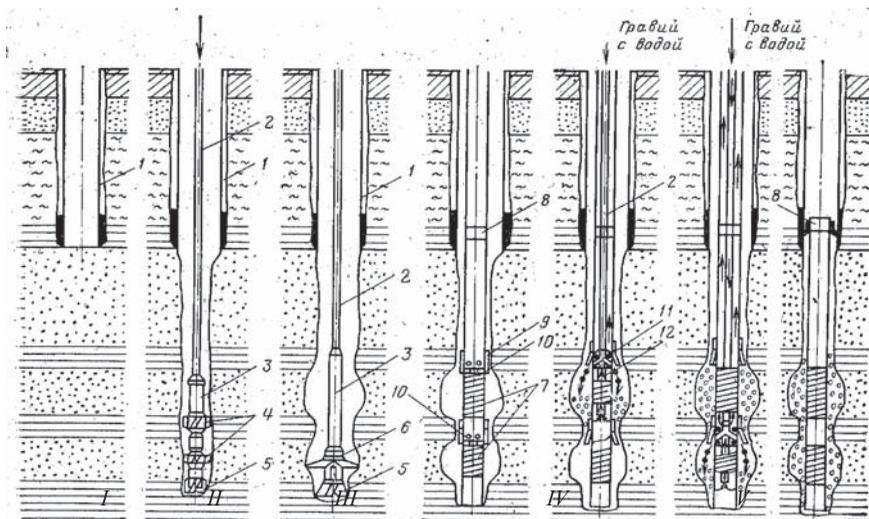


Рисунок 4.36 - Технологическая последовательность операций по вскрытию пласта и гравийной обсыпке фильтров в глубоких водозаборных скважинах

Затем в скважину на бурильных трубах 2 с уплотнителем 3 спускают механический или гидротурбинный расширитель 6 и расширяют ствол скважины под гравийную обсыпку в заданных интервалах, сначала для нижележащего пласта, а затем для вышележащего. После окончания уширения ствол скважины промывают водогипановым раствором с добавками соли (NaCl) до прекращения выноса песка и осветления раствора.

В подготовленную таким образом скважину на муфтовом переводнике 8 с левой резьбой спускают фильтровую колонну с установкой рабочей части 7 в интервалах уширения.

В верхней части каждого интервала фильтра устанавливают фиксирующее стоп-кольцо 10 из хрупкого чугуна, над которым в фильтровой колонне имеются специальные отверстия для пропуска гравия. Эти отверстия при спуске фильтровой колонны перекрываются клапаном 9.

В фильтровую колонну на бурильных трубах спускают гравийраспределитель, и через специальные отверстия в надфильтровой части каждого фильтра с помощью гравийраспределителя и перепускного устройства гравий нагнетают в интервал уширения смеси с чистой водой или водогипановым раствором. Сначала набивают верхний фильтр, а затем нижний (рис. 4.36, IV).

После окончания набивки гравием верхнего фильтра фиксирующее чугунное стоп-кольцо 10 над верхним фильтром разбивают и

гравierasпределитель с перепускным устройством спускают на нижнее фиксирующее стоп-кольцо второго фильтра (рис. 4.37).

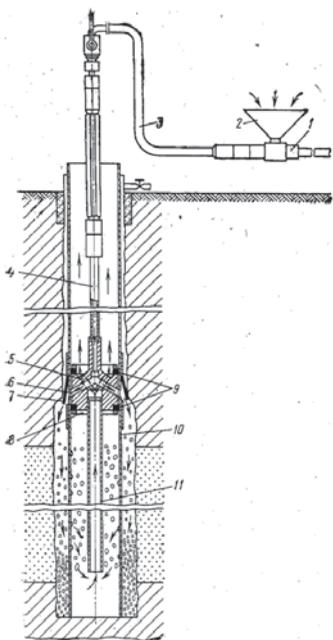


Рисунок 4.37 - Схема работы гравierasпределителя с перепускным устройством

установлены резиновые манжеты 9. Гравierasпределитель устанавливают на фиксирующее стоп-кольцо 8 так, что отверстия гравierasпределителя совпадают с отверстиями 6 в надфильтровых трубах. Эти отверстия перекрываются резиновыми клапанами 7 во избежание поступления песка из скважины. Клапанная манжета 7 крепится муфтой. Промывочная вода или водогипановый раствор через струйный насос подается по нагнетательному шлангу 3 через бурильные трубы к гравierasпределителю; ввод гравия в нагнетательную линию осуществляется через гравиепитатель 2. Вода или водогипановый раствор в смеси с гравием попадает в кольцевой зазор между фильтром и стенками скважины, гравий осаждается, а отработанная вода (водогипановый раствор) через фильтр попадает в водоподъемную колонну 10 и через перепускные отверстия гравierasпределителя поступает в кольцевой зазор между бурильными и надфильтровыми трубами и выходит через устье скважины.

Таким образом, намывают гравий в кольцевое пространство уширенного контура в интервале нижнего фильтра. Отработанная вода (водогипановый раствор), поступающая через бурильные трубы в смеси с гравием, возвращается через фильтр в водоподъемный патрубок 12 и через перепускное отверстие гравierasпределителя – в кольцевой зазор между надфильтровой трубой и бурильными трубами.

Заканчивание скважины заключается в замене водогипанового раствора водой, извлечении гравierasпределителя на бурильных трубах из скважины, отвинчивании надфильтровых труб с муфтового переводника 8 с левой резьбой и установке сальника (рис. 4.36).

Скважину испытывают эрлифтной откачкой

Подробная схема набивки гравием с помощью гравierasпределителя показана на рис. 4.37. По этой схеме гравierasпределитель 5 спускают (для условий глубоких скважин) на бурильных трубах 4 и устанавливают над фильтром на фиксирующее стоп-кольцо 8. По наружному диаметру гравierasпределителя 5

По аналогичной схеме на гравierasпределителе можно спускать фильтровую колонну впотай без вспомогательной надфильтровой трубы при условии оборудования надфильтровой части сальником, изолирующим кольцевой зазор между надфильтровой и эксплуатационной колоннами.

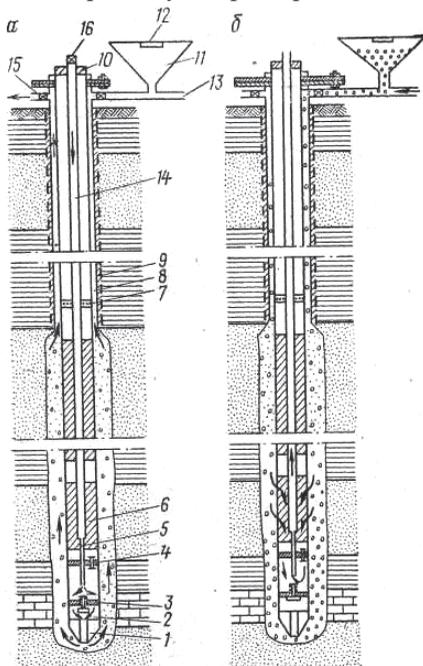


Рисунок 4.38 - Схема создания гравийного фильтра методом гидромеханической укладки

а - промывка скважины; *б* - намыв гравийного фильтра;
 1 - направляющая пробка; 2 - камера; 3 - нижний клапан;
 4 - верхний клапан; 5 - проволочный патрубок; 6 - фильтр;
 7 - переходник; 8 - эксплуатационная колонна; 9 - цементное кольцо; 10 - герметизирующее устройство; 11 - бункер; 12 - люк для загрузки гравия; 13 - нагнетательный трубопровод; 14 - бурильные трубы; 15 - выпускной кран; 16 - впускной кран

рабочей поверхности фильтра и обсыпка его мелким песком и глинистыми частицами, если последние содержатся в гравийном материале. Поэтому при этом способе гравийной обсыпки рекомендуется применять хорошо промытый гравий.

Существуют также технологические схемы подачи гравия в нисходящем потоке по кольцевому пространству одновременно с откачкой. При этом часть откачиваемой жидкости снова направляется по кольцевому пространству в зафильтрованное пространство и служит рабочим агентом для транспортировки гравия.

В приведенных схемах гравierasпределитель, как правило, устанавливают непосредственно над фильтром. Этот способ ввиду значительного превышения скорости движения жидкости в трубах над скоростью свободного падения частиц гравия в жидкости обеспечивает наилучшие условия сохранения коэффициента межслойности. Транспортировка гравия по бурильным трубам дает возможность осуществлять гравийную обсыпку в глубоких скважинах.

Недостатками этого способа являются возможное уплотнение гравия, а также кольматаж

Объединением Союзводпроект разработан способ принудительной закачки гравия на забой через кольцевое пространство между эксплуатационной и надфильтровой колоннами труб. В этом случае скважину перекрывают обсадными трубами до кровли водоносного пласта с последующим цементированием ее башмака. Затем уширяют ствол скважины лопастным механическим расширителем в интервале водоносного пласта с промывкой высококачественным раствором. В скважину спускают фильтровую колонну с двумя клапанами и камерой, расположенной между фильтром и отстойником (рис. 4.38, а). Разглинзацию осуществляют с помощью прямой и обратной промывки водой. Гидромеханическую укладку гравия осуществляют в нисходящем потоке (рис. 4.38, б). Оптимальный режим подачи гравия: 2 – 2,3 м³/ч.

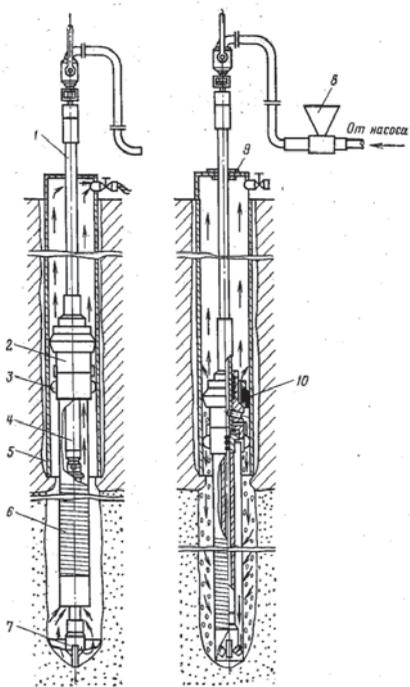


Рисунок 4.39 - Технологическая схема выполнения гравийнозасыпных фильтров с применением универсального устройства

Скважину бурят до кровли водоносного пласта, закрепляют обсадными трубами 5 и цементуют. Затем в скважину спускают фильтровую колонну 6, оголовек которой на хомутах или элеваторе укрепляют на устье скважины.

По данным И.И. Снежко, такая технология гравийной обсыпки применялась в Африке на скважинах глубиной до 800 м.

К недостаткам этой технологии следует отнести: необходимость установки эксплуатационных труб до кровли водоносного пласта с последующей разглинзацией водоносного пласта, не гарантирующей качественного освоения скважины.

Г.П. Квашинным вместе с Г.А. Кохановым [61] была разработана технология создания гравийнозасыпных фильтров в скважинах глубиной до 1000 м, которая совмещает операции по вскрытию пласта, установке фильтровой колонны, образованию уширенного контура под гравийную обсыпку и проведению гравийной обсыпки за один цикл спускоподъема инструмента. Все операции по вскрытию и освоению можно проводить с прямой промывкой водой и водогипановыми растворами с добавлением NaCl.

Последовательность проведения всех операций показана на рис. 4.39.

Внутрь фильтровой колонны спускают бурильные трубы 4 с долотом-расширителем 7, лопасти которого находятся в транспортном положении. Бурильные трубы 4 соединяются с универсальным устройством 2, которое через муфтовый переводник с левой резьбой соединяется с надфильтровыми трубами.

В комплект универсального устройства входят: сальниковое устройство 10, гидравлический и механический отсоединители, гравииераспределитель, перепускное устройство для ведения промывки с прямой и обратной циркуляцией.

Смонтированную таким образом фильтровую колонну с универсальным устройством 2 и цементирующими фонарями 3 на бурильных трубах 1 спускают до забоя, при этом лопасти расширителя 7 во время вращения бурильных труб при поступательном движении раскрываются.

Вскрытие пласта и посадку фильтровой колонны осуществляют одновременно при прямой промывке водой или водогипановым раствором, при этом вращение бурильных труб осуществляется при невращающейся фильтровой колонне.

После окончания посадки фильтровой колонны, используя механический и гидравлический отсоединители, приподнимают бурильные трубы 6 и 1, долото-расширитель 7 входит в ствол скважины, сальниковое устройство 10 раскрывается и отверстия гравииераспределителя соединяются с бурильными трубами 1. Гравий в смеси с водой через гравииепитатель 8 поступает через бурильные трубы к гравииераспределителю и проводится гравийная обсыпка фильтра уширенным контуром. Циркулирующая вода через фильтр и бурильные трубы 6 поступает в отверстия перепускного устройства и выходит за сальником 10 в кольцевой зазор между колонной 5 и бурильными трубами 7 к устью скважины, перекрытому крышкой 9 сальника.

После окончания гравийной набивки зафильтрованного пространства универсальное устройство 2 отсоединяют с левой резьбы муфтового переводника надфильтровых труб и извлекают вместе с бурильными трубами 1 и 4 и расширителем 7 из скважины. Процесс заканчивания скважины осуществляется по обычной технологии.

4.3.2.7. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при ударно-канатном бурении

При ударно-канатном бурении обеспечивается гравийная обсыпка фильтров: однослойная, многослойная и уширенного контура. Обычно при ударно-канатном способе бурения гравий засыпают в кольцевое пространство между фильтровой и вспомогательной обсадной колоннами с последующим их извлечением, что не представляет собой сложности (рис. 4.40, а). Во избежание спаривания фильтровой и рабочей обсадной колонн основным является

условие, при котором интенсивность обсыпки фильтра должна соответствовать интенсивности его обнажения при подъеме рабочей колонны.

Второй способ создания гравийной обсыпки осуществляется при вскрытии водоносного пласта бурением фильтровой колонной с коническим башмаком, что рекомендуется производить при вскрытии водоносных пластов в неустойчивых породах. При этом погружение фильтровой колонны должно сопровождаться соответствующей подсыпкой гравия в затрубное пространство между фильтром и обсадной колонной (рис. 4.40, б). Фильтровую колонну погружают методом тартания желонкой или эрлифтной откачкой.

После посадки фильтровой колонны конический башмак заполняют крупным гравием и проводят откачку. При этом в процессе формирования гравийного контура гравий добавляли в кольцевой зазор между фильтром и обсадной колонной.

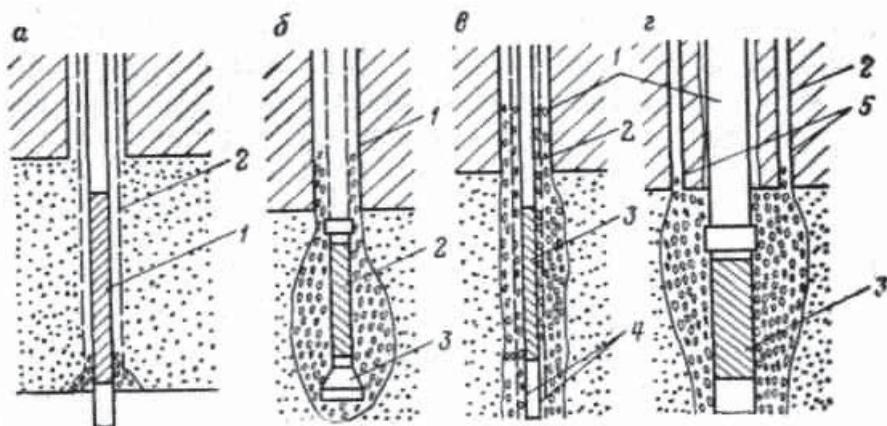


Рисунок 4.40 - Схемы создания гравийной обсыпки при ударно-канатном бурении

1 - фильтровая колонна; 2 - рабочая колонна; 3 - конический башмак; 4 - вспомогательная колонна; 5 - вспомогательные скважины

При создании гравийной обсыпки с использованием отверстий в нижней части вспомогательной обсадной колонны (рис. 4.40, в) скважину сначала крепят кондуктором до кровли водоносного пласта, а затем вскрывают пласт вспомогательной колонной с отверстиями снизу. Через отверстия эрлифтом вымывается песок, и в водоносном пласте образуются каверны. Затем в скважину устанавливают фильтровую колонну и проводят обсыпку гравием с одновременным извлечением вспомогательной колонны из скважины. Вспомогательные колонны поднимают последовательно от периферии к центру скважины. Каждый подъем трубы не должен превышать 7 – 10 м. Его проводят с одновременной засыпкой гравия, уровень которого систематически контролируется щупом. Этот метод весьма трудоемок, но дает надежный контур гравийной обсыпки и хорошую производительность скважины.

При создании гравийной обсыпки через вспомогательные скважины (рис. 4.40, 2) обычно рядом с основной скважиной сооружают четыре – шесть вспомогательных скважин малого диаметра. При откачке эрлифтом воды с песком из основной скважины во вспомогательные засыпают гравий, который заполняет каверну, образовавшуюся при выносе песка. Этот способ рекомендуется при неглубоком залегании водоносного пласта, представленного пылеватыми тонкозернистыми песками плавунного типа.

Создание многослойной гравийной обсыпки фильтров применяется в исключительных случаях для водоносных пластов, представленных очень мелкими пылеватыми пескам со слабой водоотдачей. Обычно это двухслойные и реже трехслойные обсыпки.

Существуют два способа создания гравийных фильтров с многослойной обсыпкой:

1) образование многослойных гравийных обсыпок при помощи вспомогательных колонн; 2) образование двухслойной гравийной обсыпки при одновременном вскрытии водоносного пласта .

На рис. 4.41 приведена схема создания многослойной гравийной обсыпки с помощью вспомогательных колонн 2 и 3.

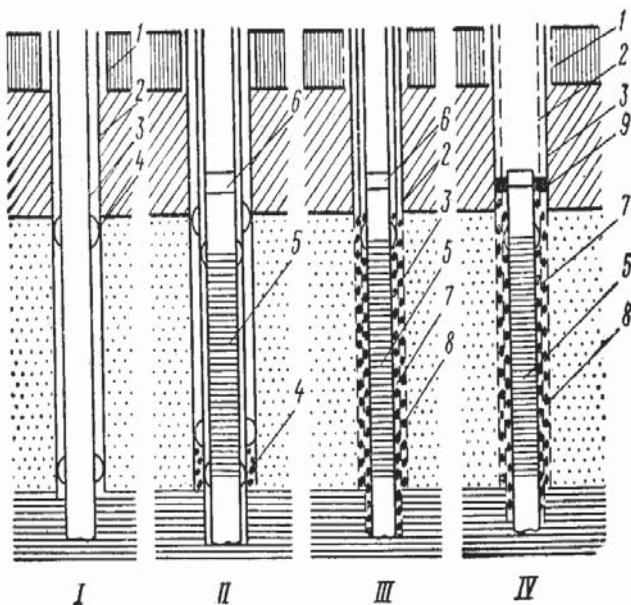


Рисунок 4.41 - Технологическая схема операций по многослойной гравийной обсыпке с вспомогательными колоннами

I - бурение и спуск вспомогательных колонн, *II* - спуск фильтровой колонны и засыпка основного слоя гравия, *III* - обнажение фильтра с одновременной засыпкой первого и второго слоев гравия, *IV* - заканчивание скважины

1 - кондуктор; 2, 3 - вспомогательные колонны; 4 - центрирующие фонари; 5 - фильтровая колонна; 6 - муфтовый переводник с левой резьбой; 7 - второй слой обсыпки гравием; 8 - первый основной слой обсыпки гравием

По этой схеме в начальную колонну обсадных труб большого диаметра телескопически спускают ряд вспомогательных колонн 2 и 3 с зазором между ними не менее 50 мм. Колонны оборудованы центрирующими фонарями 4. После спуска в скважину спускают фильтр.

Первый контур обсыпки 8, контактирующий с породой, является основным, а второй 7 (из более крупного гравия или песка) прилегает к рабочей части фильтра.

Образование двухслойной гравийной обсыпки при одновременном вскрытии водоносного пласта эрлифтом рекомендовано В.М. Гаврилко [38] (рис. 4.42).

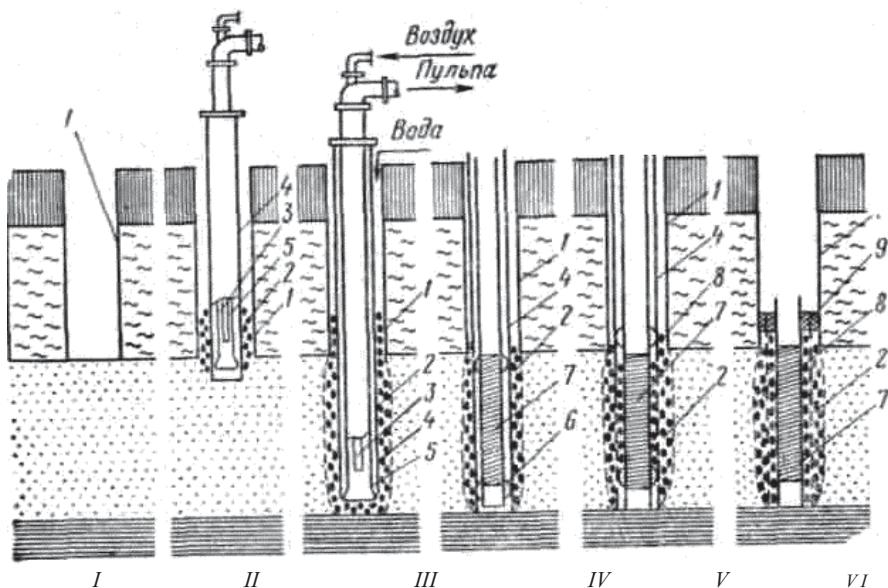


Рисунок 4.42 - Технологическая схема операций по созданию

двухслойной гравийной обсыпки фильтра с вскрытием водоносного пласта

I - бурение скважины с обсадкой трубами до кровли водоносного пласта; II - спуск в скважину вспомогательной колонны с эрлифтом; III - вскрытие водоносного пласта с эрлифтной откачкой и одновременной засыпкой гравия; IV - установка фильтра; V - извлечение вспомогательной колонны с засыпкой второго слоя гравия; VI - заканчивание скважины

1 - обсадная эксплуатационная колонна; 2 - запас гравия для первого слоя обсыпки в кольцевом зазоре; 3 - воздухопроводные трубы; 4 - вспомогательная обсадная колонна; 5 - водоподъемная колонна эрлифта; 6 - центрирующие фонари; 7 - фильтровая колонна; 8 - второй слой гравия; 9 - сальник

Сначала скважину разбуривают до кровли водоносного пласта и крепят обсадной колонной диаметром 350 – 500 мм. Затем в скважину спускают вспомогательную колонну диаметром не менее 219 мм, в которой монтируют эрлифт с центральным расположением воздушных труб. На нижнем конце колонны водоподъемных труб монтируют специальный конусный башмак (диффузор). Колонна воздушных и водоподъемных труб эрлифта жестко соединена с рабочей колонной, что позволяет поднимать и опускать эрлифт в процессе вскрытия пласта вместе с рабочей колонной.

Перед началом погружения рабочей колонны кольцевой зазор между основной колонной и рабочей заполняется некоторым количеством гравия на высоту 2 – 2,5 м. По мере погружения с помощью эрлифта рабочей колонны гравий замещает вымываемую породу и образует контур обсыпки вокруг рабочей колонны. Запас гравия в кольцевом зазоре поддерживают и контролируют при помощи щупа. С целью интенсификации продвижения гравия к забою рабочую колонну встряхивают и проворачивают в процессе вскрытия пласта. Вынос гравия эрлифтом является сигналом образования контура обсыпки.

По мере углубления скважины наращивают обсадные, водоподъемные и воздушные трубы.

Второй внутренний слой гравийной обсыпки устраивается после установки фильтра в скважину и подъема рабочей колонны обсадных труб. Подъем сопровождается одновременной подсыпкой гравия (рис. 4.42, V).

Для создания гравийно-обсыпного фильтра уширенного контура можно использовать способ скользящего эрлифта, предложенный В.М. Гаврилко (рис. 4.43).

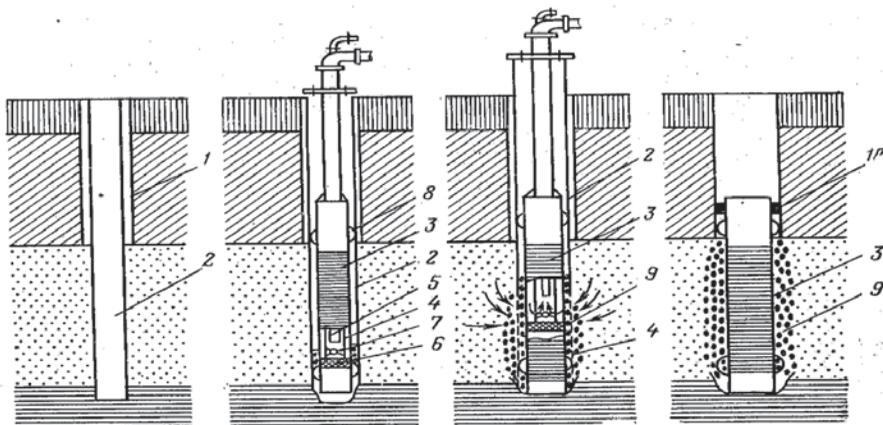


Рисунок 4.43 - Технологическая схема процессов при оборудовании гравийно-засыпного фильтра способом скользящего эрлифта

I - бурение с вскрытием водоносного пласта вспомогательной колонной; *II* - спуск в скважину фильтровой колонны с эрлифтом и пакером; *III* - процесс гравийной обсыпки уширенным контуром; *IV* - заканчивание скважины

1 - эксплуатационная обсадная колонна; *2* - вспомогательная колонна; *3* - фильтр; *4* - водоподъемная колонна; *5* - колонна воздушных труб; *6* - резиновая манжета (пакер); *7* - окна в водоподъемной колонне; *8* - центрирующие фонари; *9* - гравийная обсыпка; *10* - сальник

Первый этап работы (рис. 4.43, *I*) заключается в бурении скважины до подошвы водоносного пласта с креплением ее вспомогательной колонной обсадных труб *2*.

Второй этап (рис. 4.43, *II*) включает спуск фильтровой колонны *3* с смонтированным внутри нее эрлифтом *4*. Башмак водоподъемной колонны оборудован специальной резиновой манжетой (пакером) *6*. Нижняя часть водоподъемной колонны *4* имеет окна *7* для пропускания воды с песком.

Процесс гравийной обсыпки (рис. 4.43, *III*) начинается одновременно с откачкой эрлифтом и обнажением фильтра вспомогательной колонной *2*. При этом эрлифтная колонна *4* движется одновременно с вспомогательной колонной *2*. Расстояние между башмаком вспомогательной колонны *2* и пакером *6* водоподъемной колонны оставляет 1,0 – 1,5 м.

Запас гравия над башмаком вспомогательной колонны *2* не должен превышать 1,5 – 2,0 м. Во время прокачки эрлифтом через фильтр выносятся песок, который замещается гравием *9*. После формирования фильтра вспомогательную колонну и эрлифт с пакером поднимают выше на 1,0 – 1,5 м, и аналогично формируется гравийно-засыпной фильтр на следующем участке и так до полной обсыпки фильтра.

По данным В.М. Гаврилко расход гравия при этом способе в 2,5 – 3 раза выше расчетного. В процессе откачки из водоносного пласта удаляются мелкие частицы, что интенсифицирует водоотдачу в призабойной части.

При необходимости, особенно в начальный момент, для надежной работы эрлифта и уширения скважины в зазор между фильтровой и вспомогательной колоннами можно доставлять гравий с доливом воды.

С целью форсирования вскрытия водоносных пластов, представленных песками, при ударно-канатном бурении рекомендуется применять поршневые желонки. Чтобы избежать образования в скважине песчаных пробок, следует вскрывать пласт с доливом воды в скважину для поддержания избыточного гидростатического давления на пласт.

4.3.2.8. Осложнения и их устранение при создании гравийно-засыпных фильтров

Основные виды осложнений при создании гравийно-засыпных фильтров и освоении скважин классифицированы Г.П. Квашниным и приведены в табл. 4.18.

При создании гравийно-засыпных фильтров возникают следующие осложнения:

- образование пробок и зависание гравия при его транспортировке на забой;
- расслоение гравия при его транспортировке на забой;
- кольматаж гравийной обсыпки глинистыми материалами;
- разрыв обмотки фильтра и вынос гравия в скважину; спаривание фильтровой и вспомогательной колонн при ударно-канатном бурении;

Таблица 4.18 - Классификация осложнений при создании гравийно-засыпных фильтров

Вид осложнения	Причины возникновения осложнения	Мероприятия по предупреждению осложнения	Способ ликвидации осложнения
1	2	3	4
Пескование	Несоответствие между типом фильтра и гранулометрическим составом песков водоносного горизонта	Подбор фильтра в соответствии с техническими требованиями	Если причиной пескования является большой размер отверстий в фильтре, то пескование можно устранить только длительной откачкой при условии, что в составе песков водоносного горизонта имеются частицы, размер которых достаточен для образования водообразующих мостиков в отверстиях фильтра.
	Повреждение фильтра	Соблюдение правил, обеспечивающих сохранность фильтра при его установке в скважину	Если пескование вызвано нарушением целостности фильтрующей поверхности, то необходимо установить место пескования (например, путем откачки через селективный пакер), а затем изолировать этот участок трубой или цементированием
	Плохая изоляция кольцевого пространства между надфильтовой трубой и эксплуатационной колонной	Установка надежных сальниковых устройств	Пескование из-за плохого сальника устраняется установкой в кольцевое пространство деревянного цилиндрического сальника, низ которого обточен под конус, а также засыпкой в кольцевое пространство нормального гравия, «пригнуженного» крупнофракционным
Заполнение кольцевого пространства между фильтром и стенками скважины	Некачественное цементирование башмака эксплуатационной колонны при погтайной конструкции фильтра	Качественное цементирование или изоляция кольцевого пространства над фильтром от вышележащих неустойчивых пород	Способ ликвидации не разработано, поэтому все меры должны быть направлены на предупреждение осложнений
Искусственное защемление зон глинизации гравием	Отсутствие изоляции кольцевого пространства над фильтром от вышележащих пород при одноколонной конструкции скважин	Создание гравийно-засыпных фильтров	Методов полного устранения этого вида осложнения не разработано. Частично устраняется при воздействии на пласт знакопеременными гидродинамическими импульсами. Поэтому необходимо стремиться к предупреждению этого вида осложнения
	Проведение гравийной обсыпки до удаления глинистой корки или зон глинизации со стенок скважины в интервале водоносного горизонта	Вскрытие с промывкой чистой водой. Удаление продуктов глинизации со стенок скважины до проведения гравийной обсыпки. Применение гравийной обсыпки методом замещения	

продолжение табл. 4.18	
<p>Защелмение зон глинизации в результате заполнения кольцевого пространства между фильтром и стенками скважины обрушенными породами самого водоносного горизонта</p>	<p>Обрушение пород в интервале водоносного горизонта до удаления со стенок скважины продуктов глинизации</p>
<p>Зависание гравия (образование, пробок)</p>	<p>Заклинивание гравия в сужениях кольцевого пространства при гравийной обсыпке</p>
<p>Спаривание фильтровой и вспомогательной колонн</p>	<p>Засыпка большой порции гравия в кольцевой зазор в процессе обнажения фильтра</p>
<p>Прорыв пластовых вод по затрубному пространству</p>	<p>Плохое качество цементирования эксплуатационных и промежуточных колонн</p>
<p>Открытое фонтанирование скважин</p>	<p>Неграмотное вскрытие водоносных горизонтов самонизливающихся скважин с высоким пластовым давлением</p>
<p>Разрыв сетки или обмоточной проволоки на фильтре</p>	<p>Забывка фильтра при спуске Взарыв торпеды ТДШ без центраторов при освоении. Низкое качество фильтров. Извлечение вспомогательной колонны ударами (при ударно- канатном бурении)</p>
<p>Устранение этого вида осложнений сводится к применению эффективных методов разглинизации, но полностью устранить не поддается</p>	<p>Вскрытие водоносных горизонтов с промывкой чистой водой Удаление продуктов глинизации до установки фильтра или одновременно с его установкой (например, с гидротурбинными расширителями) Удаление продуктов глинизации одновременно с откачкой (например, через промывочные окна в отстойнике фильтра)</p>
<p>Воздействие на трубы и гравий накоперенными гидродинамическими или вибрационными нагрузками Взарыв ТДШ в интервале зависания гравия Подача гравия в струе промывочной жидкости высоконапорными насосами</p>	<p>Применение конструкций фильтров и способов гравийной обсыпки, исключающих зависание гравия в кольцевом пространстве (например, потайные конструкции фильтров, подача гравия через специальные трубы и др.) Строгое соблюдение режима засыпки, обеспечивающее столб гравия не более 1,5 - 2 м в кольцевом зазоре</p>
<p>Взарывы торпед ТДШ. Вибрационное воздействие</p>	<p>Качественное цементирование затрубного пространства</p>
<p>Перфорация эксплуатационной колонны над водоносным горизонтом и цементирование затрубного пространства через специальный пакер</p>	<p>Закачка в скважину промывочной жидкости с повышенным удельным весом Установка на устье скважины арматуры для фонтанирующих скважин</p>
<p>Закачка в интервал прорыва быстро схватывающихся цементных растворов с помощью пакера (манжетное цементирование). Извлечение фильтровой колонны, проработка ствола и спуск нового фильтра Установка внутри дополнительного фильтра меньшего диаметра (в порядке исключения).</p>	<p>Строгое соблюдение технологии спуска труб, фильтров и освоения скважин Проверка крепления обмоточного материала на каркасе фильтра перед спуском</p>

- несоответствие соотношения между размером зерен обсыпки и зерен песка водоносного пласта;
- плохая изоляция кольцевого зазора между фильтровой и эксплуатационной колоннами.

Методов устранения расслоения гравия не существует, поэтому борьба с этим видом осложнений заключается в его предупреждении путем применения соответствующей технологии.

Основные пути борьбы с зависанием гравия также заключается в осуществлении профилактических мероприятий по поддержанию интенсивности подачи гравия и скоростей его движения в кольцевом пространстве. Однако если в кольцевом пространстве образуется гравийная пробка, то необходимо, прежде всего, немедленно прекратить подачу гравия. К сожалению, обнаружить гравийную пробку можно только по повышению давления в нагнетательной линии при подаче гравия под давлением. В других случаях образование гравийной пробки обнаруживается лишь по окончании засыпки гравия в период пробной откачки по завышенному содержанию песка в откачиваемой жидкости.

Существуют два метода ликвидации гравийных пробок в кольцевом пространстве: взрыв детонирующего шнура в скважине и наложение гидродинамической пульсации.

Для решения вопроса о выборе способа ликвидации гравийной пробки прежде всего определяют ее местоположение и мощность. Верх пробки в большинстве случаев удается определить щупом, спускаемым в кольцевое пространство.

Если известно местоположение верхней части гравийной пробки, то общую ее длину определяют предположительно. Затем в скважину в интервал возможного местоположения пробки спускают торпеду из детонирующего шнура и взрывают ее. В результате взрыва колонна труб встряхивается, ударный импульс передается в зафильтровое пространство и в виде волнообразной серии повышений и понижений давления действует на гравийную пробку, разрушая ее. Однако иногда путем взрывов не удается ликвидировать пробку. Трудности ликвидации пробки увеличиваются с увеличением и ее длины.

Наиболее простым способом ликвидации осложнений этого вида является воздействие на интервал зависания гравия гидродинамической пульсацией жидкости в кольцевом пространстве.

4.3.3. Конструкции и технологии создания гравийно-засыпных фильтров

При бурении глубоких скважин с малым конечным диаметром, а также при вскрытии напорных водоносных горизонтов, самоизливающихся на поверхность Земли, создание гравийно-засыпных фильтров становится затрудненным, а в некоторых случаях и невозможным.

Кроме того, технологии их создания имеют ряд недостатков:

- производство рыхлых обсыпок требует необходимых технических навыков и соответствующей квалификации буровых мастеров, которые часто нарушают требования нормативных документов;

- значительные временные расходы на транспортировку гравийного материала с дневной поверхности в зону водоносного горизонта;

- качественное формирование гравийной обсыпки требует сложного поверхностного и забойного оборудования и инструмента, который увеличивает стоимость работ;

- расслоение гравийного материала по размеру, как по высоте, так и по диаметру создаваемой гравийной обсыпки;

- зависание гравийного материала на пути транспортировки с образованием пробок, которое требует дополнительных расходов времени на его ликвидацию;

- образование зияющих пустот в гравийной обсыпке в зоне водоносного горизонта, которые влекут за собой пескование скважины.

Из-за этих причин среди технологий оборудования скважин гравийными фильтрами в России, Украине и других странах появилось направление по созданию фильтров на дневной поверхности с последующей их транспортировкой по стволу скважины и оборудованию ими водоносных горизонтов.

4.3.3.1. Технология создания гравийно-опускных корзинчатых фильтров

Одной из старейших конструкций, получившей наиболее широкую известность, является корзинчатый фильтр. Гравийная обсыпка вокруг каркаса производится в конусные корзинки, располагаемые одна над другой вдоль оси фильтра.

Первоначально применяли фильтры, состоящие из чугунных литых корзинок (рис. 4.44), собираемых в звенья при помощи анкерных болтов. В других конструкциях корзинки фильтра отливали из бронзы и латуни [38].

Корзинчатые фильтры, изготовленные из чугуна и бронзы, устойчивы против коррозии, но, в то же время, эти конструкции не являются универсальными; опыт показал, что и при таких конструкциях наступает закупорка и кольматация фильтров, в результате чего снижается дебит скважин. Размеры этого снижения зависят от гидрогеологических условий, подбора и способа укладки гравийных обсыпок.

Ремонт скважин, когда требуется извлечение корзинчатых фильтров, весьма затруднителен, а тем более, когда фильтр изготовлен из чугунных отливок. В дальнейшей практике по ряду водозаборов применяли корзинчатые фильтры облегченных конструкций с изготовлением корзинок из кровельного железа.

Коррозионно-нестойкое железо использовали для разрушения корзинок в забое для облегчения подъема фильтров при их ремонте.

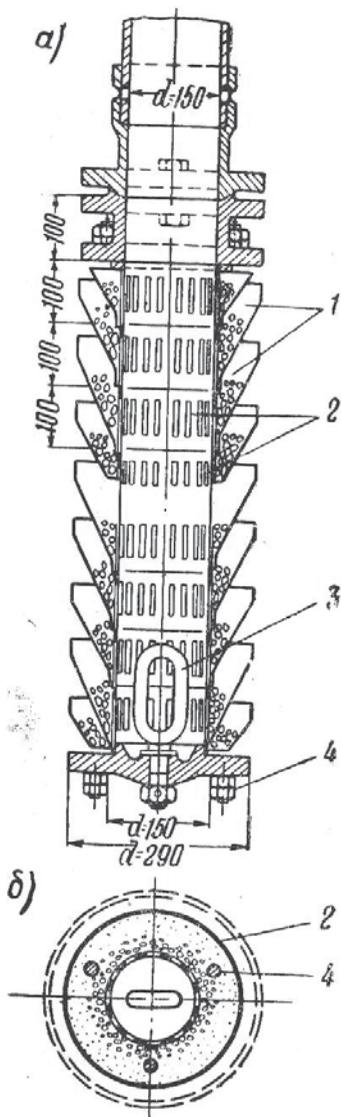


Рисунок 4.44 - Общий вид корзинчатого фильтра

a) - разрез; *б)* - план; 1 - корзинки чугунные, заполненные гравием; 2 - корзинчатый фильтр; 3 - спусковое кольцо; 4 - анкерные болты

На рис. 4.45 изображен корзинчатый фильтр, применявшийся в скважинах, предназначенных для эксплуатации подземных вод из аллювиального водоносного горизонта. В качестве опорного каркаса здесь использована труба диаметром 150 мм с круглыми проходными отверстиями диаметром 7 мм.

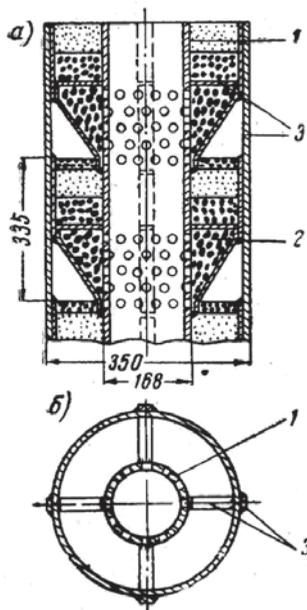


Рисунок 4.45 - Фильтр с корзинками из кровельного железа

Фильтры устанавливали в скважинах с диаметром колонн 400 мм, глубиной 50 м.

Ввиду наличия мелкозернистых песков в фильтрах применялась 4-х слойная засыпка корзинок гравием следующего состава: 1-ый слой (от каркаса): 10 – 12 мм; 2-ой: 3 – 5 мм; 3-ий: 1 – 2 мм; 4-ый: 3 – 5 мм.

При длине рабочей части фильтров 16 – 18 м и мощности водоносного горизонта около 40 м скважины с корзинчатым фильтром составляет от 3 до 4,5 м³/час.

В других конструкциях корзинчатых фильтров проходные отверстия на опорных каркасах выполняются в виде больших квадратных прорезей, которые затягиваются фильтровальной сеткой с крупными ячейками. Такая конструкция фильтра показана на рис. 4.46. Основные его размеры применительно к различным диаметрам скважин приведены в табл. 4.19.

Таблица 4.19 - Конструктивные размеры корзинчатого фильтра

Конструктивные элементы	Условные обозначения	Размеры, мм		
		250	300	350
Диаметр скважины	D	250	300	350
Внешний диаметр:				
корзинчатого фильтра	D_1	220	270	320
трубы каркас	d_n	89	114	140
Условный просвет каркаса	d_s	76	100	125
Высота проходной щели	h	60	80	100
Ширина проходной щели	m	35	45	55
Расстояние между щелями вертикали	b	80	100	120
Опорный пояс из полосовой стали	k	15	15	15
Высота корзинки	a	200	250	300
Толщина железа на корзинках	b	1	1	1
Ширина ребра жесткости	p	20	20	20
Толщина ребра жесткости	o	4	4	4

Проход воды у корзинчатых фильтров осуществляется через кольцевой зазор, который образуется между опорным каркасом и корзинкой (воронкой).

Суммарная фильтрующая поверхность определяется по следующей формуле

$$\Sigma F = (D^2 - d^2) n g \pi / 4, \quad (4.38)$$

где D – диаметр корзинки; d – диаметр каркаса фильтра (трубы); n – количество корзинок; g – пористость гравия, засыпаемого в корзинки, $\pi/4 \approx 0,785$.

Зная площадь фильтрации и величину скорости, принимаемой для расчета, нетрудно определить пропускную способность фильтра

$$Q = v \Sigma F = v (D^2 - d^2) n g \pi / 4. \quad (4.39)$$

Следует отметить, что пропускная способность в значительной степени зависит от правильного подбора гравийной обсыпки в соответствии с породами, окружающими фильтр.

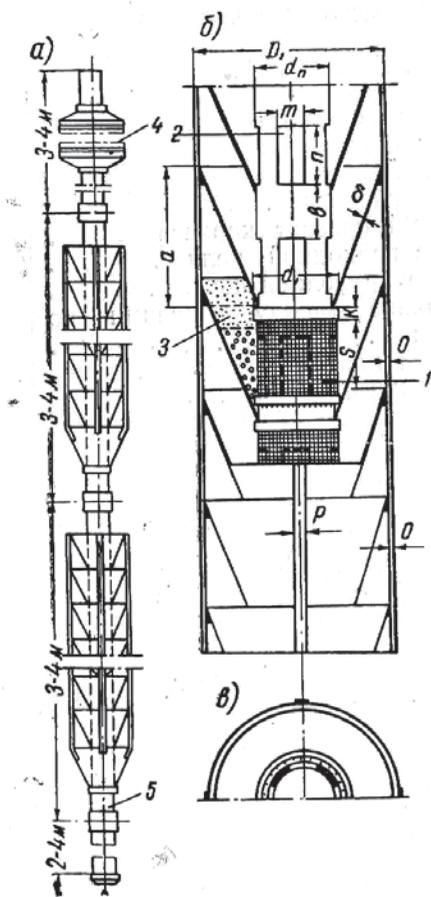


Рисунок 4.46 - Фильтр корзинчатый

a) - общий вид; *б)* - детали фильтра; *в)* - план;
 1 - опорный каркас; 2 - проходные отверстия, затянутые сеткой; 3 - гравийная обсыпка; 4 - сальник; 5 - отстойник

малой дебитности, повышенной стоимости сооружения таких скважин, относительной сложности изготовления фильтров эти конструкции не получили широкого распространения в практике отечественного водоснабжения.

Практика эксплуатации скважин, оборудованных корзинчатыми фильтрами, показала, что в целом ряде случаев эти конструкции работают неудовлетворительно. Так, например, на Воронежском водопроводе было установлено, что корзинчатые фильтры дают воды в 3 – 4 раза меньше, чем фильтры проволочно-каркасные с гравийной обсыпкой.

Испытание двух фильтров корзинчатого и каркасно-стержневого, произведенного на одном из водозаборов в Нижегородской области, также подтвердило неудовлетворительную работу корзинчатого фильтра.

При длине фильтров, равной 18 м, удельный дебит скважины с корзинчатым фильтром составил 4,4 м³/ч, а по скважине с каркасно-стержневым фильтром, при двухслойной обсыпке – около 10 м³/ч. Испытания велись в скважинах, расположенных в одной шахте, на расстоянии около 2 м.

Удельный дебит корзинчатого фильтра в течение года снизился на 25 %.

Установка корзинчатых фильтров требует скважин больших диаметров. Вследствие

4.3.3.2. Технология создания гравийно-опускных кожаных фильтров

Фильтры кожаные с гравийным заполнением применяются в тех случаях, когда требуется особо тщательная укладка гравия при малой величине зазора между фильтровым каркасом и трубами, в глубоких скважинах, когда обсыпка каркасов гравием по затрубному пространству вызывает сомнение в правильности ее создания, и наконец, в тех случаях, когда скважины вскрывают водоносные горизонты с напорными водами, изливающимися на поверхность, и засыпаемый гравий выносится из колонны, не достигая забоя скважин.

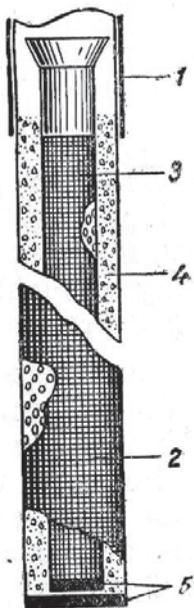


Рисунок 4.47 - Фильтр сетчатый, двойной, с гравийным заполнением

1 - труба обсадная; 2 - фильтр сетчатый наружный; 3 - фильтр сетчатый внутренний; 4 - гравийная обсыпка; 5 - пробки

К кожаным фильтрам следует отнести такие конструкции, у которых опорный каркас состоит из фильтров различных конструкций, а гравийная обсыпка, преимущественно однослойная, удерживается вокруг каркасов при помощи специальных приспособлений. Такие фильтры собирают на поверхности и опускают в скважину в готовом виде.

При обсыпке фильтра гравием последний уплотняется путем набивки или усадки легкими ударами, наносимыми по наружному кожуху деревянными колотушками.

Для эксплуатации вод, приуроченных к мелкозернистым пескам типа пльвунов, в разное время и различными авторами предлагалась конструкция фильтра, которая состояла из двух фильтрующих каркасов, помещенных один в другой с гравийной обсыпкой между ними.

На рис. 4.47 изображен фильтр, которым оборудовались в 1915 - 1916 гг. некоторые скважины Вильнюсского водопровода для эксплуатации вод подморенного водоносного горизонта, где наблюдалась коррозия фильтров в

водах с повышенным содержанием карбонатной жесткости и железа. Эти конструкции, проработав всего лишь несколько месяцев, прекращали водоподачу.

Аналогичная конструкция фильтров, по предложению А.Г. Петрова [104], применялась для эксплуатации вод из песков с гранулометрическим составом, представленным в табл. 4.20. Применялись кожуховые фильтры со следующими размерами: длина фильтра – 7 м; диаметр каркасной трубы, внешней – 152 мм и внутренней – 63 мм.

Таблица 4.20 - Гранулометрическая характеристика пород водоносного горизонта

Глубина отбора образцов, м	Диаметр частиц, мм				
	0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,05	0,05 – 0,001	0,001
	Содержание, %				
52 – 57	3,5	25,2	56,5	10,2	4,6
57,5 – 59	4,4	25,6	48	15,8	6,2

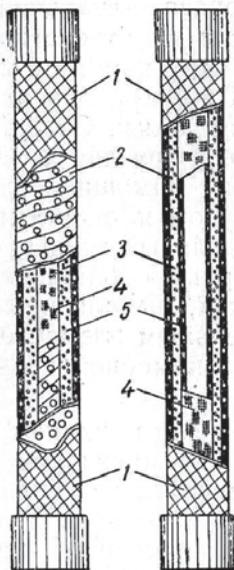


Рисунок 4.48 - Фильтр конструкции А.М. Магурдумова

1 - сетка квадратного плетения; 2 - каркас наружного фильтра; 3 - гравийная обсыпка; 4 - сетка; 5 - каркас внутреннего фильтра

– покрыта сеткой с проходными отверстиями размером в 0,25 мм. Пространство между двумя фильтрами засыпано разнозернистым гравием, диаметр которого составляет от 5 до 10 мм.

Оба каркаса обтягивались латунной сеткой № 14.

Пространство между каркасами засыпалось кварцевым песком, просеянным сквозь сито размером 0,6 × 0,6 мм. При откачках удельный дебит скважины с фильтром описанной конструкции составлял 0,4 м³/ч.

Различные конструкции фильтров с гравийным заполнением для эксплуатации глубоких подземных вод из песчаных толщ в Кызыл-Кумах описаны в работе [84]. В данных условиях водоносная толща в основном слагалась из песков с преобладающим диаметром частиц от 0,1 до 0,05 мм. На основании экспериментальных исследований был сконструирован фильтр, рекомендуемый для эксплуатационного внедрения (рис. 4.48). Фильтр состоит из двух перфорированных труб диаметром 150 и 100 мм. Наружная труба обтянута сеткой квадратного плетения 0,5 × 0,5 мм, а внутренняя

Трехдневное испытание скважины подтвердило положительные результаты работы фильтров описанной конструкции. Данных по эксплуатационному опробованию фильтров за длительный период не имеется, но есть все основания утверждать, что данная конструкция не может обеспечить скважинам длительную работу.

Набивные фильтры с деревянными каркасами применялись на строительстве московского берегового дренажа. Фильтр состоит из следующих элементов: опорного щелевого деревянного каркаса с наружным диаметром 220 мм и внутренним – 160 мм. Деревянный каркас (труба) собран из клепок, стянутых стальными обручами. Проходные щели имеют длину 200 мм, ширину на внешней поверхности 3 мм; щели расширяются внутрь фильтра до 9 мм. Скважность опорного каркаса 6,5 %. Первый слой обсыпки, состоящий из зерен гравия диаметром 3 – 7 мм, удерживается на каркасе при помощи сетчатой оболочки. Толщина обсыпки составляла около 70 мм. После спуска фильтра в скважину кольцевой зазор между обсадной колонной и оболочкой фильтра засыпался крупным песком с размерами частиц 0,5 – 2 мм.

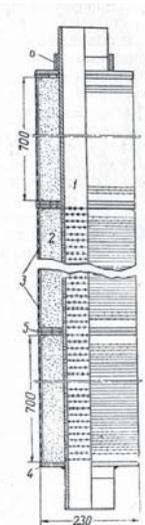


Рисунок 4.49 - Кожуховый фильтр
Н.И. Куличихина

1 - опорный каркас из трубы;
2 - гравийная обсыпка; 3 - кожух из кровельного железа;
4 - опорный фланец;
5 - фланец соединительный; 6 - муфта

Отдельные звенья кожуха изготавливают высотой по размеру листа железа 700 – 800 мм и укрепляют на каркасе при помощи соединительных фланцев. Пространство между кожухом и опорным каркасом заполняется гравием. Положение отдельных звеньев на каркасе (дырчатой трубе) закрепляется опорными фланцами.

На этом же объекте были применены набивные фильтры, где в качестве опорного каркаса применялись чугунные трубы с щелевой перфорацией. Укладка гравия в этих фильтрах производилась описанным выше способом.

К числу набивных фильтров с предварительным уплотнением гравия может быть отнесен также кожуховый фильтр конструкции Н.И. Куличихина (рис. 4.49). Конструкция фильтра была предложена для эксплуатации вод глубоких водоносных горизонтов (до 280 м) в г. Барнауле (Алтайский край, Россия).

Фильтр состоит из опорного каркаса – стальной трубы диаметром 115 мм с круглыми проходными отверстиями диаметром 8 мм. Для удержания гравия на каркасе служит кожух, изготовленный из кровельного железа, поверхность которого покрыта отверстиями диаметром 3 мм.

В описываемой конструкции кожух, выполненный из кровельного железа, служит вспомогательным элементом, назначением которого является создание равномерной гравийной обсыпки вокруг каркаса.

Предполагалось, что в дальнейшем под влиянием углекислотной и сероводородной агрессии должно произойти разрушение кожуха, в результате чего гравийная обсыпка будет контактировать непосредственно с водоносной породой. Однако, как показал опыт, данная конструкция, установленная на одной из эксплуатационных скважин, себя не оправдала.

Фильтры кожухового типа нашли широкое применение в работах центрального бурового участка треста Трансводстрой [1].

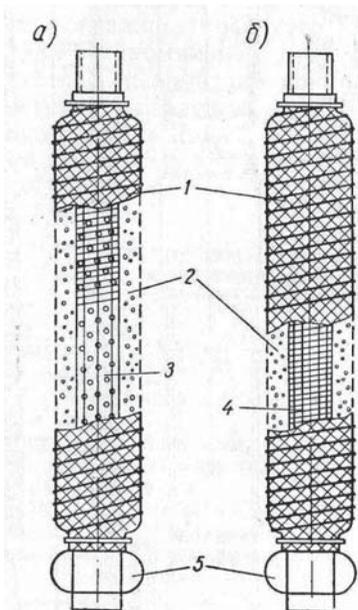


Рисунок 4.50 - Кожуховые фильтры с гравийной обсыпкой для оборудования глубоких скважин

Для оборудования скважин, глубина которых составляет от 100 до 300 м, Трансводстрой применяет кожуховые фильтры, опорный каркас которых состоит из перфорированной трубы с проволоочной обмоткой из нержавеющей стали (рис. 4.50, (а), либо с каркасно-стержневой основой (рис. 4.50, (б), на поверхности которых натягивается сетка из простой стали для удержания гравия. Фильтры кожухового типа устанавливаются в скважинах, пробуренных роторным способом с промывкой глинистым раствором. Согласно опыту Трансводстроя, при постановке фильтров в тонкозернистых и мелкозернистых песках кожухи набиваются гравием, диаметр частиц которого составляет 1 – 2 мм, а при песках среднезернистых размер частиц гравия составляет от 2 до 4 мм.

Как показал опыт, кожуховые фильтры указанных выше конструкций хорошо промываются от глинистого раствора и обладают достаточно удовлетворительной водозахватной способностью.

Наряду с положительным внедрением кожуховых фильтров в буровой практике имеются примеры неудовлетворительного конструирования этих фильтров. Так, например, на одном из объектов водопонижения институт Фундаментпроект запроектировал кожуховые фильтры с гравийной обсыпкой на основе щелевых пластмассовых труб с соединением их на резьбе с помощью металлических муфт (рис. 4.51). Резьбовые соединения на винипластовых трубах являются противопоказанными, так как они резко ослабляют прочность, а кожухи, выполняемые из грубой панцирной сетки, не обеспечивают равномерной кольцевой обсыпки фильтров гравием. При набивке таких

фильтров гравием производились удары молотками по поверхности кожуховых сеток, что приводило к выколу перемычек между проходными отверстиями. В результате этого имели место случаи выхода скважин из строя.

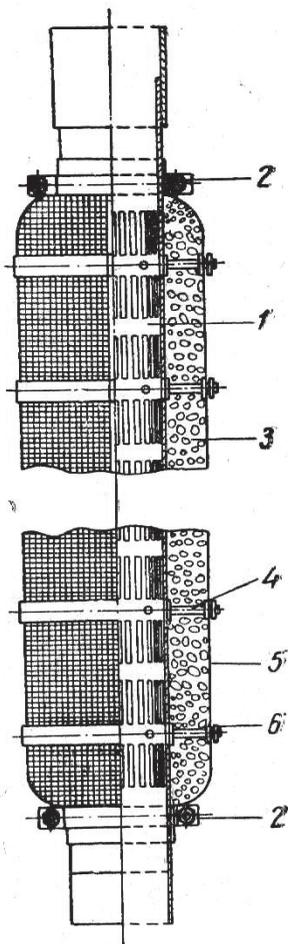


Рисунок 4.51 - Кожуховый фильтр с применением труб из пластмасс

1 - опорный каркас из щелевой пластмассовой трубы; 2 - зажимной хомут; 3 - гравий; 4 - штыри для крепления сетки; 5 - сетка панцирная; 6 - обруч стальной для крепления сетки

Кожуховые фильтры щелевого типа применялись Литовской конторой Бурводмонтаж для скважин, глубина которых превышала 50 м, или в тех случаях, когда возникала необходимость в создании фильтров с однослойной гравийной обсыпкой. Здесь кожуховые фильтры представляли собой щелевые сдвоенные каркасы из металлических стержней, пространство между которыми засыпалось гравием (рис. 4.52). Как правило, при изготовлении кожуховых фильтров применялись проволочные каркасы диаметром 200 – 250 мм, в которые устанавливались каркасы диаметром 100 – 125 мм.

При создании двухслойной обсыпки кожуховый фильтр с крупнозернистой обсыпкой опускался в скважину на фонарях, после чего кольцевой зазор между фильтром и обсадной трубой обсыпался крупнозернистым песком. Такого типа фильтры устраивались в скважинах средних глубин 50 – 70 м при диаметрах обсадных колонн 300 – 350 мм.

В 40-х годах прошлого столетия кожуховые фильтры с гравийным заполнением нашли широкое применение при оборудовании нефтяных скважин [75]. Учитывая, что подземные воды залегают на больших глубинах и при бурении скважин требуется устанавливать малогабаритные фильтры, ознакомление с этой конструкцией может быть весьма полезным. Как показано на рис. 4.53, фильтр состоит из двух концентрически расположенных труб (кожухов) с гравийной обсыпкой между ними.

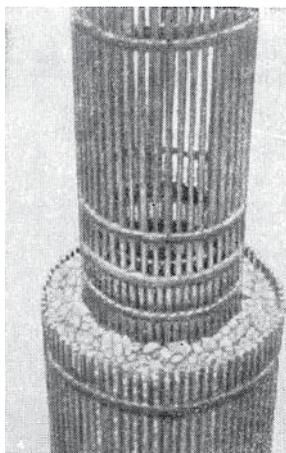


Рисунок 4.52 - Кожуховый фильтр из металлических стержней

Таблица 4.21 - Конструктивные элементы гравийных фильтров кожухового типа для глубоких скважин

Размер кожуха в дюймах			
наружный	6,5/4	7,5/8	8,5/8
внутренний	4	4	5,3/4
Вес секции длиной 5 150 мм без гравия, кг	297	337	438
Толщина гравийного слоя, мм	18	30	27
Длина проходных отверстий (щелей) на кожухах, мм	25 – 35	25 – 35	25 – 35
Ширина проходных отверстий, мм	1,2 – 2,2	1,2 – 2,2	1,2 – 2,2

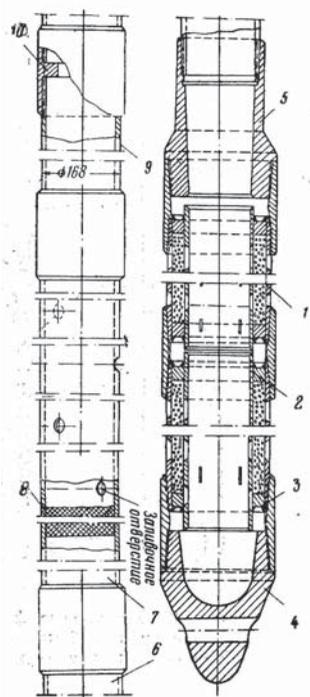


Рисунок 4.53 - Кожуховый фильтр для оборудования глубоких скважин

1 - наружный корпус; 2 - внутренний корпус; 3 - кольцо; 4 - направление; 5 - переводник; 6 - патрубок диаметром 760 мм; 7 - труба диаметром 6" (6 дюймов) и длиной 3160 мм; 8 - цементная пробка; 9 - труба длиной 10,16 мм; 10 - упорное кольцо

Данные по основным конструктивным элементам кожуховых фильтров сведены в табл. 4.21.

Фильтры изготавливаются в виде отдельных секций длиной по 2 660 или 5 160 мм. Для условий эксплуатации нефтяных скважин, где суточный дебит не превышал 5 т, фильтры имели весьма ограниченный процент скважности. На 1 м фильтра фрезеруется 48 щелей (4 ряда щелей по 12 шт. в каждом, что эквивалентно 16 –20 отверстиям с

диаметром 12 мм).

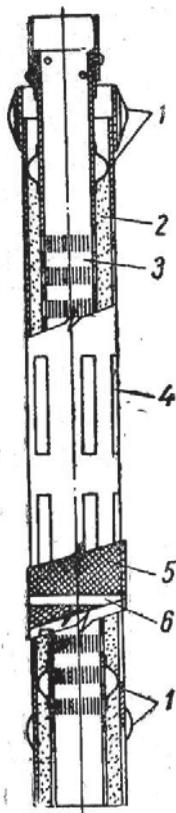


Рисунок 4.54 - Кожуховый фильтр с опорным корпусом из пластмассовых труб и защитным из стальных труб

1 - направляющие фонари;
2 - гравий; 3 - щелевой каркас из пластмассы; 4 - щелевой каркас из стальных труб; 5 - сетка; 6 - пояса для крепления сетки

Указанные фильтры устанавливались в скважинах глубиной от 500 до 900 м. Следует иметь в виду, что для водозаборных скважин, суточный дебит которых выше дебита нефтяных скважин в несколько раз, скважность этих фильтров совершенно недостаточна и ее следует увеличить до предельно возможных размеров (до 20 – 25 %).

В 1956 г. Гидропроектom была разработана конструкция фильтра кожухового типа, предназначенного для установки в скважинах любой необходимой глубины, в водах с агрессивными свойствами или склонных к выделению солевых осадков.

Как следует из рис. 4.54, конструкция фильтра состоит из внешнего стального каркаса, на поверхности которого образованы окна размером 30 × 300 мм. Внутренний опорный каркас выполняется из винипластовой трубы с размером щелевых отверстий, соответствующих диаметру зерен гравийной обсыпки. Обсыпка в кожухе удерживается при помощи стальной сетки. Спуск фильтра в скважину производится под защитой направляющих фонарей. Основные размеры фильтров приведены в табл. 4.22.

Таблица 4.22 - Конструктивные элементы гравийных фильтров кожухового типа из пластмассовых труб

Конечный диаметр бурения, мм	Размеры фильтра, мм		
	внешний каркас стальной	внутренний каркас из винипласта	толщина обсыпки
250	168 × 7	96 × 6,5	29
250	168 × 7	102 × 6,5	26
300	219 × 7	102 × 6,5	50
300	219 × 7	140 × 8	31
350	273 × 8	166 × 8	78

Применение в конструкции фильтра винипласта в сочетании со стальным каркасом, имеющим защитное покрытие из перхлорвиниловых или эпоксидных смол, позволяет производить солянокислую обработку фильтров (в случае их зарастания железистыми и карбонатными соединениями). Настоящая конструкция может быть

рекомендована установкой при создании водозаборных, водопонижительных, а также разгрузочных скважин.

А.А. Кожевниковым и А.К. Судаковым, на кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета (Украина) разработаны технологии оборудования водоносных горизонтов гидрогеологических, геотехнологических скважин и ряд конструкций гравийных фильтров, сооружаемых на дневной поверхности с последующей доставкой и установкой в водоносном горизонте.

Общими элементами конструкций опускных гравийных фильтров со съемным защитным кожухом [47, 66, 73, 74] (рис. 4.55) являются: башмак 1; съемный кожух 2; обратный клапан 3; материал внешнего слоя гравийной обсыпки 4; отстойник 5; сальник 6; подкладные прутки 7; проволочная обмотка 8; трубчатый каркас фильтровой колонны 9; внутренний слой гравийной обсыпки 10; колонна бурильных труб 11; надфильтровые трубы 12; упор 13; крышка кожуха 14; предохранитель 15.

Отличительной особенностью разработанных и предлагаемых к применению гравийных фильтров является то, что они содержат съемный защитный кожух 2, имеющий диаметр, максимально приближенный к диаметру водоносного горизонта скважины. Кожух 2 предназначен: для формирования гравийной обсыпки и предотвращения нарушения ее сплошности до момента приведения фильтра в рабочее состояние; центрирования гравийного фильтра при установке в водоносном горизонте и т.д.

Особенностью технологий применения гравийных фильтров со съемным защитным кожухом является их сборка на дневной поверхности, включающая соединение основных элементов с последующим формированием в пространстве между каркасом фильтровой колонны 9 и съемным кожухом 2 гравийной обсыпки (при необходимости многослойной) с заданными физическими свойствами, с последующим транспортированием гравийного фильтра по стволу скважины к водоносному горизонту. Транспортирование гравийного фильтра осуществляется на колонне бурильных труб 11, которая в зависимости от выбранной конструкции соединяются с фильтром посредством:

- срезаемых шпилек 16, жестко соединяющих нижнюю часть съемного кожуха 2 с башмаком фильтра 1 и упора 13, жестко присоединенного к колонне бурильных труб 11. Колонна бурильных труб имеет возможность осевого перемещения, ограниченного упором 13 и предохранителем 15 (рис. 4.55, а);

- муфты с левой резьбой 17, жестко установленной во внутренней полости отстойника 5, функционально выполненной в виде обратного клапана (рис. 4.55, б);

- Т-образного ключа 18, фиксирующего соосное положение каркаса фильтровой колонны 9 с корпусом съемного кожуха 2 (рис. 4.55, в);

- срезаемых шпилек 19, конструктивно расположенных в жестко закрепленном на бурильной колонне 11 упоре 13 и верхней части надфильтровой колонны 12 гравийного фильтра (рис. 4.55, в).

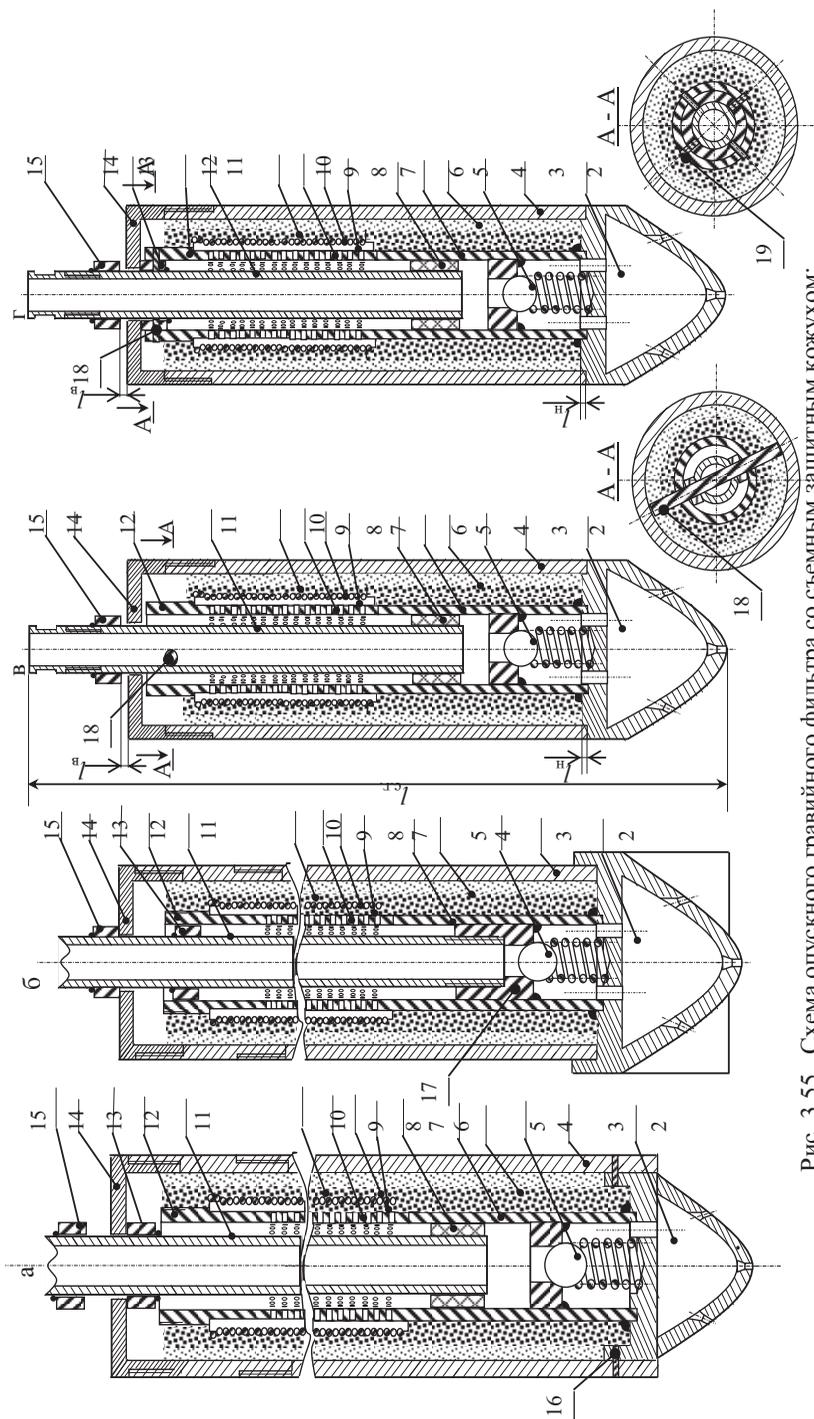


Рис. 3.55. Схема опускаемого гравийного фильтра со съемным защитным кожухом:

Посадка гравийного фильтра в водоносный горизонт может осуществляться:

- в раскрытый водоносный горизонт с проектным диаметром;
- в пилот-скважину, при этом его посадка осуществляется расширением водоприемной части гидровмывом с применением технической воды;
- при одновременном вскрытии водоносного горизонта с посадкой гравийного фильтра гидровмывом.

В целом применение технологии оборудования гидрогеологических скважин гравийными фильтрами со съёмным защитным кожухом позволит уменьшить расход гравийного материала и времени на его транспортировку к водоносному горизонту; избежать зависания гравийного материала при его транспортировке по стволу скважины, а также улучшить качество гравийных фильтров за счет формирования при визуальном контроле на дневной поверхности гравийной обсыпки и при необходимости формирования многослойной обсыпки с заданными параметрами; устранения вероятности образования зияющих пустот; снижения вероятности пескования; снижения гидравлических сопротивлений при повышении эффективной пористости и др. При этом скважина будет оборудована гравийным фильтром с заданными и неизменными при транспортировке и установке в водоносный горизонт геометрическими и гидравлическими параметрами.

К недостаткам фильтров данной конструкции можно отнести следующие: в реальных скважинных условиях эти фильтры не опробованы; за исключением гравийного фильтра первой конструкции, остальные имеют ограничение по длине рабочей поверхности, обусловленное длиной обсадной трубы и отсутствием возможности закрепления съёмного кожуха над устьем скважины; в силу конструктивных особенностей и технологии оборудования водоносного горизонта, при извлечении съёмного кожуха из скважины зазор меж слоем гравийной обсыпки и стенками скважины заполняется за счет гравийной обсыпки фильтра, что может привести к нарушению гравийной обсыпки.

В заключение обзора по фильтрам кожухового типа необходимо остановиться на некоторых практических рекомендациях. Как было установлено опытами [38], при набивке гравия в кожухи не происходит полного его уплотнения. При опускании кожухового фильтра в воду всегда наблюдается усадка гравия на некоторую величину; тогда, в случае обнажения щелистой части фильтра, может происходить устойчивое пескование, которое может привести к гибели сооружения. Во избежание этого щелистую часть в фильтрах не следует доводить до конца фильтра: кроме того, полезно при погружении фильтра в воду, не доводя его до забоя, несколько раз протаскать по стволу скважины, а затем, подняв на поверхность, проверить состояние обсыпки, и в случае необходимости произвести ее досыпку.

4.3.3.3. Технология создания гравийно-опускных блочных фильтров

При бурении скважин малых и средних глубин (до 100 м) успешно применяются гравийные фильтры с рыхлой обсыпкой, которая создается путем засыпки гравия между труб.

При бурении же более глубоких скважин с малым конечным диаметром создание гравийных фильтров с рыхлой обсыпкой становится затруднительным, а в некоторых случаях и вовсе невозможным.

Кроме того, производство рыхлых обсыпок требует необходимых технических навыков у буровых мастеров, которые зачастую не выполняют указаний геологического надзора. По этим причинам в технике оборудования скважин гравийными фильтрами как в и Украине, так и других странах появилось прогрессивное направление по созданию фильтров блочного типа, у которых гравийная обсыпка связана различными склеивающими и цементирующими веществами. Такие блоки надеваются на металлические опорные перфорированные каркасы и опускаются в скважину в готовом виде.

Применяемые гравийные фильтры блочного типа должны отвечать следующим требованиям [38]:

1) поскольку блоки, надеваемые на стальные каркасы, неплотно прилегают к поверхности трубы и, следовательно, воспринимают на себя горное и фильтрационное давление, то они должны сохранять необходимую прочность или снижать ее в такой степени, чтобы остаточная прочность была достаточной в течение срока работы сооружения. Срок работы скважины, как известно, зависит от ее целевого назначения;

2) склеивающие вещества должны быть устойчивыми по отношению к коррозии и эрозии, неизбежно возникающими при фильтрации воды различного химического состава;

3) фильтры блочного типа должны обладать достаточными размерами пор и пористостью, обеспечивающими необходимый приток воды к скважине;

4) применяемые склеивающие вещества в гравийных фильтрах не должны содержать в своем составе химических компонентов вредных для здоровья человека. Последнее требование должно строго учитываться при бурении скважин питьевого назначения.

До недавнего времени в качестве вяжущих применялись следующие материалы: клей БФ-2 и БФ-4, бакелитовый лак марки А, битум, цемент, резиновый клей и жидкое стекло. Наибольшее распространение получили гравийные фильтры блочного типа с применением клея БФ-4, бакелита, цемента и эпоксидных смол [38]. Гравийные фильтры блочного типа могут изготавливаться двух видов – монолитные и пустотелые.

Монолитные фильтры имеют сплошное гравийное заполнение; фильтрация воды через него происходит по его периметру, а выход воды – через верхний торцевой конец.

В пустотелых фильтрах блочного типа фильтрация воды происходит по периметру, через гравийное кольцо, а выход воды – через ствол, образованный

пустотелыми блоками на всю длину фильтра, либо через трубчатый каркас, на который надеты блоки.

Основная идея при создании фильтров этой конструкции состоит в том, чтобы при установке фильтров не производить операций по подбору обсыпки, а устанавливать фильтры в готовом виде.

При изготовлении гравийных блоков склеивающие и цементирующие вещества должны применяться в таких количествах, при которых происходит соединение отдельных зерен гравия в агрегатное состояние при сохранении необходимой пористости. При этом следует иметь в виду, что введение

склеивающих и цементирующих веществ всегда ведет к снижению пористости и уменьшению размера самих пор, образуемых в теле блока по сравнению с рыхлой обсыпкой, состоящей из зерен того же механического состава.

Монолитные гравийные фильтры блочного типа были применены на строительстве Цимлянского гидроузла [132] при оборудовании разгрузочных скважин в нижнем бьефе водосливной плотины.

В отличие от других гравийных фильтров, блочные не имеют покровных оболочек (кожухов) и состоят из отсортированного гравия, сцементированного особыми растворами. При погружении таких фильтров в воду цемент растворяется и выщелачивается водой.

Технология изготовления фильтров проста: гравий соответствующих фракций смешивается с сульфатным щелоком или сульфитно-спиртовой бардой. Количество вяжущих добавок составляет 1,5 – 2 % по весу от общего количества гравия, приготовляемого к формовке. Для лучшего схватывания смеси

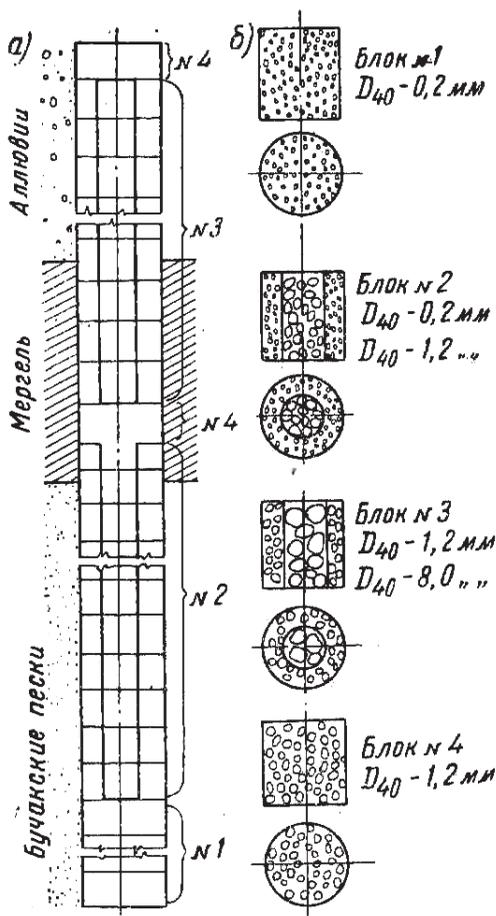


Рисунок 4.56 - Фильтры гравийные монолитные

а) - схема установки блоков в скважине;

б) - детали блоков

ее общая влажность должна быть в пределах 5 – 7 %. При изготовлении блоков смесь набивается в формы.

Для получения многослойных фильтров в формы вставляют вспомогательные металлические сердечники.

Для установки блочных фильтров скважина проходится долотом соответствующего диаметра, очищается от шлама, затем блоки фильтра опускают в скважину и устанавливают в ней вертикально друг на друга, а обсадную колонну при этом извлекают (рис. 4.56).

В скважинах, гранулометрический состав пород которых меняется по глубине, блоки изготавливаются из гравия различного механического состава. Монолитные фильтры блочного типа обладают малой производительностью и предназначены главным образом для снятия напоров при оборудовании так называемых разгрузочных скважин.

Блочные пустотелые фильтры из пористого бетона и железобетона. Эта разновидность фильтров выполняется из гравия или щебенки, цемента и воды. В результате смешивания указанных компонентов в определенных весовых отношениях и последующей формовки получают полые пористые блоки (рис. 4.57).

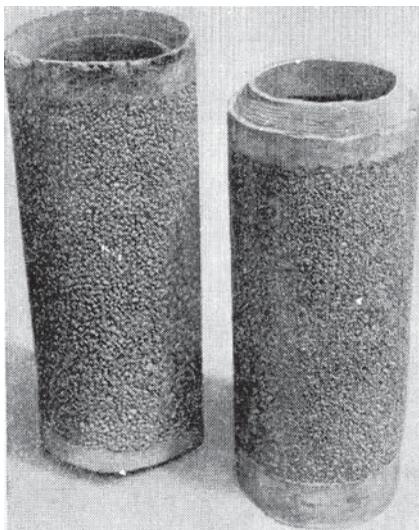


Рисунок 4.57 - Гравийный фильтр из пористого бетона

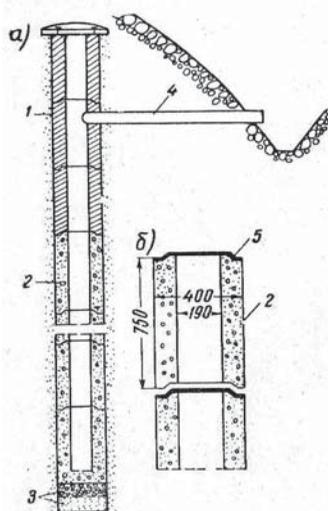


Рисунок 4.58 - Фильтр гравийный пустотелый

а) - общий вид скважины; б) - детали фильтров

1 - блоки из плотного бетона; 2 - блок из пористого бетона; 3 - гравийно-песчаная подушка; 4 - отводная труба; 5 - войлочная прокладка на битуме

На первом этапе внедрения подобного рода конструкции фильтров нашли широкое применение при осушении буроугольных месторождений в Германии, а затем и в других странах. В практике СССР впервые конструкции фильтров из пористого бетона в больших масштабах были применены на строительстве Цимлянского гидроузла в 1952 – 1953 гг. при создании разгрузочных скважин в количестве 350 шт. Пористые блоки для фильтров изготавливались из гранитной и известковой крошки следующего механического состава: частиц от 5 до 10 мм – 30 – 60%; от 10 до 20 мм – 10 %; частиц менее 1 мм не более 5 %.

Расход материалов на 1 м³ пористого бетона по весу выражался в следующих количествах: цемент глиноземистый 200 – 230 кг, крошка гранитная, известковая 1100 кг; вода 100 – 115 л.

Лабораторными испытаниями, проведенными на строительстве, установлена прочность блоков на сжатие при 7-дневном возрасте – 15 – 25 кг/см², а при 28-дневном возрасте – 25 – 45 кг/см².

Блоки изготавливались высотой 750 мм при внутренних диаметрах 150, 160 и 190 мм и внешних 335, 400 и 345 мм соответственно. Из этих значений следует, что толщина стенок блоков варьировала от 87 до 125 мм.

Установка фильтров в скважины глубиной от 4,5 до 34,5 м производилась под защитой металлических обсадных колонн. Для создания фильтров блоки опускались поочередно на забой при помощи особого приспособления (ножниц), где устанавливались друг на друга при помощи пазов и войлочных прокладок. В верхней части скважин помещались монолитные блоки, куда заделывались трубы, выводящие воду (рис. 4.62). На части скважин, вокруг блоков, производилась обсыпка крупнозернистым песком. Перед установкой фильтров на строительстве были проведены лабораторные испытания по расходу воды через пористый бетон, прикрытый донским песком; испытаниями было установлено снижение расхода от 2 до 8 раз и его стабилизация, спустя 50 час. При этих испытаниях остаточная фильтрационная способность была достаточной для выполнения задач, возлагаемых на дренаж. Проведенные опыты по обратной промывке фильтров для восстановления первоначального расхода установили, что после заиливания фильтрационная способность полностью не восстанавливается. Наблюдения за эксплуатацией скважин показали, что большой процент скважин, оборудованных фильтрами из пористого, бетона, заилен. Заиливание по некоторым скважинам составляло от 2 до 22 м.

Анализ неудовлетворительной работы части скважин, оборудованных фильтрами из пористого бетона, позволил установить, что причины заиливания скважин зависят от неправильного монтажа фильтров и плохого подбора материалов для их изготовления.

Недостаточная герметичность стыков блоков, возможные перекосы и срывы войлочных прокладок между блоками при их установке, безусловно, могли стать причиной пескования скважин.

Из этого следует, что монтаж фильтров должен производиться на поверхности земли, на опускных трубах или штангах, с нижней поддержкой (за пята в основании фильтра), которые после установки фильтра извлекаются.

В заключение обзора по фильтрам из пористого бетона необходимо отметить, что в запроектированных скважинах для снятия напоров предусматривался дебит отдельных скважин по плотине № 91 – 2 л/с, а по плотине № 92 – 4 л/с при подпорном горизонте 136 м. Однако при отметках 130,82 м многие дренажные скважины работали с гораздо большими дебитами.

Указанный дренаж хотя и оправдывает свое назначение, однако недостаточно качественное его выполнение требует дополнительных затрат на профилактические ремонты.

Внедрением фильтров из пористого бетона для осушения бурогольных месторождений занимался В.Р. Булдей [25]. Им, в зависимости от целевого назначения, рекомендовалось изготавливать фильтры следующих размеров (табл. 4.23).

Таблица 4.23 - Конструктивные элементы гравийных фильтров блочного типа из пористого бетона (по В.Р. Булдею)

Назначение	Длина фильтров, мм	Внутренний диаметр, мм	Толщина стенок, мм
Шахтные колодцы в штреках	700 – 800	200,250,300	40 – 50
Сквозные фильтры	1000 – 1200	100 – 150	40 – 50
Осушение отвалов при высоте 60 – 65 м	–	–	80 – 100

Для изготовления фильтров из пористого бетона рекомендуется подбирать фракции щебня в зависимости от механического состава обводненных песков, пользуясь данными табл. 4.30.

Данные табл. 4.24 относятся к щебню, который может быть приготовлен из гранита, кирпича, керамзита, пемзы и котельного шлака.

Приготовление блоков пористого бетона из различных инертных материалов при различной крупности фракций щебня требует соответствующего соотношения количеств щебня, цемента и воды.

Не останавливаясь подробно на других материалах, укажем, что для приготовления пористых блоков из гранитного щебня В.Р. Булдей рекомендует применять на 100 кг цемента 500 – 600 кг щебня и 30 – 32 л воды; при этом употребляется цемент М-400. Приготовление блоков производится в формах, общий вид которых представлен на рис. 4.59.

Для достижения равномерной укладки бетона в формах и придания ему необходимой прочности рекомендуется применять вибрирование с амплитудой колебания не менее 0,4 – 0,5 мм.

Таблица 4.24 - Подбор гравия для фильтров из пористого бетона
(по В.Р. Булдею)

Характеристика пород водоносного горизонта	Размер фракций щебня, мм
Гравий крупный с преобладанием частиц диаметром: 5 – 7 мм.....	15 – 20
2 – 5 мм.....	10 – 15
Пески:	
крупнозернистые с преобладанием частиц диаметром 1 – 2 мм.....	5 – 10
среднезернистые с преобладанием частиц диаметром 0,25 – 1 мм.....	2,5 – 5
мелкозернистые с преобладанием частиц диаметром 0,05 – 0,25 мм.....	2 – 2,5 с дополнительной обсыпкой блоков среднезернистым песком

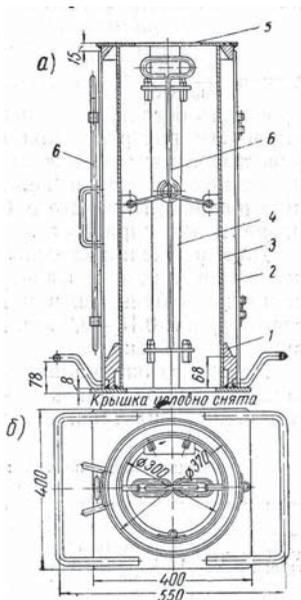


Рисунок 4.59 - Формы для изготовления бетонных фильтров диаметром 370/300 мм

а) - разрез; б) - вид сверху;

1 - нижняя плита; 2 - наружная форма; 3 - внутренняя форма; 4 - шибер для внутренней формы; 5 - верхняя крышка; 6 - рычаг

оборудования водозаборных скважин и шахтных колодцев проведена в Новочеркасском гидромелиоративном институте [53]. Этими исследованиями

Прочность кубиков из пористого бетона с ребром 15 см зависит от размера и рода инертного материала – щебня. Для гранитного щебня она для проб 7-дневного возраста составляет 25 – 55 кг/см² и для 28-дневного возраста – 31 – 80 кг/см².

При установке блоков в дренажные скважины украинскими строителями было применено несколько методов. На Коростышевском месторождении сборка фильтров и опускание блоков производились при помощи штанг, закрепленных в металлическом башмаке или в круге, устанавливаемых в основании первого блока фильтра. По окончании монтажа штанга с левым переходником выворачивается и извлекается на поверхность.

Большая работа по экспериментальному исследованию фильтров из пористого бетона и их широкому внедрению для

установлены дозы цемента и воды на единицу объема гравия в зависимости от размеров его зерен; изучены механическая прочность и фильтрационные свойства слоя гравия в зависимости от дозы цемента; изучены вопросы выноса песка из водоносного пласта и кольматации фильтра в зависимости от скорости фильтрации, размера зерен и толщины слоя фильтра; установлена оптимальная толщина слоя гравия. На основе этого разработаны нормативы по подбору размера зерен фильтрующего материала в зависимости от механического состава водоносных пород.

Основным содержанием проведенных выше исследований являлось сохранение водопропускной способности и механической прочности цементированной гравийной обсыпки.

Не имея возможности подробно остановиться на результатах всех перечисленных работ из-за ограниченности объема книги, позволим себе кратко осветить наиболее важные для практики выводы.

Основное внимание при разработке конструкций фильтров было обращено на возможность отбора воды из мелкозернистых песков фильтрами малых диаметров. Согласно исследованиям установлено, что наилучший состав бетонной смеси получается при соотношениях вода/цемент = 0,5. Повышение этого соотношения снижает прочность бетона, а уменьшение – делает бетон тощим без равномерного распределения цемента на поверхности гравия. Количество цемента на единицу объема гравия влияет на толщину пленки вокруг частиц. Увеличение пленки ведет к увеличению прочности пористого бетона с одновременным снижением процента его пористости.

Для получения средних величин, удовлетворяющих механической прочности и фильтрационной способности, оптимальная величина толщины пленок должна составлять: для крупнозернистого гравия 0,15 – 0,2 мм, для мелкого и среднезернистого гравия 0,07 – 0,1 мм.

Исходя из оптимальной дозы цемента М.Я. Елисеев [53] рекомендует производить приготовление бетонных смесей для изготовления фильтров, пользуясь данными табл. 4.25.

Таблица 4.25 - Спецификация на смеси для фильтров из пористого бетона (по М.Я. Елисееву)

Диаметр зерен гравия, мм	Доза цемента на 1 м ³ гравия, г	Коэффициент фильтрации, м/сут		
		фильтрующий материал		
		чистый	цементированный	
абсолютная величина	в % от чистого гравия			
1 – 2	170	439	15	3,4
2 – 3	160	628	127	20,3
3 – 5	150	1 980	720	36,4
5 – 7	140	3510	1 920	54,7
Смесь 2 – 7	150	1 455	375	25,7

Из табл. 4.25 видно, что добавки цемента к гравиям весьма существенно снижают коэффициент фильтрации пористого бетона, однако остаточные

коэффициенты во много раз все же превышают коэффициенты фильтрации пород, в которых намечается установка фильтров.

Исследуя процессы фильтрации в пористом бетоне, М.Я. Елисеев пришел к выводу, что увеличение толщины слоя гравия ведет к кольматации. Это положение имеет существенное значение для понимания механизма работы

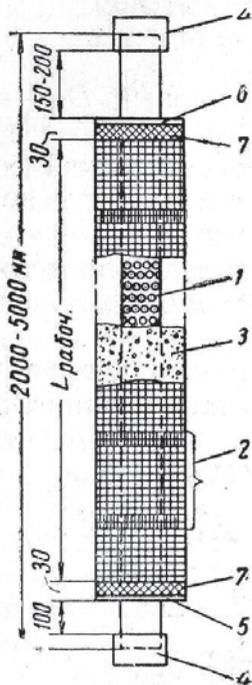


Рисунок 4.60 - Гравийно-цементированный фильтр НИМИ

1 - трубчатый каркас; 2 - сетка; 3 - гравий цементированный; 4 - муфты; 5 - опорный фланец; 6 - подвижной фланец; 7 - торцы фильтра из монолитного бетона

цементированных фильтров, однако оно находится в противоречии с данными по эксплуатации скважин, оборудованных обычными гравийными фильтрами, где установлено, что увеличение контура фильтрации и толщины обсыпки понижает кольматацию обсыпок.

Согласно лабораторным исследованиям подбор зерен гравия для фильтров М.Я. Елисеев рекомендует пользоваться следующей зависимостью

$$D = A \cdot d, \quad (4.40)$$

где D – расчетный диаметр зерен гравия в мм, равный D_{cp} – в однородных породах и D_{50} – в разнородных; A – коэффициент перехода, учитывающий механический состав песка, степень его однородности и уменьшение пор фильтра при скреплении его дозами цемента; d – расчетный диаметр зерен водоносных пород, определяемый по логарифмической кривой их механического состава.

Для определения коэффициента A применительно к зернам окатанного гравия рекомендуется пользоваться данными табл. 4.26.

Таблица 4.26 - Рекомендации к определению коэффициента A применительно к качеству зерна (по М.Я.Елисееву)

Пески тонко и мелкозернистые		Пески среднезернистые	
однородные	разнозернистые	однородные	разнозернистые
16	18 – 20	18	20 – 22

Гравийные цементированные фильтры изготавливаются на основе трубчатых или стержневых каркасов при их внутренних диаметрах от 1¹/₂ до 8". Фильтры готовятся звеньями длиной от 2 до 5 л (рис. 4.60).

Для прохода воды внутрь фильтра на опорном трубчатом каркасе производится перфорация отверстий диаметром 10 – 16 мм при скважности около 25 %. В нижней части таких каркасов по диаметру скважин производится приварка опорных фланцев, служащих основанием для пористого бетона. Укладка бетона вокруг каркаса производится при помощи монтажных цилиндров, изготовленных из стальных сеток высотой 350 – 500 мм. Цилиндры поочередно надеваются на каркас внахлестку по 3 – 5 см и набиваются приготовленной смесью бетона.

В этом процессе необходимо обращать внимание на концентричность расположения монтажных сеток. При таком способе производства фильтров масса гравия опирается на стальной каркас, что значительно увеличивает его прочность на раздавливание.

При трамбовке смеси может происходить просыпание мелкого гравия через перфорацию труб. Для этого необходимо в состав бетона добавлять 10 – 15% крупного гравия, размером 5 – 7 мм, которые, не влияя, в общем, на фильтрационные свойства бетона, создают армирующие условия (мостики) для всей гравийной массы.

По окончании монтажа верхняя часть фильтра заливается цементным раствором и закрывается фланцем с приваркой к каркасу.

Изготовленные каркасы в вертикальном положении помещаются в теплое помещение, где обрызгиваются водой и набирают прочность. Для ускорения затвердевания цемента рекомендуется производить сушку фильтров в пропарочных камерах.

Из других способов можно отметить сборку фильтров при помощи блоков, описание которых дано выше.

Гравийно-цементные фильтры, разработанные Новочеркасским гидромелиоративным институтом, применялись в Ростовской, Каменской, Воронежской и других областях.

Произведенный подсчет стоимости для фильтров различных конструкций показал экономичность цементированных гравийных фильтров, что может быть усмотрено из сопоставления цен.

Применение пористого бетона и железобетона для оборудования водозаборных скважин и создания фильтров широко распространено и за рубежом.

Так, например, в Будапеште на одной из городских водопроводных станций, расположенной на острове р. Дунай, построена группа скважин с использованием фильтров из пористого бетона, внутренним диаметром 300 мм с толщиной стенки 70 мм с раструбным соединением. Эти скважины находятся в эксплуатации и работают безотказно. Наряду с этим имеются факты, когда скважины, оборудованные фильтрами из пористого бетона, не оправдали своего назначения из-за малой дебитности. Наибольшее распространение в

Венгрии получили фильтры с применением гравия диаметром 7 – 15 мм с добавкой цемента в количестве 300 – 350 кг на 1 м³ породы.

В работах И. Герхардта исследовались различные стороны вопросов по фильтрам из пористого бетона, как-то: влияние дозировки цемента на прочность; зависимость прочности и пористости бетона; от гранулометрического состава и подачи цемента; соотношение между пористостью бетона с подачей цемента в сухой гравий и гравий, содержащий пленочную воду.

Кроме того, проводились лабораторные работы на водопроницаемость в условиях ламинарного и турбулентного режима на простейших установках. Не входя в детали этих исследований, остановимся кратко на вопросах, представляющих некоторый интерес. Из его сообщений стало известно, что в Венгрии, для скважин глубокого бурения в породах, диаметр частиц которых составляет 0,5 мм, стандартом входная скорость принимается в 1 мм/с, а при размере зерен в 3 мм – 8 мм/с. Этими данными пользуются при подборе и расчете фильтров из пористого бетона.

И. Герхардтом установлено, что для коэффициента водопроницаемости пористого бетона водоцементный фактор имеет большее значение, чем дозировка цемента. Так, например, для состава гравия диаметром от 3 до 7 мм с коэффициентом фильтрации 0,0039 м/с при дозировке цемента 250 кг на 1 м³ гравия, при водоцементном факторе В/Ц - 0,5, коэффициент снижался до 0,0025 м/с, а при В/Ц = 0,6 – до 0,0017.

Это положение наглядно подтверждается фотографией на рис. 4.61 и диаграммой на рис. 4.62.

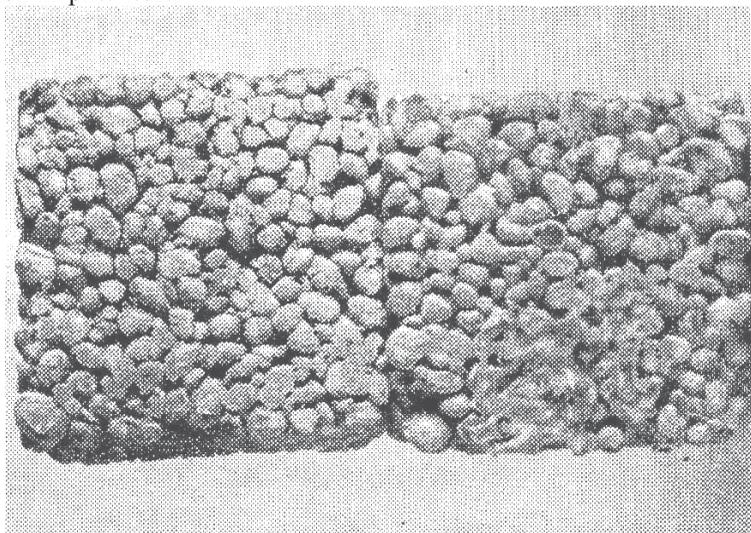


Рисунок 4.61 - Вид пористости бетона в зависимости от водоцементного фактора (по И. Герхардту)

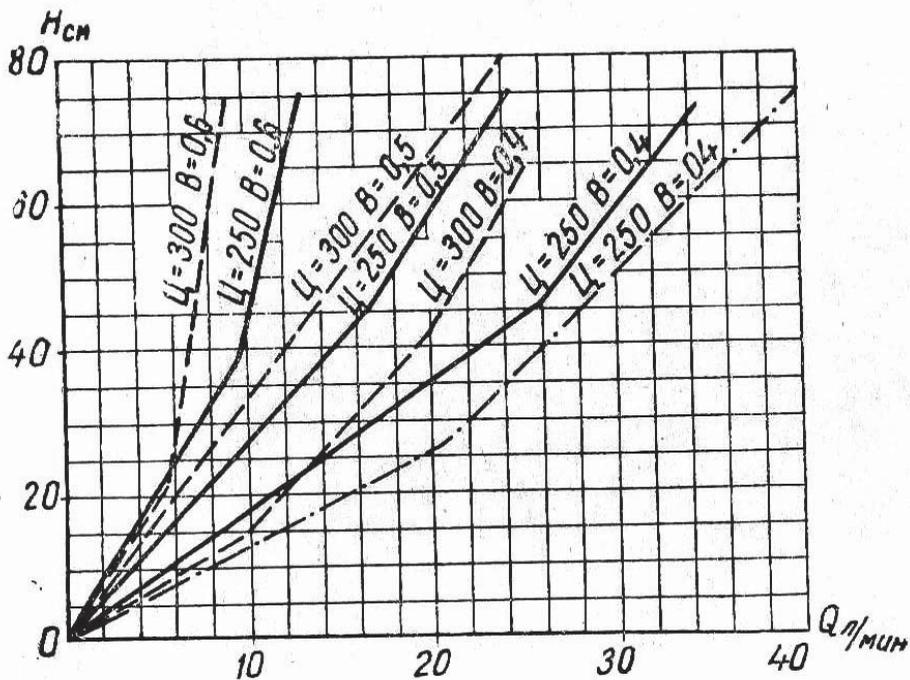


Рисунок 4.62 - График зависимости напора от дебита и водоцементного фактора

Задачей проведенных исследований в цитированной работе ставилось определение минимальных доз цемента, обеспечивающих фильтрам условия лучшей водопроницаемости и необходимую прочность. В результате автор пришел к следующему выводу: при крупности гравия 4 – 8 мм и добавках цемента 250 кг на 1 м³ породы, при водоцементном факторе 0,4 можно получить достаточно надежные конструкции. Не лишена практического интереса и приведенная И. Герхардтом схема бурения скважин глубиной 90 м, оборудованных бетонными фильтрами при стальных и бетонных трубах.

На рис. 4.63 представлен разрез скважины, в которой металлические трубы заменены бетонными. Здесь скважина до глубины 30 м закреплена бетонными трубами диаметром 310/230 мм; дальнейшее углубление скважины производится вспомогательной металлической колонной труб диаметром 203/192 мм. После этой операции на бетонных трубах 135/55 мм спускается фильтр из пористого бетона диаметром 165/85 мм без гравийной обсыпки, либо диаметром 135/55 мм с применением гравийной обсыпки.

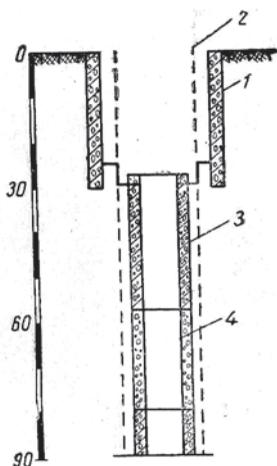


Рисунок 4.63 - Конструкция скважины при креплении бетонными трубами (по И. Герхардту)
 1 - кондуктор; 2 - след стальной колонны;
 3 - трубы из монолитного бетона; 4 - трубы из пористого бетона

В случае посадки первой бетонной трубы выработка грунта из забоя производится при помощи расширителя или гидромеханическим способом.

При бурении скважин с бетонными трубами применяются трубы длиной 1,5 м, имеющие на концах металлические ниппели и муфты стандартного размера, рис. 4.64. Такая система позволяет в случае необходимости осуществлять соединение железобетонных труб с металлическими трубами. Строительные расходы при бурении скважин трубами и фильтрами из бетона составляют 30 % от строительства скважин, оборудованных металлическими трубами и сетчатыми фильтрами.

Широкое применение также нашли фильтры из пористого бетона для водопонижения при разработке бурогольных месторождений в Германии. Фильтры из пористого бетона изготавливались заводским способом длиной в 1 м с фасонными шлифованными пазами по концам. Такая конструкция соединений позволяла собирать звенья фильтра в колонну без уплотненных колец. В основном фильтры выпускались диаметрами 440/360 и 420/300 мм с толщиной стенок 40 – 60 мм. Для изготовления фильтров применялся гравий диаметром 6 – 8 мм, который после добавки цемента и воды спрессовывается гидравлическим способом под большим давлением. Такой метод изготовления фильтров позволяет сократить расход цемента до 100 – 120 кг на 1 м³ раствора бетона.

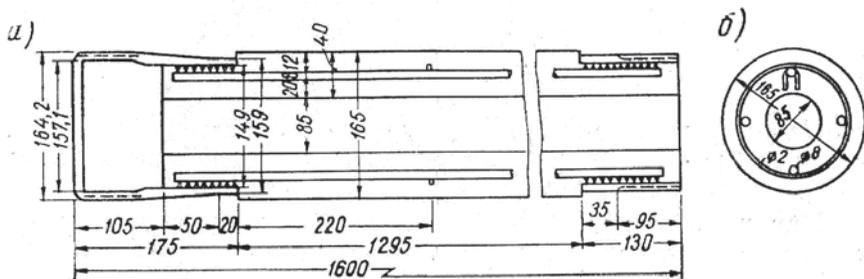


Рисунок 4.64 - Конструкция труб и фильтров из железобетона (по И. Герхардту) с металлическими соединениями
 а) - разрез; б) - план

Установка фильтров из пористого бетона в скважину производится под защитой песчаной обсыпки, для чего при установке фильтров применяются центрирующие хомуты. Такие фильтры устанавливаются в пределах поля горных разработок и, как правило, не извлекаются. В случае необходимости фильтры тампонируются тощим бетоном.

Блочные фильтры на основе связи гравия клеем БФ-4.

К числу пустотелых фильтров блочного типа следует отнести и гравийно-звеньевые фильтры, разработанные в Ростовском институте инженеров железнодорожного транспорта (РИИЖТ).

Отличительная особенность этой конструкции фильтра заключается в том, что образование пористых блоков происходит на основе склеивания гравия синтетическим клеем марки БФ-4. Согласно литературным сведениям [44] изготовление блоков производится из отсортированного, тщательно промытого гравия, освобожденного от влаги путем просушивания.

Подбор диаметра зерен гравийного материала производится с учетом пород, в которых будет работать фильтр на основе следующего соотношения:

$$D_{cp} / d_{50} = (5 - 8), \quad (4.41)$$

где D_{cp} – средний диаметр зерен гравия в блоке; d_{50} – средний по весу (50 %) диаметр зерен в песке водоносного.

При изготовлении гравийно-звеньевых фильтров для отбора воды из песков рекомендуется пользоваться данными табл. 4.27.

При изготовлении фильтров подготовленный и подобранный материал в объеме, подлежащем изготовлению блока, смешивается с клеем БФ-4 в определенной пропорции. Расход клея в зависимости от размера зерен материала составляет 45 – 90 г на 1 кг породы.

Таблица 4.27 - Подбор гравия для клеевых фильтров (по Л.Ф. Быкадорову [27])

Характеристик водоносных пород в мм	Рекомендуемый диаметр зерен для блоков, мм
Пески: тонкозернистые, $d_{50} = 0,1 - 0,2$	1 – 2
мелкозернистые, $d_{50} = 0,2 - 0,35$	2 – 3
среднезернистые, $d_{50} = 0,35 - 0,85$	3 – 6
крупнозернистые, $d_{50} = 0,85 - 2,5$	6 – 20

Приготовленная масса, частички которой покрыты пленкой клея, засыпается в пресс-форму, смазанную техническим маслом, и при помощи специального приспособления подвергается пригрузке под давлением в 50 – 70 кг/см²; после этого блок вместе с пресс-формой помещается в сушильный шкаф (рис. 4.65).

Для равномерного распределения клея в теле блока во время сушки пресс-форма поворачивается вокруг своей оси особым приспособлением. Сушка блоков производится в течение 15 – 17 ч при температуре 140 – 160°С.

Фильтры описанной конструкции изготавливались в трестах Трансводстрой, Промбурвод и др.

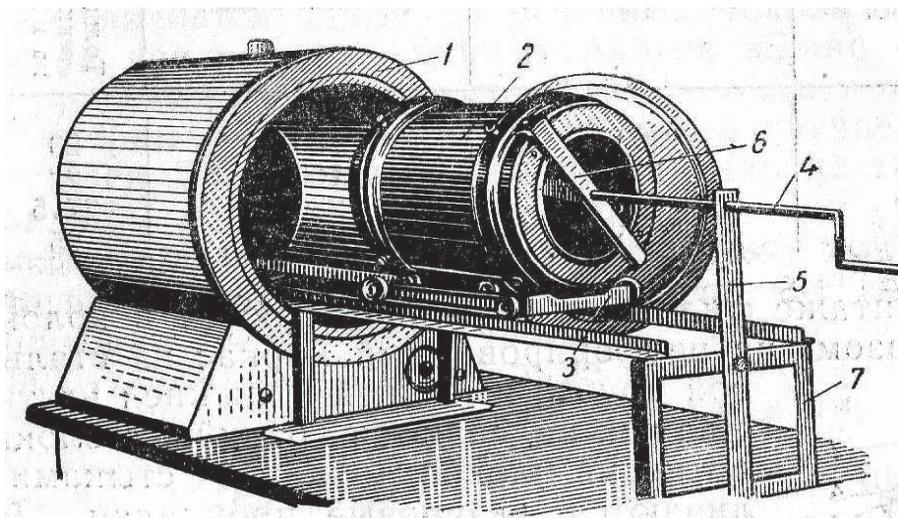


Рисунок 4.65 - Общий вид пресс-формы и печи для изготовления фильтров на клее БФ - 4

1 - сушильный шкаф; 2 - пресс-форма с изделием; 3 - тележка; 4 - рукоятка; 5 - стояк; 6 - металлическая планка; 7 - эстакада

По условиям технологии гравийно-клеевые фильтры могут выпускаться различных диаметров: от 1 дюйма и более.

Для характеристики фильтров в табл. 4.28 приведены размеры блоков; пользующихся наибольшим спросом у потребителей.

Таблица 4.28 - Спецификация на гравийно-клеевые фильтры блочного типа

Диаметр опорного каркаса из стальных труб, мм	Диаметр блока внутренний, мм	Высота блока, мм	Диаметр блока наружный, мм	Толщина стенки блока, мм
82/75	90	200	130	20
121/105	124	200 – 300	168	22
168/150	175	350	230	27,5
219/200	225	300	275	25

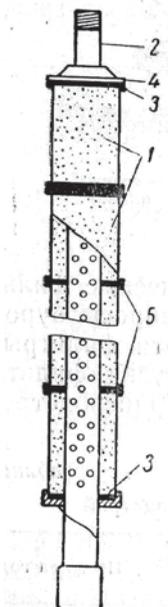


Рисунок 4.66 - Конструкция звена гравийного фильтра конструкции РИИЖТа

- 1 - гравийный блок;
- 2 - опорный каркас из перфорированной трубы;
- 3 - опорный фланец;
- 4 - нажимной фланец;
- 5 - кольца резиновые для уплотнения

При монтаже фильтров блоки собираются в колонну следующим образом: на перфорированный каркас из стальной буровой трубы, имеющей в нижней части опорный фланец, надеваются гравийные блоки; для уплотнения блоков, между их стыками, устанавливаются резиновые прокладки. В верхней части трубчатого каркаса имеется второй фланец, которым прижимаются блоки после сборки звена фильтра. Изготовленные таким образом звенья собираются в колонну необходимой длины при помощи соединительных муфт. Конструкция звена фильтра представлена на рис. 4.66. Монтаж звеньев фильтра ведется на трубах длиной до 6 м. Оборудование скважин производится готовыми фильтрами, собранными на поверхности земли. Опускание фильтров в скважину производится под защитой фонарей (скоб), приваренных к телу металлической трубы.

Внедрение фильтров данной конструкции началось со второй половины 1955 г. трестом Трансводстрой при оборудовании скважин, пробуренных роторным способом [83], и другими организациями в скважинах ударно-канатного бурения. Фильтрами этой конструкции было оборудовано несколько десятков скважин.

Гравийно-звеньевые фильтры среди других конструкций фильтров блочного типа являются более прогрессивными. Рассматривая данную конструкцию фильтра, необходимо сделать также и ряд критических замечаний с тем, чтобы их можно было учесть при испытании.

Гравийные блоки, свободно надеваемые на каркас, работают на радиальное сжатие без опоры на стальной каркас; следовательно, на них передается горное и фильтрационное давление.

В связи с этим сохранение механической прочности блоков, при непрерывном воздействии на них горного давления и давления воды, является одним из основных условий. Сохранение механической прочности гравийных блоков важно также и потому, что при диаметрах зерен гравия в 1 – 3 мм и отверстий в стальных опорных каркасах в 16 – 20 мм, в случае ослабления прочности клея БФ-4, возможно вымывание частиц гравия в ствол скважины и даже разрушение блоков.

Из практики известно, что для неудовлетворительной работы гравийных фильтров достаточно разрушения не всего контура обсыпки, а лишь небольшой ее части.

При испытаниях фильтров, кроме механических факторов, весьма важно учитывать также воздействие и других факторов (в частности, гидрохимических).

Необходимо установить: сопротивление клея БФ-4 на выщелачивание, способность фильтров сорбировать на поверхности воздух и другие газы, устойчивость против зарастания осадками.

По данным лабораторных исследований, проведенных Л.Ф. Быкадоровым, установлено, что прочность образцов, изготовленных на клее БФ-4, после пребывания в стоячей воде снижается (табл. 4.29).

Из этих данных следует, что остаточный запас прочности составляет 25 кг/см^2 , но насколько стабильной является эта прочность, сказать невозможно.

Для проверки фильтров на эрозионную устойчивость при движении воды В.М. Гаврилко были проведены опыты на установке, схема которой представлена на рис. 4.67.

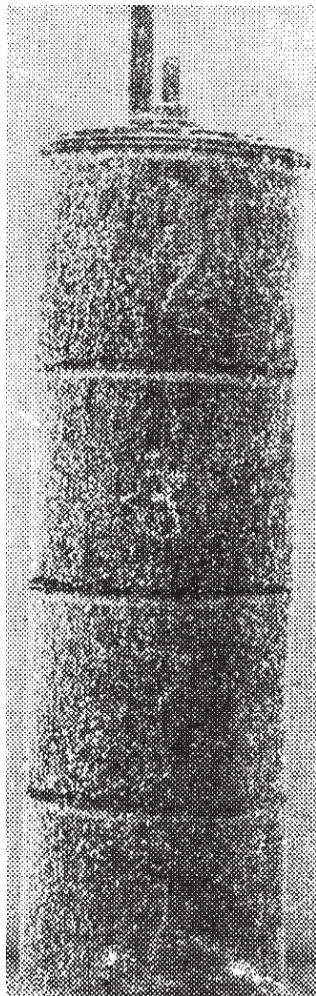


Рисунок 4.67 - Установка для испытания фильтров конструкции РИИЖТа на эрозионную устойчивость

Опыты на фильтрацию производились непрерывно в течение 5 и 12 месяцев; за это время через установку прошло соответственно 174 440 и 586 271 л воды. Результаты этих опытов сведены в табл. 4.29.

Из приведенных данных видно, что прочность фильтров снизилась до 58 – 35 %, но возможно, что этот процесс является окончательным. Наблюдения за фильтрацией в напорном лотке показали, что при изменении температуры на поверхности фильтра сорбируются пузырьки воздуха, играющие роль затвора, понижающего фильтрационную способность. Так, на установке суточный дебит снизился с 7 277 до 1 460 л. При повторном опыте после удаления воздуха за 6 суток дебит снизился с 5840 до 970 л/сут.

Таблица 4.29 - Прочность образцов гравийно-клеевых фильтров в зависимости от длительности пребывания в воде (по Л.Ф. Быкадорову [27])

Время нахождения в воде, сут	0	1	2	10	45	100
Прочность образца, кг/см ²	58	31	–	35	25	25
Остаточная прочность, %	100	51	–	55,5	45	45

Из сказанного следует, что большая работа, проведенная в области создания фильтров Л.Ф. Быкадоровым, еще нуждается в длительной лабораторной и полевой проверке с тем, чтобы можно было сделать окончательные выводы по фильтрам данной конструкции. Потому В.М. Гаврилко в более поздний период продолжил исследования в данном направлении, результаты которых приведены в табл. 4.30.

Приходится выразить сожаление о том, что лабораторные исследования по гравийно-клеевым фильтрам значительно отстали от запросов практики.

Внедрение фильтров данной конструкции в производственных условиях началось со второй половины 50-х годов прошлого века трестом Трансводстрой при оборудовании скважин, пробуренных роторным способом [44], и другими организациями в скважинах ударно-канатного бурения. Однако данные по эксплуатационным наблюдениям не собраны.

Гравийно-клеевые фильтры внедрялись в трестах Промбурвод и Трансводстрой, Центральной экспедицией Главного геологического управления Латвии, в институте Гидроэнергoproject и других организациях при оборудовании скважин для водоснабжения и водопонижения.

Большинство построенных скважин работают удовлетворительно, но учитывая, что скважины в основном поставлены в мелкозернистых песках, величина водоотбора из них невелика. Следует также отметить, что данные по отбору воды из скважин отражают период строительных откачек, а не эксплуатации и, в связи с этим, необходимо установить более тщательный гидрогеологический надзор за состоянием удельных дебитов скважин с новыми конструкциями фильтров, установленными в различных районах страны и при различных гидрохимических условиях.

Гравийно-клеевыми фильтрами в экспедиции института Гидроэнергoproject успешно решались задачи водопонижения для тепловой станции в Нижегородской области в сложных гидрохимических условиях. Здесь при откачке воды, загрязненной промышленными стоками, металлические фильтры выходили из строя в недельный срок из-за коррозии. Наряду с положительной работой гравийно-клеевых фильтров известны случаи и массового выхода скважин из строя.

Так, например, на объектах осушения угольных месторождений в Калужской области из 18 скважин, построенных трестом Союзшахтоосушение, прекратили работу из-за пескования почти все скважины. Причины этого явления выяснены еще недостаточно, но не исключена возможность

Таблица 4.30 - Характеристика механической прочности гравийно-клеевых фильтров в зависимости от времени пребывания в воде и количества профильтровавшейся воды (по В.М.Гаврилко [38])

№ блока	Размер блоков			Испытания блоков до фильтрации		Испытания блоков прошедших фильтрации		Снижения прочности у блоков, подвергнувшихся фильтрации, по сравнению с первоначальной, %	Дата проведения опыта и количество прошедшей воды через установку, л	
	Наружный диаметр, см	Внутренний диаметр, см	Площадь поперечного сечения, см ²	Высота образца, см	Испытания блоков до фильтрации		Испытания блоков прошедших фильтрации			
					Общая разрушающая нагрузка, кг	Прочность блоков на сжатие, кг/см ²	Общая разрушающая нагрузка, кг			Прочность блоков на сжатие, кг/см ²
1	13	7,8	73,24	10,5	8000	109	3150	43	с 4.10.1957. по 14.11.1958.	
2	13	7,8	73,24	11	8000	109	3850	52,6		
3	13	7,8	73,24	11	7250	98	6300	86		
4	13	7,8	73,24	10,7	7730	105	6700	91,5		
Среднее	13	7,8	73,24	10,8	7700	106	5000	68	35,2	
1	13	9	69	9,8	6000	87	5000	72	с 1.03.1957. по 25.09.1957.	
2	13	9	69	9,8	5600	81	7800	68		
3	13	9	69	9,8	5500	79	5200	76		
4	13	9	69	9,8	5400	78	4750	69		
Среднее	13	9	69	9,8	5625	8102	4937,5	71,2	15,5	

Примечание: в первом опыте блоки состояли из зерен диаметром 0,9 - 1,5 мм, во втором — 1 - 2мм. Указанное количество воды фильтровалось через колонну, состоящую из 4-х блоков

разрушения гравийных блоков под влиянием вибрации глубинных насосов типа АТН-8, которые были установлены в рабочих частях фильтров.

К числу причин, сдерживающих более широкое применение гравийно-клеевых фильтров в скважинах питьевого назначения, следует отнести клеи, в состав которых входят фенольные соединения.

Фильтры блочного типа, предложенные РИИЖТом, на основе связи зерен гравия клеем БФ-4 применялись также в работах института ВСЕГИНГЕО. В связи с выполнением тематики по разработке конструкций фильтров для отбора воды из тонкозернистых песков применительно к гидрогеологическим условиям Тюменской области Н.А. Карамбировым и В.В. Шимановским было внесено предложение об изменении формы внешней поверхности фильтра для увеличения их водозахватной способности. На рис. 4.72 представлены два вида таких фильтров.

По мнению этих авторов, проводивших лабораторные исследования, ребристая форма поверхности должна увеличить водозахватную способность фильтров в 1,5 раза по сравнению с фильтрами аналогичного диаметра с гладкой поверхностью, однако это положение оспаривается рядом специалистов (Н.Н. Вёригин, Н.А. Плотников, В.М. Шестаков) и, с нашей точки зрения, нуждается в эксплуатационной проверке.

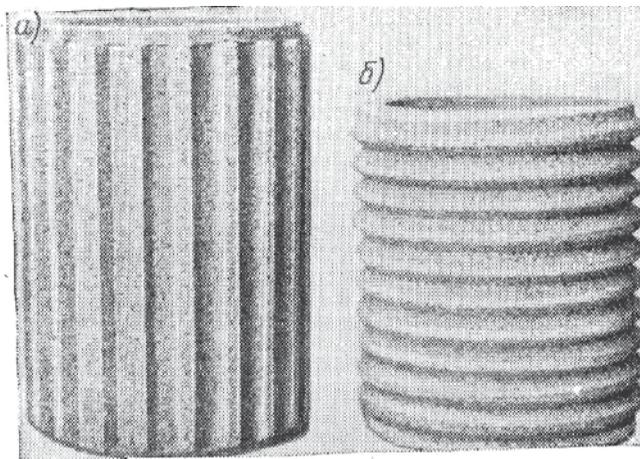


Рис 4.68.

Гравийный ребристый фильтр конструкции института ВСЕГИНГЕО

а) - с вертикальными ребрами; б) - с горизонтальными ребрами

Для внедрения настоящего предложения в Уральском геологическом управлении была организована база по изготовлению ребристых фильтров. Исходя из условий изготовления фильтров, их прочности и установки, здесь была принята форма фильтров с продольными ребрами, как более отвечающая требованиям, и налажено их производство.

При сборке фильтров на перфорированный опорный каркас, изготовленный из обсадной трубы диаметром 127/118 мм, надеваются блоки высотой 300 мм с уплотнительными резиновыми кольцами между ними в торцевых концах и зажимаются опорными фланцами. Из таких звеньев при помощи муфт может быть собран фильтр необходимой длины.

На опытном стационаре ВОДГЕО в Нижегородской области была сооружена одна скважина с ребристым фильтром, которая проработала самоизливом около 1 года. Никаких особых преимуществ по этой скважине в сравнении с другими, оборудованными гладкими фильтрами, не установлено. При транспортировке наблюдалось скалывание ребер, которые более чувствительны к механическим повреждениям, чем фильтры с гладкой поверхностью.

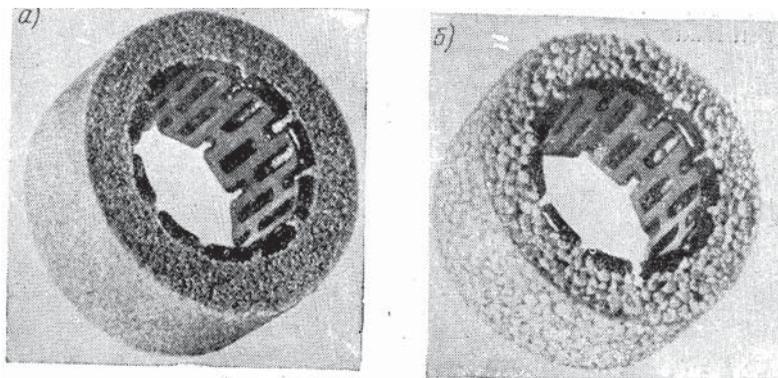


Рисунок 4.69 - Фильтр на основе склеивания гравия синтетическими смолами и опорным щелевым каркасом
а) - с мелкой обсыпкой; б) - с крупной обсыпкой

Фильтры блочного типа, на основе склеивания гравия синтетическими смолами, известны применением также в Германии. Их общий вид представлен на рис. 4.69. Конструкции с технической стороны представляют несомненный интерес. В отличие от применяемых в нашей практике фильтров, где блоки надеваются на каркас с зазором, в этих конструкциях гравий опирается на несущий металлический каркас и, следовательно, воспринимает на себя горное и фильтрационное давление. Гравий как бы наклеен на каркас и связан с ним неподвижно. Опорный каркас состоит из штампованной щелевой трубы, которая в целях антикоррозийной защиты имеет надежное покрытие из твердой резиновой оболочки, нанесенной электрофоретическим способом. При такой конструкции исключается возможность окисления каркаса и возможность прорастания гравийной обсыпки гидроокислами железа.

На протяжении ряда лет в Киевском регионе блочными фильтрами производства фирмы «ПРОЙССАГ» изделия, вода и окружающая среда» (Германия) оборудуют гидрогеологические скважины (рис. 4.70).

Для обустройства скважин фирма «ПРОЙССАГ» производит нормированные фильтровые и обсадные трубы из поливинилхлорида. Они и служат каркасом фильтровой колонны, на которую надевают цилиндрический блок гравийной обсыпки. Фирма выпускает фильтры с гладкой и ребристой поверхностью.

Ребристые фильтры имеют по сравнению с гладкими фильтрами большую скважность и тем самым улучшаются их гидравлические свойства, поскольку продольное расположение ребер не позволяет зернам гравия непосредственно прилегать в области перфорации фильтровой колонны.

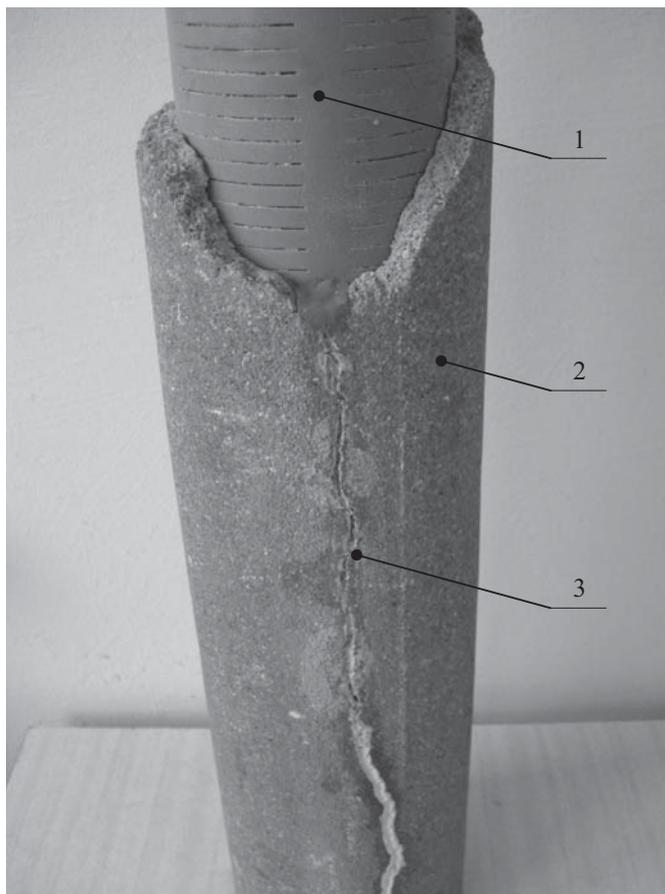


Рисунок 4.70 - Общий вид блочного фильтра фирмы «Пройссаг», извлеченного из скважины

1 – трубчатый ПВХ каркас с щелевой перфорацией; 2 – гравийная обсыпка; 3 – трещина в блочном фильтре

Фильтры блочного типа на основе связи гравия битумом.

Применение пористых смесей на битуме в качестве фильтров было предложено в 30-х годах прошлого века при строительстве плотины Швамменуэль [44], а в 50-х – для изготовления дренажных труб, применяемых при осушении сельскохозяйственных территорий в Германии. Несмотря на относительную давность указанных выше предложений, каких-либо сообщений по эксплуатационной оценке асфальтобетонных фильтров опубликовано не было.

В 1953 г. на строительстве Сталинградской ГЭС в связи с массовым пескованием скважин глубинного водоотлива были предложены асфальтобетонные фильтры блочного типа. Согласно сообщению авторов работы [89], фильтры из пористого асфальтобетона, в отличие от применяемых в настоящее время конструкций, обладают рядом преимуществ:

- для создания фильтров не требуется употреблять сетку или нержавеющей проволоку, при этом экономятся стальные трубы;
- исключается необходимость создания фильтрующей обсыпки;
- пористость блоков может быть подобрана в соответствии с окружающей породой;
- асфальтобетонные фильтры не подвергаются коррозии и зарастанию;
- фильтры для своего изготовления не требуют дефицитных материалов, так как они изготавливаются из гравия и битума.

Отличительная особенность этих фильтров состоит в том, что гравийная обсыпка, обработанная битумом, приобретает свойство гидрофобности. Благодаря этим свойствам вода и коллоидные частицы, проходя через поры асфальтобетонных фильтров, при наличии одноименности зарядов будут отталкиваться от стенок, создавая тем самым условия незаияемости фильтров. Поскольку эти предложения широко освещены в периодической печати, а само предложение подкупает своей простотой и доступностью в изготовлении, оно заслуживает внимания.

Конструкции асфальтобетонных фильтров, рекомендуемые С.Р. Медведевым и П.Т. Любимым при оборудовании скважин, применяемых для водоснабжения и водопонижения, представляют собой полые или заполненные породой блоки-цилиндры, изготовленные из щебня, обработанного битумом. При изготовлении блоков применяется гравий или каменная крошка (щебень) в количестве (по весу) 95 % и 5 % битума марки БН-3. Порода, подогретая до температуры 160 – 170 °С, смешивается с битумом, имеющим ту же температуру, после чего гравий или щебень покрывается пленкой битума. Подготовленная указанным выше способом масса гравия укладывается в пресс-форму, смазанную маслом, и трамбуется, а затем уплотняется нажимным приспособлением. С охлажденных блоков снимается опалубка, после чего они поступают в дальнейшую обработку.

Фильтры, предназначенные для оборудования водозаборных и водопонижительных скважин, представляют собой полые блоки-цилиндры из асфальтобетона, армированные стержнями и фланцами. Эти блоки высотой 50 – 55 см, с толщиной слоя асфальтобетона в 40 мм, собираются в колонну при

помощи соединительных металлических колец. Блоки, армированные стержнями и фланцами, надеваются на металлический щелевой каркас (рис. 4.71). Вся колонна блоков опирается на фланец, приваренный в основании колонны. Такой же фланец закрывает блоки сверху после набора рабочей части фильтра необходимой длины.

Как показал опыт, фильтрам из асфальтобетона присущ ряд существенных недостатков:

- при повышенных температурах, под воздействием солнца, блоки текут, а при низкой температуре – рассыпаются на мелкие части;
- при размягчении битума на него налипают пыль и глинистые частицы;
- по количеству металла эти конструкции не сокращают, а наоборот, расходуют на 50 % металла больше, нежели обычные щелевые конструкции фильтров с обсыпкой;

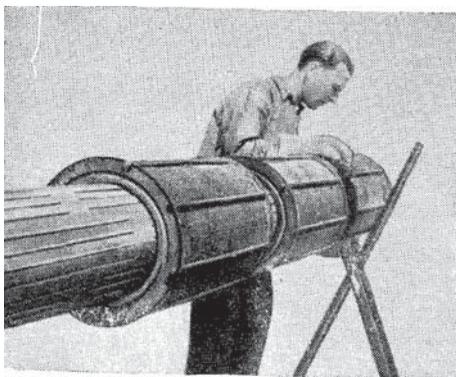


Рис. 3.71. Монтаж асфальтобетонного фильтра из звеньев

- при оборудовании скважин насосами типа АТН с устройством опорных площадок для моторов на трубах, вследствие вибрации, наблюдается просадка обсыпки, обработанной битумом и, как следствие, пескование скважин.

Проверка фильтров, извлеченных из скважины № 172, простоявших в забое около 2 лет, но в эксплуатации находившихся всего около трех месяцев, показала, что при изломе пористых асфальтобетонных фильтров наблюдается повсеместное заполнение пор тонкозернистым песком и продуктами окисления

железа.

Лабораторные исследования образцов фильтров, извлеченных из скважин, проведенные институтом Оргэнергострой, установили, что коэффициент фильтрации пористого асфальтобетона по сравнению с первоначальным резко уменьшился.

На строительстве Сталинградской ГЭС из 19 пробуренных скважин для водоснабжения и водопонижения, по данным на 10 октября 1956 г., вышло из строя 14 скважин. В остальных пяти работающих скважинах дебит не превышал $10 \text{ м}^3/\text{час}$; по двум скважинам (Р-18 и Р-179) наблюдалось периодическое пескование. Приведенная выше характеристика дана по скважинам за период внедрения и работы фильтров продолжительностью около 1 года. Имеются примеры выхода скважин из строя на 2-е, 4-е, 11-е, 26-е сутки после их ввода в эксплуатацию.

В конструкциях, рекомендуемых для оборудования разгрузочных дренажных скважин, полости блочных фильтров были заполнены щебнем

(рис. 4.72), а соединение отдельных звеньев фильтра в колонну осуществлялось при помощи металлических стержней и фланцев. Внешний диаметр фильтров таких блоков составлял 250 мм.

Эти фильтры устанавливались в разгрузочные скважины под рисбермой здания ГЭС при диаметре скважин 600/500 мм с одновременной их обсыпкой крупнозернистым и разнозернистым песком [18].

Из анализа приведенной конструкции следует, что водоприемная поверхность у фильтра выполнена из крупнозернистого песка, а роль асфальтобетонного фильтра должна сводиться к отводу профильтровавшихся вод по стволу, выполненному щебенкой на битуме.

В связи с критическими замечаниями, возникшими с внедрением указанных конструкций в уникальных гидросооружениях [32, 39], Ленинградским институтом гидротехники были проведены дополнительные исследования асфальтобетонных фильтров, как в отношении их механической устойчивости, так и фильтрационных свойств. Исследования П.Д. Глебова и Н.С. Покровского изложены в [44] и их результаты сводятся к следующему:

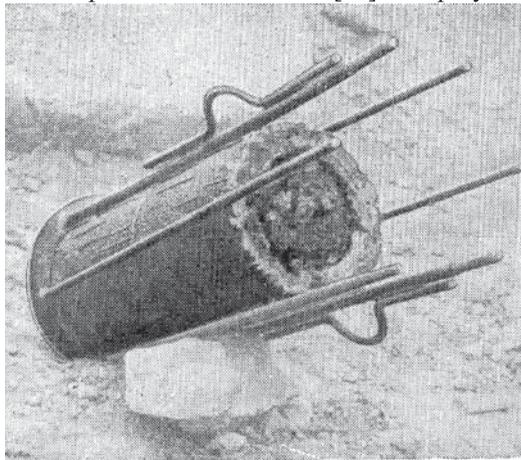


Рис. 3.72. Деталь блочного фильтра из асфальтобетона

- асфальтобетонные фильтры, изготовленные по рецептуре Сталинградгидростроя, не могут быть использованы в конструкциях, воспринимающих нагрузку, без изготовления надежных каркасов, при ширине щелей не более диаметра применяемого щебня;

- применяемый битум марки БН-3 обладает недостаточной водостойкостью и по этой причине прочность образцов после 8-ми месячного хранения в воде падает в 4,5 – 6 раз, а в дальнейшем

возможно и более;

- при фильтрации воды, содержащей воздух и другие газы, в связи с гидрофобностью битумов, может происходить закупорка пор газами, что приводит к резкому снижению коэффициента фильтрации пористых асфальтов; гидрофобность не защищает фильтры от кольматажа.

На основании анализа всех материалов исследований по фильтрам из пористого асфальтобетона было вынесено решение, воспрещающее установку фильтра из пористого асфальтобетона при оборудовании водозаборных и водопонизительных скважин [123]. Уместно отметить, что фильтры из

пористого асфальтобетона в Германии, в стране, первой давшей это предложение для водоснабжения и водопонижения, не применяются.

Фильтры блочного типа на основе связи гравия бакелитовым лаком. В 50-х годах прошлого века под руководством П.М. Ким проводились работы по созданию конструкций гравийного фильтра на основе связи частиц гравия бакелитовым лаком [64]. Бакелитовый лак состоит из резольной фенолформальдегидной смолы, растворенной в спирте. Бакелитовый лак, широко применяемый для пропитки и склейки различных материалов, выпускается заводами химической промышленности.

В отличие от фильтров блочного типа, изготавливаемых на основе клея БФ-4, предлагалось использовать более дешевый материал – бакелитовый лак, стоимость которого в три раза ниже.

Исследования образцов блоков [64], изготовленных с применением бакелитового лака, показали, что прочность кубиков размером $7 \times 7 \times 7$ см на раздавливание доходит до $140 - 250 \text{ кг/см}^2$, что превышает прочность кубиков на клею БФ-4 в 2 – 3 раза. Учитывая это, автор предложения П.М. Ким пришел к выводу о возможности создания бескаркасных гравиебакелитовых фильтров для нужд глубинного водопонижения.

Отработав достаточно полно технологию изготовления гравиебакелитовых фильтров, автор предложения проводил одновременные лабораторные исследования по выяснению их фильтрационных свойств и устойчивости по отношению к воде.

Согласно этим данным первоначальная прочность гравиебакелита зависит от характера пород, ее гранулометрического состава, количества вводимого лака и степени уплотнения гравия, при заполнении пресс-формы. Как было указано ранее, эта прочность оказалась достаточно высокой.

Для создания бескаркасных фильтров, в которых гравийные оболочки заменяют собой трубы, необходимо, чтобы их прочность сохранялась при длительной работе фильтров в воде. Согласно данным П.М. Ким при нахождении образцов гравиебакелита в воде в течение месяца прочность снижается на 20 %, а при хранении в течение 6 месяцев – с $250 - 140$ до $40 - 65 \text{ кг/см}^2$ т. е. дает снижение прочности на 75 – 80 %.

При проведении фильтрационных опытов была установлена способность гравиебакелита сорбировать на своей поверхности пузырьки газов (в частности, воздуха), в связи с чем наблюдалось понижение его коэффициента фильтрации. Уместно заметить, что уменьшение коэффициента фильтрации находилось в прямой зависимости от напорных градиентов и в большей степени при фильтрации воды, содержащей воздух. Так, например, при $i = 0,2$ $k_{\phi} = 0,067$, а при $i = 2$ $k_{\phi} = 0,012$. В опытах с кипяченой водой при $i = 0,2$ $k_{\phi} = 0,104$, а при $i = 2$ – $k_{\phi} = 0,081$.

Следствием, вытекающим из данных лабораторных исследований, является необходимость проверки гравиебакелитовых фильтров в натуральных условиях, так как хорошо известно, что природные воды всегда содержат газовую фазу, способную повлиять на водозахватную способность фильтров.

На данном этапе конструкцию фильтра из гравиебакелита следует рассматривать как опытную, проходящую первую стадию испытаний.

Учитывая ядовитость бакелитового клея, содержащего фенол, данная конструкция фильтра после подтверждения ее работоспособности и экономичности может быть применима лишь при отборе воды для технических целей (в частности, при строительном водопонижении).

Фильтры блочного типа из пористой керамики. Синтетические смолы и лаки, применяемые для склейки гравия, представляют собой спиртовые растворы фенольно-формальдегидной и резольных смол (клеи БФ-2, 4, 6, бакелитовый), что по санитарно-гигиеническим условиям является противопоказанным в скважинах питьевого водоснабжения. Вместе с тем, технология изготовления фильтровых блоков на бакелитовом клее требует большой осторожности в обращении с материалами и не исключает возможности отравления занятых при этом рабочих. К числу недостатков синтетических клеев и лаков следует также отнести и их высокую стоимость.

Что касается фильтров из пористого бетона, то они нашли применение в водопонижительных скважинах временного действия, устраиваемых при осушении бурогольных месторождений.

Некоторый опыт по использованию пористобетонных фильтров имелся в Венгрии, где были проведены довольно обстоятельные исследовательские работы, однако, эти фильтры не получили широкого распространения.

Указанные выше недостатки, присущие выпускаемым фильтрам блочного типа, обуславливают необходимость поисков новых решений. Естественно возникает вопрос и о применении других, более дешевых материалов для изготовления фильтров блочного типа, которые удовлетворяли бы техническим и санитарно-гигиеническим требованиям. Кроме того, успешное разрешение этой проблемы связано с наличием необходимой промышленной базы, способной обеспечить потребности буровых организаций в фильтрах, не прибегая при этом к крупным капиталовложениям на организацию производства.

При разрешении данной проблемы несомненный интерес представляет работа [88], выполненная в НИИСтройкерамика. Этим институтом разработаны технология силикатных пористых изделий в виде плит и полых труб на основе связи кварцевого песка и шамота жидким стеклом с последующим обжигом. Эти изделия обладают высокой механической прочностью ($\sigma_{сж} = 100 - 280 \text{ кг/см}^2$) и химической стойкостью, получили довольно широкое распространение в ряде отраслей народного хозяйства, при фильтрации через них кислых и слабощелочных суспензий, водоспиртовых растворов, сжиженных газов, воздуха и газа; при пневмотранспорте и разгрузке пылевидных материалов, при очистке водопроводной и сточных вод.

В свете далеко не полностью перечисленных выше областей применения фильтров из пористых силикатных материалов, естественно, возникает вопрос и о возможном их применении для изготовления фильтров блочного типа, при оборудовании скважин для водоснабжения, водопонижения и инженерно-геологических изысканий.

Кучинским керамическим экспериментальным заводом выпускались пористые трубы (блоки) (рис. 4.73) для различных отраслей техники, характеристики которых приведены в табл. 4.31.

Длина изготавливаемых труб ограничивается высотой печи, в которых производится обжиг керамики, и может составлять 600 – 700 мм. Удлинение звена труб, в случае их применения в фильтрах, позволяет наполовину сократить число стыков гравийных фильтров, изготавливаемых на основе клея БФ-4.

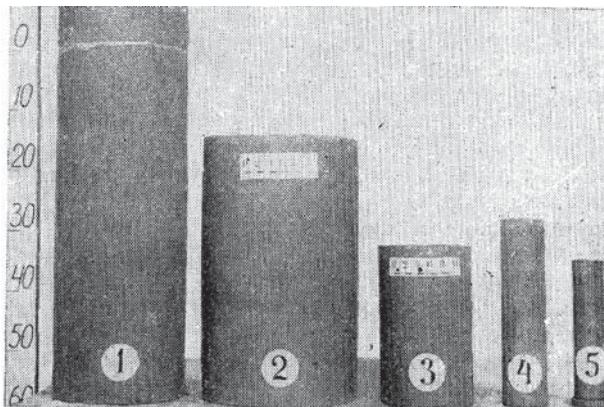


Рисунок 4.73 -
Общий вид фильтров
из пористой керамики
различных диаметров

Таблица 4.31 - Спецификация на керамические фильтры, выпускаемые Кучинским экспериментальным заводом

Габариты блоков		Размер пор, мкм	Пористость, %	Прочность на сжатие, кг/см ² , не менее
наружный диаметр, мм	внутренний диаметр, мм			
400 ± 3	340 ± 2	100 – 120	30 – 35	115
320 ± 3	250 ± 2	100 – 120	30 – 35	115
260 ± 3	200 ± 2	100 – 120	30 – 35	115
220 ± 3	170 ± 2	100 – 120	30 – 35	115
150 ± 3	134 ± 2	100 – 120	30 – 35	115
89 ± 3	50 ± 2	120 – 140	30 – 35	100
70 ± 0,5	50 ± 0,5	100 – 120	30 – 35	115
50 ± 0,5	30 ± 0,5	100 – 120	30 – 35	115

С применением разработанных клеев длина звеньев керамических труб может быть увеличена до 1 000 – 1 100 мм.

Фильтры из пористого силиката, как и известные клеевые, состоят из наполнителя и связующего материала. В качестве наполнителя пористого силиката применяются главным образом кварцевый песок и шамот. Могут применяться также кварц, кварцит, бой фарфоровых и фаянсовых изделий,

кислотоупорной и облицовочной керамики. Установлено, что наполнитель определяет как химические, так и механические свойства пористого силиката. Так, например, в случае шамотных пористых изделий имеют место более высокие химическая стойкость и механическая прочность, нежели у изделий из кварцевого песка. Кроме того, зерна кварцевого песка в процессе обжига претерпевают полиморфные превращения, которые сопровождаются значительным изменением объема, что ведет к растрескиванию крупногабаритных блоков. Зерна же шамота не подвергаются таким превращениям.

Следует отметить, что использование кварцевых песков разработано только для мелкозернистых фракций (от 0,1 до 0,5 мм).

Попытка изготовления пористых блоков из кварцевого гравия с размером зерен в 1 – 2 мм закончилась неудачей на экспериментальном керамическом заводе. Изготовленные и предварительно высушенные блоки разрывались в печах при обжиге.

Для изготовления силикатных фильтров лучше всего применять шамот с водопоглощением 6 – 12 %. Использование шамота с более высоким водопоглощением требует большего количества жидкого стекла, что ведет к удорожанию изделия. Связующий материал представлен жидким стеклом и ускорителем – кремнефтористым натрием. В производстве обычно применяется жидкое натриево-силикатное стекло состава Na_2mSiO_2 с модулем $m = 2,5 - 3,3$ и удельным весом 1,35 – 1,45. При введении жидкого стекла в смесь для приготовления пористой керамики (шихту) необходимо строго соблюдать условия дозировки. Установлено, что введение в шихту жидкого стекла для блоков из кварцевого песка менее 17 %, для блоков из шамота – менее 21 % значительно снижает их прочность. После обжига делает также невозможным их формирование (блоки рассыпаются). Не рекомендуется вводить жидкое стекло в шихту в больших количествах, так как это значительно снижает водопроницаемость фильтров. Максимальные пределы содержания жидкого стекла с удельным весом 1,45 в шихте: для фильтров из кварцевого песка 29 – 30 % и для фильтров из шамота 35 %.

Эти рекомендации относятся к мелкопористым изделиям, у которых величина пор находится в пределах 100 – 120 мкм. В случае применения шихты из шамота более крупных фракций с размером частиц 1 – 3 мм, обеспечивающих размер пор от 240 до 350 мкм, введение жидкого стекла уменьшается до 12 – 13 %.

Кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6) является побочным продуктом при производстве суперфосфата. При твердении массы, где связующим материалом является жидкое натриево-силикатное стекло, он выполняет функции ускорителя этого процесса; кроме того, кремнефтористый натрий способствует нормальному (без деформаций) протеканию процессов твердения при обжиге блоков.

Превращение всей массы в единую прочную структуру происходит за счет образования геля кремнекислоты (при коагулирующем действии кремнефтористого натрия), а также за счет образования при обжиге стекла

жидкой фазы, состоящей из силиката натрия, последняя взаимодействует с поверхностью наполнителя – шамота или кварцевого песка (рис. 4.74).

При обжиге происходит как бы растворение контуров зерна наполнителя в окружающей оболочке стекловидной фазы. При этом следует отметить, что температурный режим при обжиге будет различным в зависимости от вида наполнителя. Так, например, в случае обжига блока из пористого силиката с кварцевым наполнителем нарастание прочности идет до $t = 900 - 950$ °С. Дальнейшее повышение температуры приводит к образованию трещин в зернах наполнителя и их перекристаллизации в результате полиморфных превращений и снижению прочности блоков. В случае применения наполнителя из шамота нарастание прочности идет до $t = 1100 - 1150$ °С.

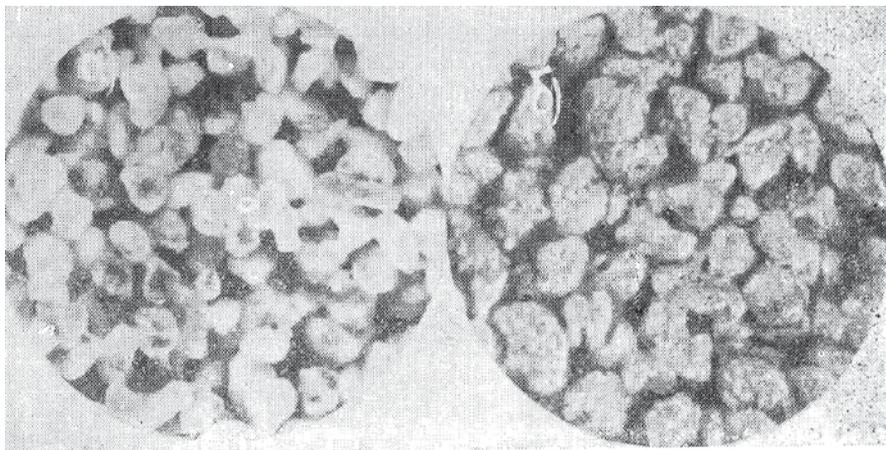


Рисунок 4.78 - Структура спекания зерен в пористых силикатных фильтрах
(по Смирновой)

a) - из зерен кварца; *b)* - из зерен шамота (зерна диаметром 2 - 3 мм увеличены в 3 раза)

Структура силикатных фильтровых блоков характеризуется наличием равномерно распределенных открытых пор, которые обеспечивают необходимую водопроницаемость.

Производство пористых блоков складывается из следующих операций. Из подготовленных материалов, наполнителя нужных фракций в воздушно-сухом состоянии, жидкого натриевого стекла и кремнефтористого натрия, (измельченного в шаровой мельнице до фракций 0,3 мм) приготавливается шихта. В смеситель, прежде всего, поступает необходимая фракция (или несколько фракций) наполнителя; туда же поступает предварительно просеянный кремнефтористый натрий в количестве 2 – 3 % от веса наполнителя. Сухие материалы перемешиваются в течение 10 – 15 мин. Затем

в эту смесь вливается определенное количество жидкого стекла и производится тщательное перемешивание шихты в течение 15 – 20 мин до получения однородно- влажной массы. Далее шихта из смесителя пропускаяется через протирочные сита с сеткой 4 – 5 мм. Из-под протирочного сита шихта поступает на формование блоков, которое производится в специальных формах путем прессования под давлением 50 – 70 кг/см² или путем вибрации в течение 2 – 3 мин с пригрузкой формируемой массы сверху грузом весом, равным весу массы. После этого блоки остаются в формах для твердения при $t = 20 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 15 – 20 ч.

Последним этапом технологического процесса по изготовлению силикатных фильтровых блоков является их обжиг, который производится в муфельных печах в течение 20 – 24 ч с выдержкой при максимальной температуре в течение 4 – 6 ч. Максимальная температура обжига для блоков из кварцевого песка составляет 900 – 950^oC, для блоков из шамота 1100 – 1150^oC.

Как уже отмечалось ранее, химическая стойкость силикатных фильтров, а также их водостойкость определяется в значительной степени видом наполнителя. Шамотные пористые изделия отличаются от кварцевых большей химической стойкостью. После четырехмесячного пребывания этих изделий в концентрированных и разбавленных минеральных кислотах, в водных растворах солей, в щелочной среде до 20 %-ной концентрации, а также в воде – образцы не теряли своей прочности. Наоборот, в условиях концентрированных кислот (соляной, серной, фосфорной) происходит нарастание прочности до 200 % за счет дополнительного образования геля кремнекислоты при вторичных превращениях силикатов натрия.

В кислой среде устойчивы и кварцевые пористые изделия, но в водной и щелочной среде они менее устойчивы. В этом направлении необходимо еще вести работы по подбору такого состава шихты, который повысил бы водостойкость пористых кварцево-силикатных материалов. В настоящее время эти вопросы прорабатываются во ВНИИСтройкерамика.

Ознакомление с совокупностью всех вопросов по исследованию фильтров из пористой керамики позволяет рекомендовать пористые керамические фильтры к использованию в буровом деле [40, 41].

Московским заводом керамблоков производилось производство керамических фильтров для оборудования буровых скважин на воду, данные по которым приведены в табл. 4.32.

В процессе изготовления фильтров лабораторией цеха пористой керамики совместно с представителями института ВОДГЕО производились подбор шихты и лабораторные исследования механических и фильтрационных свойств.

На первом этапе выпуска фильтров было решено использовать шихту, которая в процессе обжига обеспечивает образование крупных пор. В первой партии блоков применялась шихта следующего состава: шамот 85 %, жидкое стекло 19 %, кремнефтористый натрий 3 %.

Таблица 4.32 - Спецификация на керамические фильтры

Конечный диаметр обсадной трубы		Диаметр блока		Толщина стенки блока, мм	Наружный диаметр труб для опорного каркаса, мм	Высота блока, мм	Масса блока, кг (приблизительно)
наружный, мм	внутренний мах/мин, мм	наружный, мм	внутренний, мм				
108	99	92	64	14 ± 2	57	500 ± 5	2,5
127	119	110	80	15 ± 2	73	500 ± 5	3,2
		116	76	20 ± 2	57	500 ± 5	4,5
146	137	126	82	22 ± 2	73	500 ± 5	5,2
168	156/140	138	76	31 ± 2	57	500 ± 5	7,5
168	156/140	140	100	20 ± 2	89	500 ± 5	5,5
219	205/194	165	120	22 ± 2	112	200 ± 5	7,2
219	205/194	186	138	24 ± 2	127	500 ± 5	8,8
273	255/249	230	175	27 ± 2	168	500 ± 5	12,1
273	255/249	234	180	27 ± 2	168	500 ± 5	12,7
377	357/353	340	280	30 ± 2	273	340 ± 10	15,76

Размер зерен шамота и их количественное содержание в шихте находились (в %) в следующих пределах:

более 3 мм	2 - 3
3 - 2	30 - 35
2 - 1	25 - 30
1 - 0,9	8 - 10
0,9 - 0,15	10 - 15
менее 0,15 мм	10

При изготовлении фильтров набивка шихты в пресс-формы производилась на вибростолах.

Для ускорения процессов сушки в отформованных блоках при помощи специального приспособления извлекались внутренние цилиндры пресс-форм, после чего блоки во внешней опалубке отправлялись на сушку для твердения при $t = 20 - 25$ °C в течение 15 - 20 ч. Обжиг фильтров производился в печах при температуре 1040 - 1050 °C.

При лабораторных испытаниях образцов фильтров, изготовленных из шихты указанного состава, были получены нижеследующие показатели:

прочность на сжатие не менее	80 кг/см ²
пористость	30 - 35 %
размер пор	240 - 310 мкм
коэффициент фильтрации	800 - 1000 м/сут

В настоящее время заводом изготовлено для треста Промбурвод более 200 п. м (погонных метров) фильтров диаметрами 165/120 мм и 230/175 мм.

Трестом Союзшахтоосушение фильтры диаметром 340/280 мм применялись при оборудовании водопонизительных скважин глубиной до 100 м на Михайловском железорудном месторождении Курской магнитной аномалии и осушении буроугольных месторождений в Александрии.

Трестом Промбурвод и Средневожской экспедицией Мосгидэпа под руководством института Водгео были проведены работы по установке и испытанию фильтров из пористой керамики в Казани (две скважины) и в Нижегородской области на участке опытного стационара (три скважины).

Кроме того, в Казахстане под руководством института ВСЕГИНГЕО были пробурены и оборудованы Геологическим управлением такими фильтрами две скважины.

Фильтры блочного типа на основе связи частиц гравия резиновыми клеями. Э. Биске [133] был создан фильтр блочного типа на основе связи гравийных частиц каучуковыми клеями. Для изготовления таких фильтров применяется чистый, тщательно просеянный и калиброванный кварцевый гравий.

При обработке кварцевых зерен каучуком, формовке и последующей температурной обработке создаются пористые блоки, обладающие высокой механической прочностью, необходимым процентом скважности и объемом пор. Вследствие применения в блоках резины его корпус в известных пределах является эластичным, что дает конструкции большие преимущества по сравнению с фильтрами, приготовленными из керамических материалов.

При изготовлении фильтров этой конструкции особое внимание обращается на качество гравийной обсыпки. При этом указывается, что длительные опыты и наблюдения, проводившиеся в Германии более 25 лет за качеством и формой зерен обсыпки, подтвердили непригодность обсыпки, состоящей из остроугольных зерен, приготовленных путем дробления. При приготовлении фильтров из мелкого щебня резко возрастает опасность их заклинивания мелкими частицами песка. К преимуществам гравийных фильтров на основе каучука относятся их устойчивость при транспортировании, при химической и электролитической агрессии жидкостей в скважине.

Криогенно-гравийные фильтры блочного типа.

На сегодняшний день гравийные фильтры блочной конструкции не отвечают требованиям, которые были сформулированы В.М. Гаврилко [38] (п. 4.3).

Поэтому авторами для решения этой проблемы был проведен поиск новых материалов для разработки новой технологии создания гравийных фильтров, которая основана на других физических процессах. К новому направлению создания гравийных фильтров может быть отнесен метод, основанный на использовании эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния минераловязущего вещества.

В основу работы А.К. Судаковым положена идея создания гравийного фильтра по комбинированной технологии, включающей изготовление элемента гравийного фильтра блочной конструкции с соединением гравийного материала в монолит при помощи минераловязущего вещества на водной основе по криогенной технологии, сборку фильтра, установку его в скважине и последующее разомоноличивание в связи с переходом гравийного материала из монолитного состояния в рыхлое вследствие приобретения минераловязущим

веществом под воздействием положительных температур пластовых вод реологических свойств воды [65, 67, 69, 70, 95, 97].

Разрабатываемая технология оборудования гравийным фильтром водоприемной части гидрогеологических скважин предназначена для водоносных горизонтов, представленных среднезернистыми, мелкозернистыми, тонкозернистыми и пылеватыми песками.

В работе [38] В.М. Гаврилко пишет, что: „В зимних условиях блоки цементируются водой способом замораживания”, т.е. с использованием естественного холода. Проведенные А.К. Судаковым исследования процесса омоноличивания, сборки и транспортировки замороженного гравия доказали невозможность применения на практике данного предложения.

В прозрачном макете ствола скважины имитировался процесс транспортировки замороженного гравийного блока. А.К. Судаковым доказано, что при контакте замороженного гравийного блока с водной средой происходит его растепление, влекущее за собой быстрое его разрушение (на первых метрах спуска), что делает невозможным доставку его в исходном состоянии к водоприемной части скважины.

Поэтому А.К. Судаковым предлагается в качестве вяжущего использовать водный раствор органического полимера.

Выбор вяжущего вещества криогенной технологии оборудования водоприемной части буровой скважины и гравийного фильтра является одним из важнейших их элементов.

Вяжущее вещество должно отвечать следующим требованиям:

- под действием температуры окружающей среды должно образовывать гель, надежно скрепляющий между собой гранулы композита криогенно-гравийного фильтра;

- быть инертным по отношению к материалу гравийной обсыпки фильтра;

- при замораживании, в процессе транспортировки и сборке фильтра на буровой должно быть достаточно прочным;

- в процессе транспортировки по стволу скважины не взаимодействовать и быть инертным по отношению к окружающей среде;

- при длительном гидродинамическом воздействии и положительных температурах окружающей среды приобретать реологические свойства воды;

- быть экологически чистым, недефицитным и иметь невысокую стоимость и др.

В буровой практике в качестве структурообразующих добавок нашли широкое применение полимеры, такие как гипан, крахмал, полиакриламид, КМЦ, ССБ, КССБ и др. Известно, что при их концентрации в буровом растворе свыше 1 – 5 % необратимо образуют достаточно крепкий гель или студень, который трудно разрушается. Такие вещества, как натриевое жидкое стекло, галун, хлористый кальций, квасцы – агрессивны, а последние ядовиты (в состав квасцов входят мышьяк, тяжелые металлы). Tylose, пектин, протопектин, агар-агар – дефицитны, имеют сравнительно высокую стоимость, чувствительны к температурной обработке.

На наш взгляд, полнее всего вышеприведенным требованиям отвечает желатин.

Желатин [106, 138] – продукт переработки коллагена, распространенного в природе белкового вещества, образующего главную составную часть соединительной ткани хребетных животных, особенно в коже, оссеине костей и в сухожилиях. По аминокислотному и элементарному составу желатин близок к коллагену. Самые главные компоненты: глицин (27 %), пролин (16 %), оксипролин (14 %), глютаминовая кислота (12 %), аргинин (9 %), лизин (5 %). Лучшие сорта желатина слабо окрашены в желтый цвет. Благодаря наличию в желатине кислых (карбоксильных) и основных (амино-) групп он имеет амфотерный характер. Желатин, полученный "щелочным" способом, имеет изоэлектрическую точку при $pH = 4,8 - 5,1$, а полученный "кислотным" способом – при $pH = 9$.

Желатин набухает в воде и при нагревании растворяется. При охлаждении водного раствора желатин образует студень (гель), который при нагревании принимает реологические свойства воды. Температура студнеобразования и прочность студня зависит от концентрации желатина в водном растворе и качества желатина. Основными критериями качества желатина является вязкость раствора, прочность студня, температура его плавления и студнеобразования.

В концентрированных растворах некоторые вещества (например, роданистый калий, бензолсульфонат натрия и др.), входящие в состав желатина, растворяются в холодной воде. Эти же вещества препятствуют образованию студня. Под действием дубителей желатин теряет способность набухать в воде и растворяться.

Основным сырьем для производства желатина служат кости крупного рогатого скота, отходы кожного производства (обрезки шкур, мездра) и сухожилия. В Японии для этой цели с недавнего времени применяют отходы китобойного промысла, также содержащие коллаген, и морские водоросли. Желатин может быть получен из кожи, чешуи рыб и т.д. Такой желатин, однако, дает слабый студень и используется только как клей.

В зависимости от степени чистоты и качества различают фотографический, пищевой и технический желатин. Первый применяют в производстве фото- и киноплёнок, фотопластинок и фотобумаги. Пищевой желатин используют в кулинарии, в кондитерском деле, в виноделии и пивоварении; технический – в бумажной, полиграфической и в других отраслях промышленности. Желатин применяется также в медицине, как кровоостанавливающее средство, и как питательная среда для культивирования бактерий.

В виду того, что желатин давно используется в разных отраслях промышленности, его свойства достаточно хорошо известны.

Анализ литературных источников [28, 30, 54, 121, 125, 131] позволил определить теплофизические параметры компонентов криогенно-гравийного фильтра и сделать вывод о незначительных изменениях его свойств при

введении в качестве вяжущего вещества желатина в количестве 5 % к массе жидкости [30].

Для реализации предлагаемой комбинированной технологии, но с использованием искусственного холода, необходимо выполнить следующие технологические операции (табл. 4.33): изготовить на дневной поверхности криогенно-гравийные элементы (КГЭ) фильтра блочной конструкции, в условиях буровой провести сборку, доставить криогенно-гравийный фильтр (КГФ) по стволу скважины в водоносный горизонт и привести его в рабочее состояние [65, 67, 69, 70, 95, 97].

В табл. 4.33 приведены технологические операции и варианты их осуществления.

Изготовление цилиндрически-полых элементов КГФ согласно предложенной технологии возможно: 1) в стационарных условиях предприятия; 2) в процессе его транспортировки на буровую; 3) на буровой.

1) Подготовка формы к изготовлению КГЭ фильтра. Высота КГЭ 6, а следовательно, и высота цилиндров 5, 7, 8 (рис. 4.75) подбирается исходя из предельного веса КГЭ и условия его прочности, удобства изготовления и сборки КГФ. Предельный вес КГЭ зависит от его геометрических размеров – высоты H и радиального размера δ , то есть толщины гравийной обсыпки.

Для формирования единичного блока КГЭ фильтра 6 используются соответственно цилиндры 5, 7 и 8, которые изготавливаются из поливинилхлоридной трубы. Внешний цилиндр 5 состоит из двух половин соединенных между собой хомутом 4.

Таблица 4.33 - Технология оборудования водоносных горизонтов криогенно-гравийными фильтрами

Технологические операции	Возможные способы осуществления операций
Изготовление КГЭ	В стационарных условиях на базе предприятия
	В процессе транспортировки на буровую
	На буровой
Сборка рабочей части фильтра	В стационарных условиях на базе предприятия
	На буровой
Спуск КГФ в скважину	На колонне бурильных труб
	На колонне надфильтровых труб
	На тресе
	Под действием сил гравитации
Посадка КГФ	В раскрытый водоносный горизонт с проектным диаметром водоприемной части
	В пилот-скважину с одновременным доведением до проектного диаметра водоприемной части
	С одновременным вскрытием водоносного горизонта и посадкой фильтра

Все элементы формы устанавливаются на горизонтальную поверхность 2 с кольцевыми ограничителями как для внешней формы 1, так и для элементов изготовления полости 3.

2) Подготовка гравийного материала. Этот процесс включает распределение гравийного материала на фракции по гранулометрическому составу.

3) Подготовка минераловяжущего вещества. В качестве минераловяжущего вещества используется водный раствор желатина, который изготавливается согласно [54]. Желатин марки П-11 является пригодным к использованию и не нуждается в предварительной его подготовке.

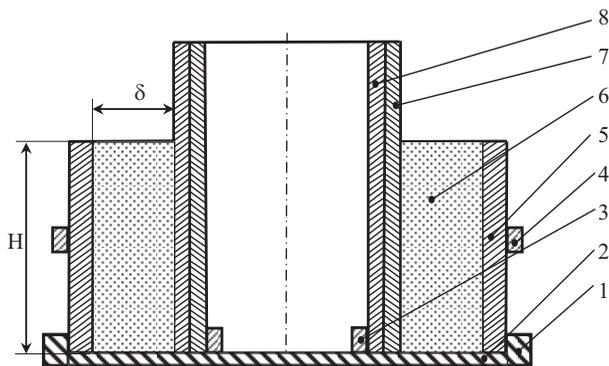


Рисунок 4.75 - Схема формы для изготовления КГЭ фильтра

H - высота гравийной обсыпки; δ - толщина гравийной обсыпки

1- ограничитель внешнего цилиндра; 2 - основание формы; 3 - ограничитель внутренних цилиндров; 4 - соединительный хомут; 5 - внешний цилиндр;

6 - криогенно-гравийный элемент фильтра; 7 - внутренний разрезной цилиндр;

8 - внутренний сплошной цилиндр

4) Подготовка гравийно-минераловяжущей смеси для изготовления КГЭ фильтра. Смесь гравийного материала и минераловяжущего вещества для изготовления КГЭ фильтра может изготавливаться с разными концентрациями минераловяжущего вещества.

В табл. 4.34 приведенные массы веществ, необходимых для изготовления секции КГЭ фильтра.

Таблица 4.34 - Масса веществ необходимых для изготовления КГЭ фильтра

Песок, г	Желатин, г	Вода, мл	Весовая концентрация желатина в воде, %
5000	60	1140	5
5000	120	1080	10
5000	180	1020	15
5000	240	960	20
5000	300	900	25

Процесс перемешивания компонентов КГЭ проводится в следующей последовательности:

1. Гравийный материал нужной фракции высыпается в емкость;
2. Добавляется минераловязущее вещество;
3. Все перемешивается миксером до получения однородной массы;
4. Полученная масса выдерживается 20 – 30 минут до ее загустевания, после чего проводится процесс формирования КГЭ фильтра.

5) Формирование КГЭ фильтра. Формирование КГЭ фильтра проводится следующим образом:

1. В радиальное пространство формы КГЭ фильтра между внешним цилиндром 5 и внутренним цилиндром 7 заливается гравийно-минераловязущую смесь.

2. Форма устанавливается на вибростенд и проводится вибрационное уплотнение смеси в течение 5 мин.

3. После отключения вибростенда форма дополняется недостающим количеством смеси и опять включается вибростенд на 5 мин. Процесс повторяется до тех пор, пока форма полностью не будет заполнена смесью.

6) Омоноличивание КГЭ фильтра по криогенной технологии осуществляется в морозильной камере при температуре -16°C в течение 24 часов.

7) Извлечение КГЭ фильтра из форм выполняется в несколько этапов:

1. Из формы удаляется центральный цилиндр 8;

2. Удаляется цилиндр 7;

3. С внешнего цилиндра 5 снимаются хомуты 4, стягивающие обе его половины, которые отделяются от элемента фильтра 6.

7) Оценка качества изготовленного КГЭ фильтра.

После извлечения КГЭ фильтра из формы проводится его визуальная оценка качества.

Оценка качества проводится на предмет отсутствия в элементе раковин (каверн), трещин, зияющих пустот (рис. 4.76). Наличие таких недостатков изготовления элемента недопустимо.

Схема рабочей части гравийного фильтра приведена на рис. 4.77.

После сборки КГФ осуществляется его транспортировка на колонне бурильных труб по стволу скважины. При этом время транспортировки условно можно разбить на: t_{cm} – время транспортировки по стволу скважины до статического уровня на глубину h_{cm} ; $t_{o,cv}$ – время транспортировки КГФ в водной среде на остаток длины свечи; t_u – время наращивания бурильной колонны; t_{cv} – время спуска одной свечи в водной среде, где l_{cv} – длина свечи (рис. 4.78).

При выявлении таких недостатков изготовления КГЭ отбраковывается.

На протяжении времени $t_{об}$, необходимого для осуществления всех технологических операций, блоки КГФ должны обладать достаточной механической прочностью и, исходя из рис. 4.82, его можно определить как

$$t_{об} = \sum t_u + \sum t_{cv} + t_{cv} + t_{cm} + t_{o,cv}, \quad (4.42)$$

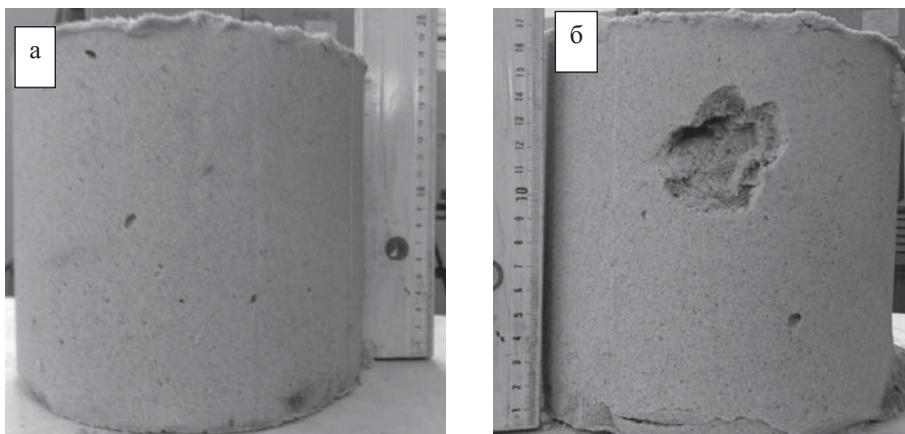


Рисунок 4.76 - Пример качественного (а) и некачественного (б) формирования КГЭ

где $\sum t_n$ – суммарное время наращивания бурильной колонны; $\sum t_{cb}$ – суммарное время спуска бурильной колонны; t_{cb} – время сборки блочного фильтра.

В свою очередь

$$\sum t_n = t_n n_n, \quad (4.43)$$

$$\sum t_{cb} = t_{cb} n_{cb}, \quad (4.44)$$

где n_n – число операций по наращиванию колонны бурильных труб; n_{cb} – количество свечей в колонне.

Для успешного выполнения работ по оборудованию водоносного горизонта необходимо, чтобы время разрушения КГФ $t_{КГФ}$ превосходило время оборудования фильтром водоносного горизонта $t_{об}$, т.е. должно выполняться условие

$$t_{КГФ} > t_{об}. \quad (4.45)$$

В свою очередь $t_{КГФ}$ зависит от рецептуры КГФ. Ее подбор должен осуществляться с учетом конкретных геолого-гидрогеологических условий бурения скважин. Для успешного выполнения операций по оборудованию скважины КГФ $t_{КГФ}$ должно быть не менее $k t_{об}$:

Наиболее часто на практике используют два основных вида гравийных фильтров: опускные, которые собраны на поверхности земли с последующей установкой их в скважинах в готовом виде, и создаваемые в скважине с помощью гравия, который засыпается в скважину по межколонному

пространству. Поэтому в качестве базы сравнения при анализе технико-экономических показателей технологий выбран второй способ. При этом рассматриваются два варианта сборки криогенно-гравийного фильтра, отличающихся местом сборки (табл. 4.35).

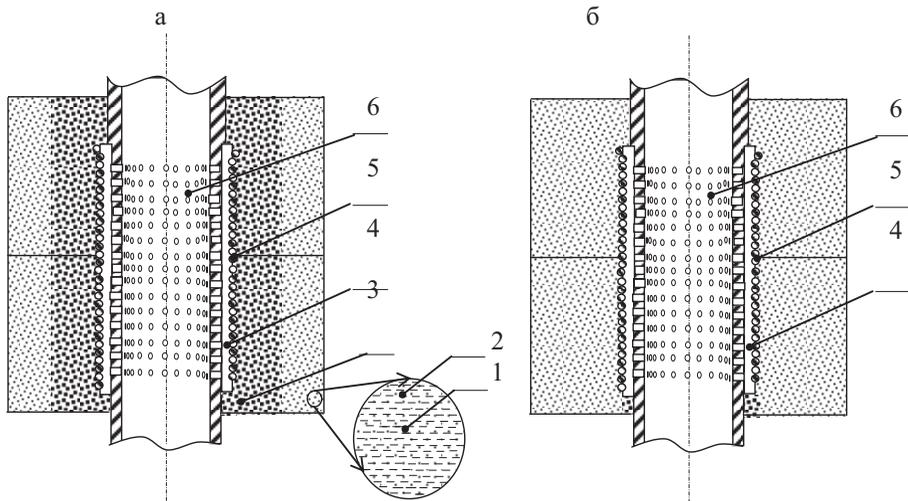


Рисунок 4.77 - Схема рабочей части гравийного фильтра

а - многослойный фильтр в сборе; б - однослойный фильтр в сборе

- 1 - материал внешнего слоя гравийной обсыпки; 2 - минераловязущий материал;
- 3 - материал внутреннего слоя гравийной обсыпки; 4 - подкладные прутки; 5 - проволоочная обмотка; 6 - трубчатый каркас фильтра

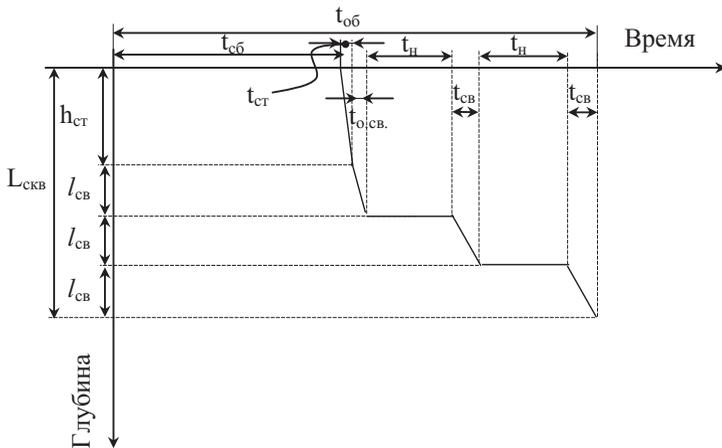


Рисунок 4.78 - Баланс времени, затрачиваемого на оборудование скважины КГФ

$$t_{КГФ} \geq k t_{об}, \quad (4.46)$$

где k – коэффициент запаса времени.

Применение нетрадиционной технологии оборудования буровых скважин гравийным фильтром позволит:

- уменьшить расход гравийного материала и времени на его транспортировку к водоносному горизонту;
- избежать зависания гравийного материала при его транспортировке по стволу скважины;
- улучшить качество гравийных фильтров за счет формирования при визуальном контроле на дневной поверхности КГЭ, а при необходимости легко и доступно создание многослойной обсыпки с заданными параметрами;
- устранить вероятность образования зияющих пустот;
- снизить вероятность пескования;
- результатом применения данной технологии станет сокращение непроизводительных затрат времени и средств при улучшении качества работ.

При этом скважина будет оборудована гравийным фильтром с заданными и неизменными при транспортировке и установке в водоносный горизонт геометрическими и гидравлическими параметрами.

4.3.3.4. Технология создания гравийно-опускного манжетного фильтра

Предложенные авторами выше описанные технологии и конструкции гравийных фильтров наряду с их преимуществами по сравнению с традиционными, имеют недостатки, одним из которых является трудоемкость технологического процесса изготовления и оборудования водоприемной части буровой скважины гравийным фильтром. Для устранения данного недостатка, А.А. Кожевниковым предлагается в производственных условиях для оборудования водоприемной части буровых скважин применять манжетную технологию. Схема оборудования водоприемной части буровых скважин приведена на рис. 4.79.

Каркас фильтровой колонны в нижней части содержит отстойник повышенного контура 1.

В настоящее время компоновка фильтровой колонны осуществляется путем выбора диаметра рабочей части фильтра с присоединением к ней в нижней части отстойника и к верхней надфильтровой части (рис. 4.80) [5, 36].

Диаметры отстойника d_o и надфильтровой трубы d_n обычно равны диаметру рабочей части фильтра $d_{рч}$ или его каркаса:

$$d_o = d_{рч} = d_n, \quad (4.47)$$

при этом диаметр фильтра:

$$d_{рч} = d_{вг}^6 - 100, \text{ мм}, \quad (4.48)$$

где $d_{вг}^6$ – диаметр скважины в пределах водоносного горизонта.

При установке фильтра впотай длина надфильтровой трубы должна быть такой, чтобы верхняя часть ее находилась выше башмака обсадной колонны на 3 – 5 м.

Таблица 4.35 - Качественный анализ технико-экономических показателей технологий создания гравийных фильтров в гидрогеологических скважинах

Затраты времени и средств	Существующая технология	Предлагаемая технология		Примечание
		Изготовление криогенно-гравийного фильтра на буровой	Изготовление криогенно-гравийного фильтра на базе предприятия	
1. Перевозка гравия с месторождения на базу предприятия	0	0	0	Затраты равноценны
2. Хранение гравия на базе предприятия	0	0	0	Затраты равноценны
3. Изготовление КГЭ	+	-	-	По существующим технологиям работы с гравием не осуществляются. По предлагаемым технологиям необходимо изготовление КГЭ за время пребывания гравия на базе. Возможно использование отсева для собственных нужд.
4. Перевозка гравия (КГФ) и фильтровой колонны с базы на буровую	-	+	+	Снижение затрат на транспортировку за счет уменьшения расхода гравия
5. Сборка каркаса фильтровой колонны (или КГФ) в условиях буровой	+	+	-	Увеличение времени сборки за счет монтажа КГЭ на каркасе фильтровой колонны
6. Доставка фильтровой колонны (КГФ) в водоприемную часть скважины	0	0	0	Затраты равноценны
7. Доставка гравийного материала в водоприемную часть скважины	-	X	X	В предлагаемой технологии операция отсутствует
8. Отсоединение средств доставки и приведение гравийного фильтра в рабочее состояние	0	0	0	Затраты равноценны
9. Время, затрачиваемое на освоение гидрогеологической скважины	-	+	+	Существенное снижение временных затрат за счет повышения качества гравийной обсыпки
10. Расход гравийного материала	-	+	+	Снижается на 30-50% за счет предварительного фракционирования при изготовлении КГФ на базе предприятия.
11. Эксплуатационные характеристики гидрогеологических скважин	-	+	+	За счет повышения качества гравийной обсыпки увеличение срока службы скважин

Примечание: + - снижение материальных затрат; - увеличение материальных затрат;

X – операция отсутствует.

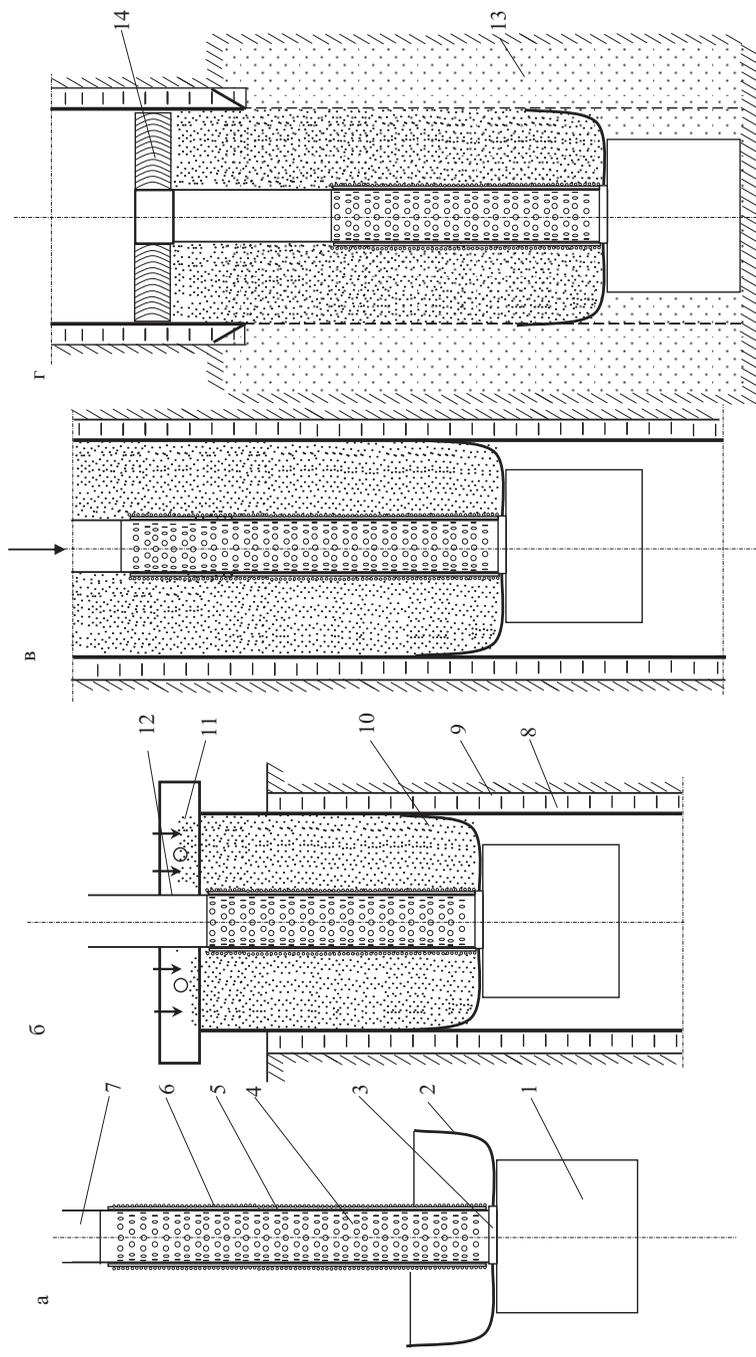


Рис. 3.79. Схема технологии оборудования гравийным фильтром водоприемной части скважины

а – фильтровая колонна в сборе; б – формирование гравийного фильтра на устье скважины; в – транспортировка гравийного фильтра по столбу скважины; г – гравийный фильтр в рабочем состоянии;

1 – отстойник повышенного контура; 2 – манжета; 3 – хомут манжеты; 4 – рабочая часть фильтровой колонны; 5 – подкладные прутки; 6 – провололочная обмотка; 7 – надфильтровая колонна; 8 – цементный камень; 9 – эксплуатационная колонна; 10 – гравийная обсыпка фильтра; 11 – хомут; 12 – муфта фильтровой колонны; 13 – порода водоносного горизонта; 14 – сальник

Длину отстойника, как правило, принимают равной 1 – 2 м.

Отстойник необходим для сбора твердых примесей, прошедших через рабочую часть фильтра. Объем отстойника определяет межремонтный период скважины.

Авторами предлагается усовершенствование конструкции фильтровой колонны, предназначенной для оборудования водоносного горизонта гидрогеологических скважин питьевого и хозяйственного водоснабжения.

В этой связи ими [98] предлагается к использованию в скважинах усовершенствованная фильтровая колонна с отстойником повышенного контура (рис. 4.81).

В основу положена идея снижения вероятности деформации фильтрующей поверхности и увеличения сроков межремонтного периода за счет применения нетрадиционной компоновки фильтровой колонны с максимально возможным объемом отстойника при сохранении его длины. При этом, выбор диаметра отстойника осуществляется исходя из следующего соотношения:

$$d_o^{нк} = d_{вг}^6 - (1 - 20), \text{ мм.} \quad (4.49)$$

Тогда

$$d_o^{нк} > d_o^7 + (99 - 80), \text{ мм.} \quad (4.50)$$

Применение данной компоновки позволит:

- при спуске фильтровой колонны обеспечить ее центрирование в скважине, снижение вероятности деформации и нарушения сплошности проволочной обмотки, сетки, кожуха, срезание кольцевым башмаком отстойника неровностей со стенок скважины;
- при монтаже фильтра в водоносном горизонте сократить объем расходуемого гравийного материала;
- при эксплуатации фильтра увеличить объем отстойника, т.е. увеличить объем для сбора твердых примесей, увеличить сроки межремонтного периода.

Нетрадиционная компоновочная схема фильтровой колонны, обеспечивающая увеличение сроков межремонтного периода, снижение объема гравийного материала, устранение деформации сетчатых, проволочных каркасов, соосное расположение фильтровой колонны и скважины, в итоге улучшит качество сооружаемой скважины и ее эксплуатационные характеристики.

К верхней части отстойника повышенного контура 1 присоединена фильтровая колонна 4, к которой присоединены подкладные прутки 5. На их внешнюю поверхность наматывается в условия мастерских проволочная обмотка 6 с ее выборочной фиксацией. В нижней части к фильтровой колонне 4 хомутом 3 крепится манжета 2, выполненная в виде чашеобразной формы из брезента. Ее диаметр в рабочем положении должен превосходить на 50–100 мм внутренний диаметр эксплуатационной колонны.

В верхней части фильтровой колонны 4 находится надфильтровая колонна 7. При установке фильтра впопай длина надфильтровой трубы должна быть такой, чтобы верхняя часть ее находилась выше башмака обсадной колонны не

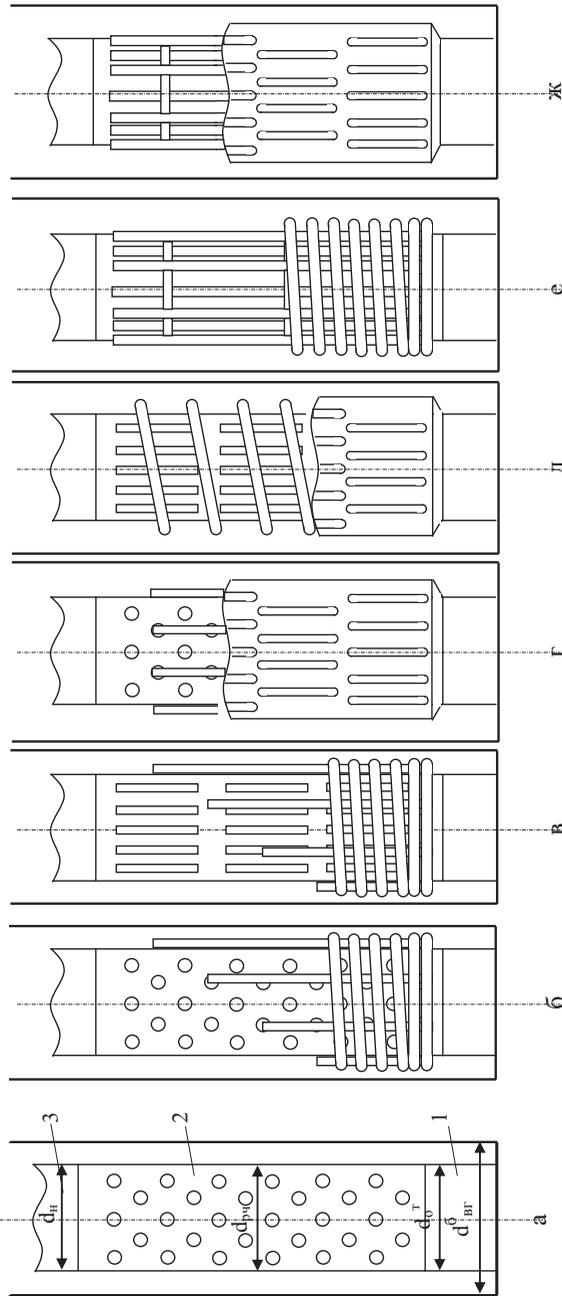


Рис. 3.80. Схемы фильтров

- а – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией;
- б – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки;
- в – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки;
- г – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
- д – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
- е – стержневой фильтр с проволоочной обмоткой;
- ж – стержневой фильтр с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
- 1 – отстойник; 2 – трубчатый каркас фильтра; 3 – надфильтровая труба

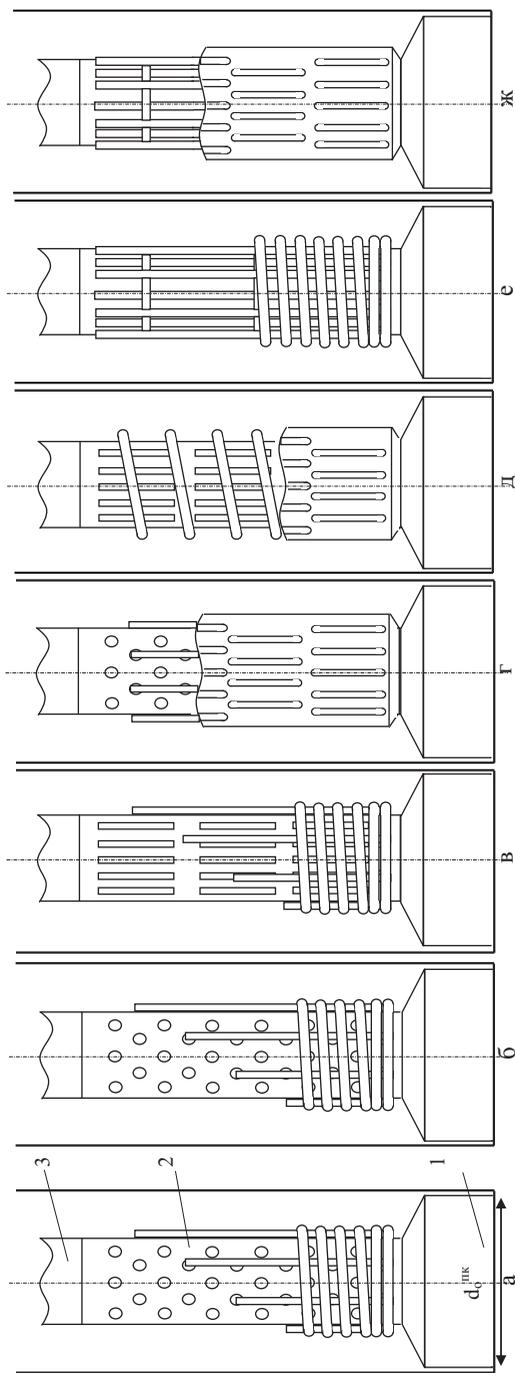


Рис. 3.81. Фильтры с отстойником повышенного контура

- а – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией;
б – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки;
в – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволоочной обмотки;
г – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
д – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
е – стержневой фильтр с круглой перфорацией;
ж – стержневой фильтр с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
1 – отстойник повышенного контура; 2 – трубчатый каркас фильтра; 3 – надфильтровая труба

менее, чем на 3 м при глубине скважины до 30 м и не менее, чем на 5 м при большей глубине скважины. Операции по оборудованию водоприемной части буровых скважин производят в следующем порядке:

а) Собирают фильтровую колонну. Для этого на нижнюю часть каркаса фильтра одевают манжету и фиксируют хомутом, присоединяют отстойник.

б) Устанавливают фильтровую колонну в устье скважины (рис. 4.79, б). При этом манжета должна быть расправлена. К выступающей из скважины фильтровой колонне в ее глухой части крепят хомут, который будет удерживать фильтровую колонну на устье скважины.

в) В устье скважины изготавливают гравийный фильтр (рис. 4.79, б). При этом верхнюю ее часть поддерживают талевой системой. Гравийный материал засыпают в штатное место, в нижней части которое ограничено манжетой 2. По окончании доставки и уплотнения гравия фильтровую колонну приподымают над устьем и ослабляют хомут 11. При необходимости наращивают фильтровую колонну с доставкой необходимого количества гравийного материала;

г) Транспортировка гравийного фильтра по стволу скважины (рис. 4.79, в). Осуществляется на колонне буровых труб, присоединенных к левому переходнику;

д) Приведение гравийного фильтра в рабочее состояние (рис. 4.79, г). Для этого колонну буровых труб отсоединяют от фильтра с последующим ее извлечением из скважины.

е) Положение гравийной обсыпки проверяется щупом, предварительно перекрыв верх надфильтровой трубы конусной переходником, спущенным на буровых трубах. При необходимости осуществляется досыпание гравия;

ж) Кольцевой зазор над гравием перекрывается деревянным сальником.

4.3.3.5. Осложнения и их устранение при создании гравийно-опускных фильтров

Технологии оборудования буровых скважин гравийными фильтрами, создаваемыми на дневной поверхности, предполагают: изготовление гравийного фильтра; последующую его доставку на буровую и транспортировку по стволу скважины до водоприемной ее части; оборудование гравийными фильтрами водоприемной части скважины; приведение фильтра в рабочее состояние.

К таким фильтрам относят корзинчатые, кожуховые и блочные фильтры, применение которых имеет ряд существенных недостатков. Эти недостатки носят конструктивный характер.

Корзинчатые и кожуховые фильтры имеют повышенное гидравлическое сопротивление. В процессе эксплуатации из-за электрохимической реакции кожуховые фильтры склонны к быстрому зарастанию. Кроме того, при спуске они деформируются, что приводит к образованию неравномерного по толщине гравийного слоя, а иногда и к формированию открытых каналов и пустот.

У фильтров блочного типа гравийная обсыпка связана различными вяжущими веществами. Такие блоки одевают на опорные перфорированные каркасы и опускают в скважину в готовом виде.

На сегодняшний день выявлены причины неудовлетворительной работы фильтров блочного типа:

Введение склеивающих веществ в массу гравия приводит к образованию тупиковых пор (рис 4.82), в связи с чем в блоках задерживаются мелкие частицы водоносных пород, что резко повышает входные сопротивления в фильтрах и снижает производительность скважин. Это особенно резко проявляется в фильтрах, изготовленных из мелкого гравия и песка.

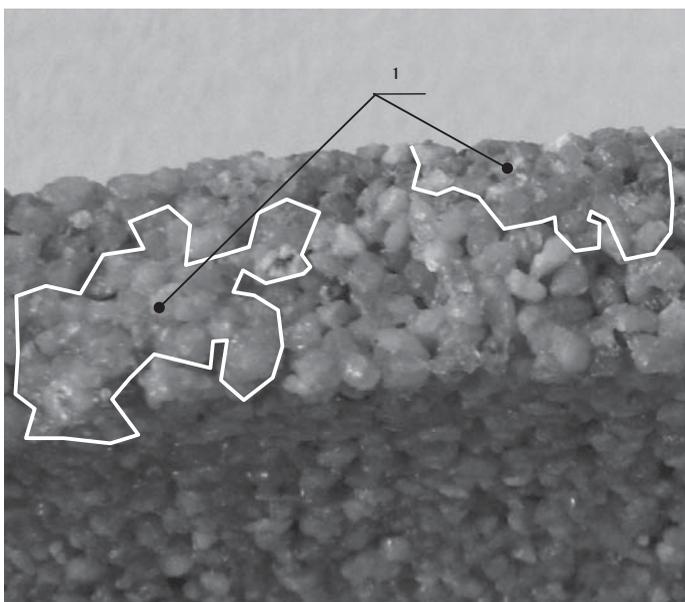


Рисунок 4.82 - Разрез гравийной обсыпки блочного фильтра фирмы «ПРОЙССАГ»

1 - эпоксидная смола, зона тупиковой пористости

Отложение механического и химического кольматантов на внешней поверхности фильтров и химического кольматанта на внутренней поверхности (вследствие проникновения продуктов коррозии, образующихся при разрушении стальных опорных каркасов) приводит к снижению пропускной способности фильтров.

Скважины, оборудованные фильтрами блочного типа по сравнению со скважинами оборудованными фильтрами с рыхлой гравийной обсыпкой, менее производительны и менее устойчивы к процессам химического зарастания и кольматажа. Фильтры блочного типа при восстановлении производительности скважин с помощью взрыва детонирующего шнура

разрушаются. При кислотных обработках гравийных фильтров с использованием клея БФ-2 и БФ-4 резко понижается механическая прочность блоков. При кислотных обработках фильтров блочного типа (керамических и клеевых) восстановление производительности менее эффективно по сравнению со скважинами, оборудованными фильтрами с рыхлым контуром гравийной обсыпки.

Значительные повреждения при перевозках. В некоторых организациях бой фильтров достигал 40 – 60 %. При установке фильтров в зимнее время наблюдались повреждения блоков вследствие замерзания и расширения воды в порах.

4.4. Бесфильтровые скважины

Для эксплуатации водоносных песков с достаточно прочными породами кровли мощностью не менее 2 – 3 м целесообразно применять долговечные и надежные бесфильтровые скважины (рис. 4.83). При достижении такого водоносного горизонта в скважине устанавливают эксплуатационную колонну с цементованием затрубного пространства. Путем откачки песчаной пульпы из-под кровли водоносного горизонта создается водоприемная воронка, являющаяся рабочей частью бесфильтровой скважины.

Расчет бесфильтровой скважины проводится с целью определения размеров полости, обеспечивающей необходимую пропускную способность, и выяснения устойчивости кровли сформированной полости.

Проектный дебит (Q , м³/ч) бесфильтровой скважины ориентировочно может быть подсчитан по формуле:

$$Q = \frac{\pi \cdot R \cdot V_{\phi}}{\cos \alpha}, \quad (4.51)$$

Где R – радиус полости, м;

V_{ϕ} – скорость фильтрации, м/ч;

α – угол естественного откоса, $\alpha \approx 20 \div 25^{\circ}$ (свободная поверхность откоса рыхлой горной породы сохраняет свой наклон под некоторым углом к горизонтальной плоскости, называемым углом естественного откоса).

Скорость фильтрации:

$$V_{\phi} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot k(1 - \Pi) \cdot (\rho_n - 1), \quad (4.52)$$

где: $\eta_1 = 0,7 \div 0,8$ – коэффициент запаса; η_2 – коэффициент, учитывающий уменьшение скорости фильтрации в зависимости от угла естественного откоса песка, для мелкозернистого песка $\eta_2 = 0,9$, для среднезернистого $\eta_2 = 0,8$, для крупнозернистого $\eta_2 = 0,74$; k – коэффициент фильтрации, м/сут; $\Pi \approx 0,3 - 0,4$ – пористость песка; ρ_n – относительная плотность пород водоносного пласта.

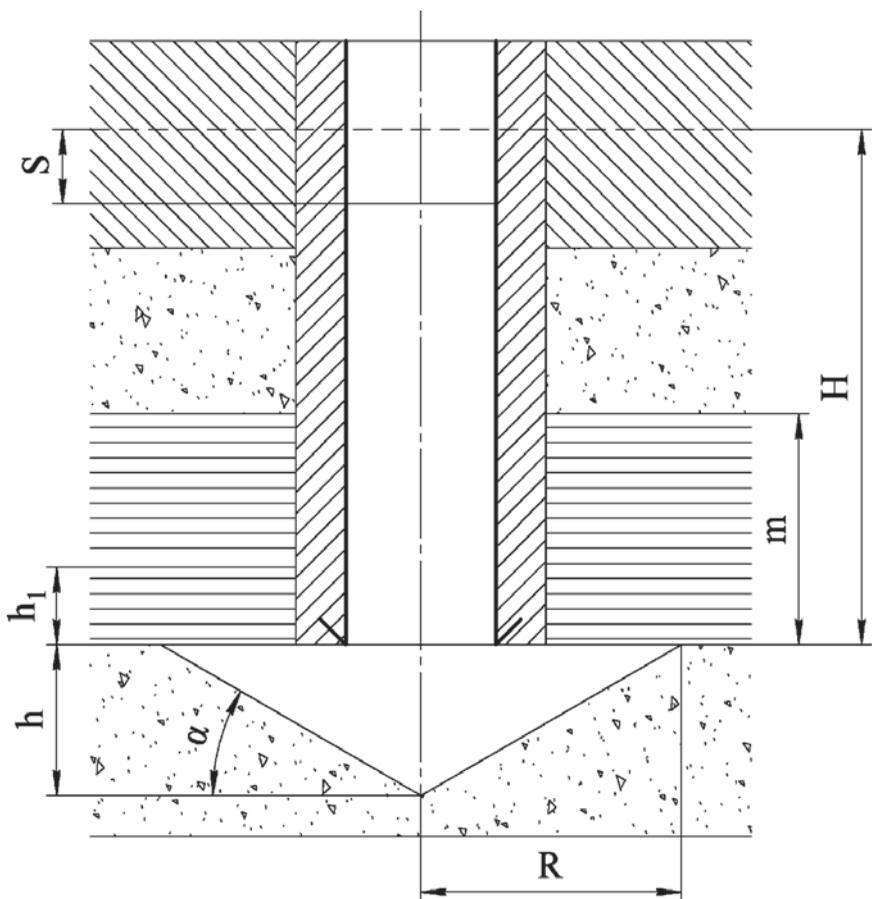


Рисунок 4.83 - Бесфильтровая скважина

Радиус полости:

$$R = \sqrt{\frac{24 \cdot Q \cdot \cos \alpha}{\pi \cdot V_{\phi}}} \quad (4.53)$$

Устойчивость пород кровли определяются следующим образом:

$$h_1 = \frac{R}{f}, \quad (4.54)$$

где h_1 – высота свода естественного равновесия пород кровли, м;

f – коэффициент крепости пород ($f = \frac{\sigma_{сжс}}{100}$);

$\sigma_{сжс}$ – предел прочности породы на одноосное сжатие (даН/см²).

Породы кровли обрушаться не будут, если давление воды на непроницаемую кровлю будет больше давления столбика породы в пределах свода естественного равновесия:

$$h_1 \cdot \rho_k < (H - S) \cdot \rho_g, \quad (4.55)$$

где H – превышение статического уровня воды над кровлей водоносного горизонта, м;

S – понижение уровня при откачке, м;

ρ_k – относительная плотность пород кровли ($\rho_k = 2.5 - 3$);

ρ_g – относительная плотность воды $\rho_g = 1$.

Учитывая (4.54) и (4.55), условие устойчивости можно представить в виде

$$R < \frac{(H - S) \cdot f}{\rho_k}. \quad (4.56)$$

Дополнительным условием устойчивости пород кровли является условие:

$$h_1 \leq 0,75 \cdot m, \quad (4.57)$$

где m – мощность устойчивых пород кровли, м.

Если неравенства выполняются, породы кровли (в случае их непроницаемости) не обрушаются, то бесфильтровую скважину проектировать можно.

После цементирования эксплуатационной колонны продолжают бурение в пределах водоносного слоя на глубину 1,5 – 2 м от кровли, после чего начинают разработку полости.

Формирование водоприемной полости производится эрлифтной откачкой с помощью компрессора, либо водоструйным насосом. На первом этапе откачки, во избежание образования песчаных пробок, в скважину опускается колонна труб, по которой подается вода от бурового насоса, входящего в комплект буровой установки. После разработки каверны в зоне пласта подача воды прекращается.

При сдаче скважины в эксплуатацию производительность водозабора должна быть меньше производительности при опытной откачке в 1,3 – 1,5 раза.

В пылеватых и тонкозернистых песках, а также в случае недостаточно устойчивой кровли, в водоприемную воронку может быть засыпан гравий.

Пример 5:

Дано: порода кровли сложена глинистыми сланцами, $f = 2,0$, $\rho_k = 2,9$; мощность кровли $m = 15$ м; пьезометрический напор пласта $H = 50$ м; максимальное понижение $S = 15$ м; водоносный пласт сложен мелкозернистыми песками, $\alpha = 20^\circ$, $k = 6$ м/сут; $\rho_n = 2,3$ – относительная плотность песка; $Q = 100$ м³/ч.

Решение:

Скорость фильтрации:

$$V_g = 0,7 \cdot 0,9 \cdot 6(1 - 0,4) \cdot (2,3 - 1) = 2,95 \text{ м/сут.};$$

Радиус полости бесфильтровой скважины:

$$R = \sqrt{\frac{24 \cdot 100 \cdot 0,9}{\pi \cdot 2,95}} = 15,3 \text{ м.}$$

Условия устойчивости:

$$h_1 = \frac{15,3}{2} = 7,6 \text{ м.}$$

$$15,3 < \frac{(50-15) \cdot 2}{2,9}; \quad 0,75 \cdot m = 0,75 \cdot 15 = 11,2 \text{ м;}$$

$$15,3 < 24. \quad 7,6 < 11,2.$$

Условия устойчивости кровли выполняются, поэтому проектировать бесфильтровую скважину можно.

ГЛАВА 5

Освоение водоносных горизонтов, раскольматация пласта

5.1. Причины кольматации

Под освоением водоносного пласта следует понимать технологические операции, обеспечивающие оборудование водоприемной части скважины и восстановление естественной водоотдачи пласта или искусственное увеличение ее объема для достижения максимального дебита скважины.

При освоении зачастую требуется раскольматировать пласт.

Кольматация (кольматаж) – процесс естественного и искусственного вымывания мелких (главным образом глинистых и коллоидных) частиц в поры и трещины горных пород. Кольматация приводит к ухудшению фильтрационных свойств пород. Различают кольматацию механическую, химическую, термическую и биологическую.

Раскольматация (декольматаж) – процесс, обратный кольматации.

В скважинах на воду кольматации в основном способствуют следующие факторы:

- шлам бурового раствора;
- частички глины пропластков разреза;
- соли Mg, Ca, Fe, образовавшиеся в результате химических реакций бурового раствора с водами пласта.

Глинистый раствор является сильнейшим кольматантом в связи с тем, что частички глины, проникая в поры и трещины пласта, набухают и вызывают снижение проницаемости пласта и соответственно дебита скважины.

После оборудования приемной части скважины фильтровой колонной (а в некоторых случаях, в скальных породах, водоносный пласт оставляют без фильтра) приступают к освоению скважины. Операции освоения скважины сводятся к восстановлению естественных свойств пласта, то есть к различным способам и приемам очистки коллекторов водоносных пластов от твердых частиц, связанных с процессом бурения.

Операции по восстановлению проницаемости прифильтровой зоны заключаются в удалении глинистого раствора, бурового шлама и закольматированной породы пласта. Это достигается путем создания в прифильтровой зоне давления, ниже пластового, для чего используются различные методы откачки.

Откачка воды является обязательной операцией при освоении скважин. При откачке воды на фильтр и прилегающий водоносный пласт воздействует поток воды, поступающий через водоприемную поверхность внутрь скважины при создании в ней пониженного давления с помощью эрлифта, водоструйного насоса, скважинного центробежного насоса или другого водоподъемного средства.

Откачка является наиболее эффективным методом расколматации после обработки скважины другими методами, вызывающими нарушение структуры связей в закольматированной породе, разрушение и диспергирование глинистой корки.

Очистка коллекторов, пор пласта должна начинаться немедленно после установки фильтра.

Обязательная промывка скважины осуществляется через фильтр водой. Продолжительность промывки зависит от глубины и диаметра скважины и составляет от 2 до 24 часов. Затем необходимо обязательное откачивание при помощи эрлифта или погружного центробежного насоса. Продолжительность и тип откачки зависит от состава водоносного пласта, динамического уровня. Возможно также чередование циклов откачки и промывки.

5.2. Откачка эрлифтом

После сооружения скважины обычно производится строительная откачка воздушным водоподъемником (эрлифтом, раздел 5.3) для удаления бурового шлама, глины, мелких фракций песка из прифильтровой зоны. Кроме освоения, эрлифтные откачки могут использоваться для опробования водоносных горизонтов и (редко) эксплуатации скважин, а также при сооружении гравийных фильтров (раздел 2.3; Глава 3) и бесфильтровых скважин (раздел 2.4). В состав эрлифтной установки входят сам эрлифт и компрессор. Работа эрлифта основана на использовании сжатого воздуха, вырабатываемого компрессором. В скважину помещается воздухопроводная труба, идущая от компрессора, на нижнем конце которой устанавливается смеситель – перфорированная труба, плотно опоясанная кожухом. Сжатый воздух по воздухопроводу подводится к смесителю, помещенному под динамический уровень на нужную глубину, и, проходя через отверстия в нижнюю часть водоподъемной трубы, перемешивается с водой, образуя смесь. Плотность смеси меньше плотности воды, поэтому столб пластовой воды снаружи водоподъемной трубы уравнивается столбом воздушно-водяной смеси внутри водоподъемных труб, имеющих большую высоту. При непрерывной подаче воздуха воздушно-водяная смесь выходит на поверхность земли.

При строительной откачке вода содержит большое количество взвешенных примесей, которые выносятся, и вода постепенно осветляется. Минимальный расход воды при строительной откачке должен быть не менее 75 % от расчетного эксплуатационного дебита скважины, а при гидрогеологических исследованиях характеристик водоносного горизонта должен превышать дебит на 30 – 50 %.

При строительной откачке водоподъемные трубы эрлифтной установки опускают в скважину до нижней части отстойника, а смеситель устанавливают выше – на глубине, соответствующей рабочему давлению компрессора. В этом случае проникшая в скважину порода и шлам будут вынесены водой на поверхность земли. Полное освобождение водоносной породы от шлама имеет

особо важное значение при последующем оборудовании скважин центробежными насосами. При недостаточной откачке шлам проникает в насос, что может вызвать его быстрый износ.

Продолжительность строительной откачки зависит от свойств водоносной породы, интенсивности и способа откачки и не может быть заранее точно установлена. Признаками окончания строительной откачки являются полное осветление воды, прекращение выноса из скважины породы и шлама, установившийся режим с производительностью не менее 75 % от расчетной. Во время строительной откачки измеряют динамический уровень и дебит скважины. Обычно по мере осветления воды динамический уровень понижается, а удельный дебит возрастает.

Недостаток разглинизации скважин эрлифтной откачкой заключается в невозможности создания больших перепадов давления в системе водоносный пласт – скважина. Максимальное понижение уровня воды при откачке эрлифтом не может превышать 30 – 50 % от высоты столба воды в скважине. Так, при глубине скважины 100 м, перепад давления будет не более 0,3 – 0,5 МПа. Столь низкий перепад давления не может обеспечить достаточного разрушения продуктов глинизации даже при продолжительной откачке.

Для увеличения эффективности откачки рекомендуется выключать компрессор с одновременным выпуском воздуха из ресивера. При этом за счет перепада давлений в трубах и затрубном пространстве вода с большой скоростью движется вниз, проходит через водоприемную поверхность фильтра и ударяет в стенки скважины. Это способствует лучшей очистке фильтра и обрушению закольматированных стенок скважины.

Расчет эрлифта

Теория работы эрлифта (в нефтегазовом деле – газлифта) достаточно сложна [126], точному общему расчёту эрлифт произвольной конструкции поддается с трудом. По этой причине на практике обычно используют упрощённые методики расчёта его основных параметров.

Важнейшей характеристикой работы эрлифта, используемого при скважинных откачках воды, является коэффициент погружения смесителя под динамический уровень k , иногда называемый коэффициентом загрузки эрлифта, общий диапазон значений которого может лежать в диапазоне от 1,02 до 20. При скважинных откачках воды рациональный диапазон $1,7 < k < 3$. Минимально допустимые значения 1,2 – 1,5: при $k < 1,7$ резко снижается КПД работы эрлифта. При $k > 3$ существенно повышается мощность, затрачиваемая на работу эрлифтной установки.

В геотехнологии и нефтегазовом деле вместо коэффициента погружения смесителя под динамический уровень k применяют производную от k характеристику – относительное погружение смесителя (отношение высоты столба воды над смесителем эрлифта к высоте столба смеси) a [126]:

$$a = 1 - 1 / k. \quad (5.1)$$

Кроме этого, в отличие от скважинных откачек воды, в нефтегазовом деле уровни жидкости в скважине часто указывают в направлении не от устья, а от забоя скважины [126]. Указанные особенности следует учитывать при использовании методик расчёта, разработанных в геотехнологии и нефтегазовом деле для обоснования эрлифтных откачек воды.

Расчет эрлифта [8, 20 – 22, 29, 90, 99, 101 – 103, 110, 126] заключается в определении глубины погружения смесителя, расхода и давления воздуха, а также размеров воздухопроводящих и водоподъемных труб. Исходные данные для расчета (рис. 5.6): глубина статического уровня от уровня излива $h_{ст}$, м; глубина динамического уровня воды от уровня излива h , м; расчетный дебит скважины Q , м³/ч.

Рассмотрим методику расчёта эрлифта в соответствии с работами авторов (И.Д. Бронникова и В.В. Куликова) [21, 22].

Глубина погружения смесителя H (расстояние от центра смесителя до уровня излива смеси на поверхности) зависит от положения динамического уровня:

$$H = k \cdot h, \quad (5.2)$$

где k – коэффициент погружения смесителя эрлифта под динамический уровень, ориентировочно принимается по данным, приведенным в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Рекомендуемые соотношения между значениями глубины динамического уровня и коэффициента погружения смесителя

$h, м$	15	15 – 30	30 – 60	60 – 90	90 – 120
k	3,0 – 2,5	2,5 – 2,2	2,2 – 2,0	2,0 – 1,8	1,8 – 1,6

Гидравлический КПД эрлифта:

$$\eta = (k - 1)^{0,85} / (1,05 \cdot k). \quad (5.3)$$

Удельный расход воздуха V_0 , необходимый для подъема из скважины 1 м³ воды (в м³ воздуха на 1 м³ воды):

$$V_0 = (10 \cdot \eta \cdot \ln((H - h + 10) / 10) / h)^{-1}. \quad (5.4)$$

Полный расход воздуха (м³/мин):

$$W = Q \cdot V_0 / 60, \quad (5.5)$$

где Q – проектный дебит скважины, м³/ч

Давление воздуха при пуске компрессора (МПа):

$$P_{п} = 10^{-6} \cdot \rho_{в} \cdot g \cdot (H - h_{ст} + 2), \quad (5.6)$$

где $\rho_{в}$ = 1000 кг/м³ – плотность воды.

Расход воздушно-водяной эмульсии при изливе (м³/с):

$$q = \frac{Q}{3600} + \frac{W}{60}, \quad (5.7)$$

Площадь внутреннего сечения водоподъемной трубы (в м²) при изливе:

$$F = q / v_2, \quad (5.8)$$

где v_2 – скорость движения эмульсии при изливе (м/с), табл. 5.2.

Таблица 5.2 - Рекомендуемые соотношения между значениями глубины динамического уровня и скорости движения эмульсии при изливе

h , м	20	40	60
v_2 , м/с	6	7 – 8	9 – 10

Внутренний диаметр водоподъемной трубы (м):

$$d = (4 \cdot F / \pi + D_1^2)^{0,5}, \quad (5.9)$$

где D_1 – наружный диаметр воздухопроводных труб в скважине, м (33; 42; 63,5; мм).

Таблица 5.3 - Рекомендуемые наружные диаметры воздухопроводных труб D_1 в зависимости от полного расхода воздуха W

W , м ³ /мин	0,16 – 0,5	0,5 – 1,0	1,0 – 1,7	1,7 – 3,3
D_1 , мм	15 – 20	20 – 25	25 – 32	32 – 40
W , м ³ /мин	3,3 – 6,7	6,7 – 11,7	11,7 – 16,7	16,7 – 26,7
D_1 , мм	40 – 50	50 – 70	70 – 80	80 – 100

Компрессор выбирается по значению подачи W_k и давлению P_k .

Подача компрессора (м³/мин):

$$W_k = 1,2W, \quad (5.10)$$

где 1,2 – коэффициент запаса подачи.

Давление, развиваемое компрессором (МПа):

$$P_k = 1,2 \cdot P_n, \quad (5.11)$$

где 1,2 (1,1 – 1,3) – коэффициент запаса давления.

Пример

Из скважины глубиной 50 м должна быть проведена откачка эрлифтом при следующих условиях: $H = 15$ м; $k = 2,5$; $Q = 25$ м³/ч; $\rho_b = 1000$ кг/м³; $h_{CT} = 3$ м; $v_2 = 6$ м/с.

Решение

1. Глубина погружения смесителя.

$$H = k \cdot h,$$

$$H = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ м.}$$

2. Гидравлический КПД эрлифта.

$$\eta = (k - 1)^{0,85} / (1,05 \cdot k),$$

$$\eta = (2,5 - 1)^{0,85} / (1,05 \cdot 2,5) = 0,54.$$

3. Удельный расход воздуха.

$$V_0 = (10 \cdot \eta \cdot \ln((H - h + 10) / 10) / h)^{-1}.$$

$$V_0 = (10 \cdot 0,54 \cdot \ln((37,5 - 15 + 10) / 10) / 15)^{-1} = 2,36.$$

4. Полный расход воздуха.

$$W = QV_0 / 60,$$

$$W = 25 \cdot 2,36 / 60 = 0,98 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

5. Наружный диаметр воздухопроводных труб.

В соответствии с $W = 0,98 \text{ м}^3/\text{мин}$, принимаем $D_1 = 25 \text{ мм}$.

6. Давление воздуха при пуске компрессора.

$$P_{\text{п}} = 10^{-6} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot (H - h_{\text{ст}} + 2),$$

$$P_{\text{п}} = 10^{-6} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot (37,5 - 3 + 2) = 0,35 \text{ МПа}.$$

7. Расход эмульсии

$$q = \frac{Q}{3600} + \frac{W}{60},$$

$$q = 25 / 3600 + 0,98 / 60 = 0,023 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

5. Площадь внутреннего сечения водоподъемной трубы.

$$F = q / v_2,$$

$$F = 0,023 / 6 = 3,83 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

9. Внутренний диаметр водоподъемной трубы при изливе.

$$d = (4 \cdot F / \pi + D_1^2)^{0,5},$$

$$d = (4 \cdot 3,83 \cdot 10^{-3} / \pi + (25 \cdot 10^{-3})^2)^{0,5} = 0,074 \text{ м}.$$

10. Подача компрессора.

$$W_{\text{к}} = 1,2W,$$

$$W_{\text{к}} = 1,2 \cdot 0,98 = 1,18 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

11. Давление, развиваемое компрессором.

$$P_{\text{к}} = 1,2 \cdot P_{\text{п}},$$

$$P_{\text{к}} = 1,2 \cdot 0,35 = 0,42 \text{ МПа}.$$

5.3. Откачка струйным насосом

При скважинных откачках используются (раздел 5.2) струйные насосные установки (СНУ), состоящие из двух насосов – приводящего, обычно поверхностного (например, поршневого) или иногда погружного (центробежного), и струйного насоса, связанных между собой гидравлическими магистралями (трубами, шлангами).

Скважинные струйные насосные установки применяют при освоении, опробовании и эксплуатации скважин, пробуренных на жидкие подземные флюиды – воду, рассолы, жидкие руды, а также при скважинной гидродобыче несвязных полезных ископаемых (песок, гравий), при депрессионных воздействиях на продуктивный пласт с целью интенсификации притока воды и др. Кроме этого, струйные аппараты применяют в поверхностных условиях для приготовления буровых растворов, в качестве устройств для гашения пен и др.

Вопросы работы струйных насосов нашли отражение во многих научных и производственных книгах, учебных пособиях и научных статьях [2, 14, 29, 50 – 52, 55, 57, 76, 78, 79, 82, 90, 100, 114].

Основные уравнения, применяемые при исследовании работы струйных насосных установок (СНУ)

1. Уравнение расхода (уравнение сплошности, или неразрывности, потока жидкости) [26].

$$Q_c = Q_i + Q_p = \text{const}, \quad (5.12)$$

где Q_n , Q_p , Q_c – инжектируемый, рабочий и смешанный (сжатый) поток соответственно.

2. Уравнение импульса для потока жидкости [26].

$$\Delta(\rho \cdot Q \cdot v) = \Sigma F_i, \quad (5.13)$$

где ρ – плотность жидкости; Q – объемный расход; v – скорость движения жидкости; $(\rho \cdot Q \cdot v)$ – импульс; $\Delta(\rho \cdot Q \cdot v)$ – приращение импульса; ΣF_i – сумма внешних сил.

3. Уравнение механической энергии (уравнение Бернулли для стационарного потока жидкости) [26].

Уравнение Бернулли справедливо для потока между двумя поперечным потоку сечениями жидкости:

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \alpha \cdot \rho \cdot v_1^2 / 2 = P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \alpha \cdot \rho \cdot v_2^2 / 2 + P_{тр} + P_{мех}, \quad (5.14)$$

где 1 – индекс первого сечения; 2 – индекс второго сечения; P – абсолютное (или избыточное) давление в сечении, Па; $\rho \cdot g \cdot z$ – геометрическое давление в сечении, Па; $\alpha \cdot \rho \cdot v^2 / 2$ – динамическое давление в сечении, Па; $P + \rho \cdot g \cdot z + \alpha \cdot \rho \cdot v^2 / 2$ – полное давление в сечении (в первом всегда выше, чем во втором), Па; z – геометрическая высота центра сечения (вертикальная) над произвольной горизонтальной плоскостью, называемой плоскостью сравнения, м; α – коэффициент Кориолиса (для турбулентных потоков можно принять $\alpha = 1$, а для ламинарных и структурных $\alpha = 2$); v – средняя скорость потока в сечении, м/с; $P_{тр}$ – потеря давления на трение между сечениями, Па; $P_{мех}$ – механическое давление (давление, расходуемое жидкостью на совершение механической работы (например, на работу гидродвигателя или др.)), Па.

4. Уравнение тепловой энергии (теплового баланса).

$$\Phi_c = \Phi_n + \Phi_p, \quad \Phi_c = q_c \cdot \rho_c \cdot Q_c, \quad \Phi_n = q_n \cdot \rho_n \cdot Q_n, \quad \Phi_p = q_p \cdot \rho_p \cdot Q_p, \quad (5.15)$$

$$q_c \cdot \rho_c \cdot Q_c = q_n \cdot \rho_n \cdot Q_n + q_p \cdot \rho_p \cdot Q_p, \quad (5.16)$$

$$q_c = c_c \cdot \Delta t_c; \quad q_n = c_n \cdot \Delta t_n; \quad q_p = c_p \cdot \Delta t_p, \quad (5.17)$$

$$\Delta t_c = 0; \quad \Delta t_n = t_c - t_n; \quad \Delta t_p = t_c - t_p, \quad (5.18)$$

где Φ_c , Φ_n , Φ_p – тепловой поток (поток теплоты, тепловая мощность) смешанный, инжектируемый и рабочий соответственно; q_c , q_n , q_p – удельная теплота смешанной, инжектируемой и рабочей среды соответственно; ρ_c , ρ_n , ρ_p – плотность смешанной, инжектируемой и рабочей среды соответственно; c_c , c_n , c_p – удельная теплоёмкость смешанной, инжектируемой и рабочей среды соответственно; Δt_c , Δt_n , Δt_p – приращение температуры смешанной, инжектируемой и рабочей среды соответственно; t_c , t_n , t_p – температура смешанной, инжектируемой и рабочей среды соответственно.

Основные параметры, характеризующие работу струйных насосов

$$Q_c = Q_n + Q_p, \quad (5.19)$$

$$u = Q_n / Q_p, \quad (5.20)$$

$$Q_c / Q_p = u + 1, \quad (5.21)$$

$$Q_c / Q_n = 1 + 1 / u = (1 + u) / u, \quad (5.22)$$

$$\Delta P_c = P_c - P_n, \quad (5.23)$$

$$\Delta P_p = P_p - P_n, \quad (5.24)$$

$$P_n < P_c < P_p, \quad (5.25)$$

$$\eta_{ст} = N_{пр} / N_3 = Q_n \cdot (P_c - P_n) / (Q_p (P_p - P_n)) = u \cdot \Delta P_c / (\Delta P_c - \Delta P_p) = \quad (5.26)$$

$$u \cdot (\Delta P_c / \Delta P_p) / (1 - \Delta P_c / \Delta P_p),$$

где Q_n , Q_p , Q_c – инжектируемый, рабочий и смешанный поток соответственно; P_n , P_p , P_c – абсолютное давление инжектируемого, рабочего и смешанного потоков соответственно; u – объемный коэффициент инжекции (подмешивания); $\eta_{ст}$ – полный коэффициент полезного действия (КПД) работы струйного насоса ($\eta_{ст \max} = 0,3$ при $u = 1$ и $\Delta P_c / \Delta P_p = 0,23$); $N_{пр}$ – произведенная мощность; N_3 – затраченная мощность; ΔP_c – перепад давления смешанного потока, создаваемый струйным насосом; ΔP_p – перепад давления рабочего потока, создаваемый приводящим насосом; $\Delta P_c / \Delta P_p$ – относительный перепад давления, создаваемый струйным насосом, $(\Delta P_c / \Delta P_p)_{\max} = 0,71$.

Термины «эжекция» (откачка, понижение давления), «инжекция» (нагнетание, повышение давления), «подсасывание», «подмешивание» часто используют как синонимы (принято в расчёте). Термины «коэффициент эжекции» и «коэффициент инжекции» также часто используют как синонимы (принято в расчёте).

Принципиальная схема струйного насоса представлена на рис. 5.1.

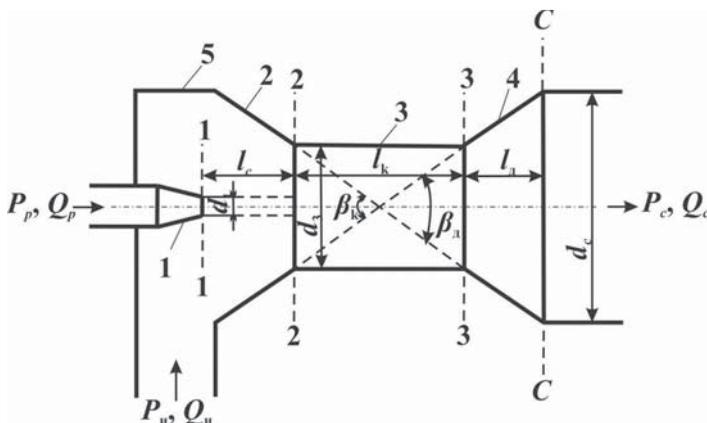


Рисунок 5.1 - Принципиальная схема струйного насоса

1 – рабочее сопло; 2 – конфузор; 3 – смесительная камера; 4 – диффузор; 5 – приемная камера; Q_n , Q_p , Q_c – инжектируемый, рабочий и смешанный поток соответственно; P_n , P_p , P_c – абсолютное давление инжектируемого, рабочего и смешанного потока соответственно; 1-1 – выходное поперечное сечение рабочего сопла; 2-2 – входное поперечное сечение смесительной камеры; 3-3 – выходное поперечное сечение смесительной камеры; C-C – выходное поперечное сечение диффузора; l_c – расстояние от выходного сечения рабочего сопла до входного сечения смесительной камеры; l_k , l_d – длина смесительной камеры и диффузора соответственно; d_p , d_3 , d_c – диаметр выходного сечения рабочего сопла, смесительной камеры и выходного сечения диффузора

соответственно; β_k , β_d – угол раствора конфузора и диффузора соответственно

Основные характеристики струйного насоса

1. Геометрическая (конструктивная) характеристика: (f_3 / f_p) – отношение площади поперечного сечения смесительной камеры к площади выходного сечения рабочего сопла.

2. Расходная характеристика: u – объемный коэффициент инжекции.

3. Энергетические характеристики:

- $(\Delta P_c / \Delta P_p)$ – относительный перепад давления, создаваемый струйным насосом;

- $\eta_{сн}$ – полный коэффициент полезного действия (КПД) работы струйного насоса.

Основное уравнение работы струйного насоса

Основное уравнение работы струйного насоса, нашедшее надёжное подтверждение в практических исследованиях, было получено Е.Я. Соколовым и Н.М. Зингером [114] при совместном решении (5.12) – (5.14):

$$\Delta P / \Delta P_p = \varphi_1^2 \cdot (f_p / f_3) \cdot [2 \cdot \varphi_2 + (2 \cdot \varphi_2 + 1 / \varphi_4^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_n} \cdot u^2 / (f_3 / f_p - 1) - (2 \cdot \varphi_3^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_c} \cdot (f_p / f_3) \cdot (1 + u)^2], \quad (5.27)$$

где $\Delta P / \Delta P_p$ – относительный перепад давления, создаваемый струйным насосом; ρ_n , ρ_p , ρ_c – плотность инжектируемого, рабочего и смешанного потока соответственно; (f_3 / f_p) – отношение площади поперечного сечения смесительной камеры к площади выходного сечения рабочего сопла; u – объемный коэффициент инжекции; φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 – коэффициенты скорости движения жидкости в рабочем сопле струйного насоса, смесительной камере, диффузоре и конфузоре струйного насоса соответственно.

Способы соединения струйного насоса с приводящим поверхностным насосом в скважинную струйную насосную установку

Струйный насос может двумя стандартными способами быть соединен с приводящим поверхностным (например, поршневым) насосом (рис. 5.2) [78, 79, 82]: по схеме с отбором полезного расхода до водоструйного насоса (Схема А) и по схеме после него (Схема Б). Схема Б является основной и широко применяется в практике бурения скважин на воду. Схема А практически не используется, хотя в некоторых условиях (при наличии приводящего насоса высокой производительности) она может быть более предпочтительной.

Под полезным расходом $Q_{пол}$ будем понимать расход подземного флюида (подземной, или пластовой, жидкости), поступившего из продуктивного пласта в скважину и поданного на поверхность с целью опробования или потребления, то есть $Q_{пол}$ – это дебит скважины.

Работа скважинной СНУ установки с отбором полезного расхода жидкости до водоструйного насоса (Схема А) характеризуется следующими соотношениями [78, 79, 82].

$$Q_{пол} / Q = Q_n / Q_c = u / (1 + u), \quad (5.28)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезный расход; Q – подача приводящего насоса.

$$\eta_{\text{уст}} = N_{\text{пр}} / N_3 = u \cdot \Delta P_p \cdot \eta / ((1+u) \cdot (\Delta P_p - \Delta P_c)) = \quad (5.29)$$

$$u \cdot \eta / ((1+u) \cdot (1 - \Delta P_c / \Delta P_p)),$$

где $\eta_{\text{уст}}$ – полный КПД работы струйной насосной установки (СНУ); η – полный КПД работы приводящего насоса.

$$\begin{cases} \text{при } u \rightarrow 19 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p \rightarrow 0 & \eta_{\text{уст}} \rightarrow \eta \\ \text{при } u \rightarrow 0 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p \rightarrow 0,71 & \eta_{\text{уст}} \rightarrow 0 \end{cases}; \quad (5.30)$$

$$\text{при } u > 0 \quad Q_{\text{пол}} < Q; \quad (5.31)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{пол}} &= (0 - 0,95) \cdot Q, \\ u &= 0 - 19. \end{aligned} \quad (5.32)$$

Объемная подача приводящего насоса должна в $(1/u + 1)$ раз превосходить дебит скважины:

$$Q/Q_{\text{пол}} = Q_c/Q_n = (1+u)/u = 1/u+1 \quad (5.33)$$

Рассмотренная схема (Схема А) имеет высокий максимальный КПД работы, однако, при всех коэффициентах инжекции струйного насоса полезный расход воды ниже подачи приводящего насоса.

Недостатком данной схемы является необходимость установки задвижки на линии, идущей к потребителю. Частичное закрытие задвижки приводит в действие струйный насос, но уменьшает полезный расход и КПД работы установки.

Работу установки с отбором полезного расхода жидкости после струйного насоса (Схема Б) описывают следующие зависимости [78, 79, 82].

$$Q_{\text{пол}} / Q = Q_n / Q_p = u; \quad (5.34)$$

$$\eta_{\text{уст}} = N_{\text{пр}} / N_3 = \eta_{\text{сн}} \cdot \eta; \quad (5.35)$$

$$\text{при } u = 0,5 - 0,9 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p = 0,23 - 0,33 \quad (5.36)$$

$$\eta_{\text{устmax}} = \eta_{\text{снmax}} \cdot \eta = 0,3 \cdot \eta;$$

$$\begin{cases} \text{при } u \rightarrow 4 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p \rightarrow 0 & \eta_{\text{уст}} \rightarrow 0 \\ \text{при } u \rightarrow 0 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p \rightarrow 0,71 & \eta_{\text{уст}} \rightarrow 0 \end{cases} \quad (5.37)$$

$$\begin{cases} \text{при } 0 < u < 1 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p > 0,23 & Q_{\text{пол}} < Q \\ \text{при } u = 1 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p = 0,23 & Q_{\text{пол}} = Q \\ \text{при } u > 1 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p < 0,23 & Q_{\text{пол}} > Q \end{cases} \quad (5.38)$$

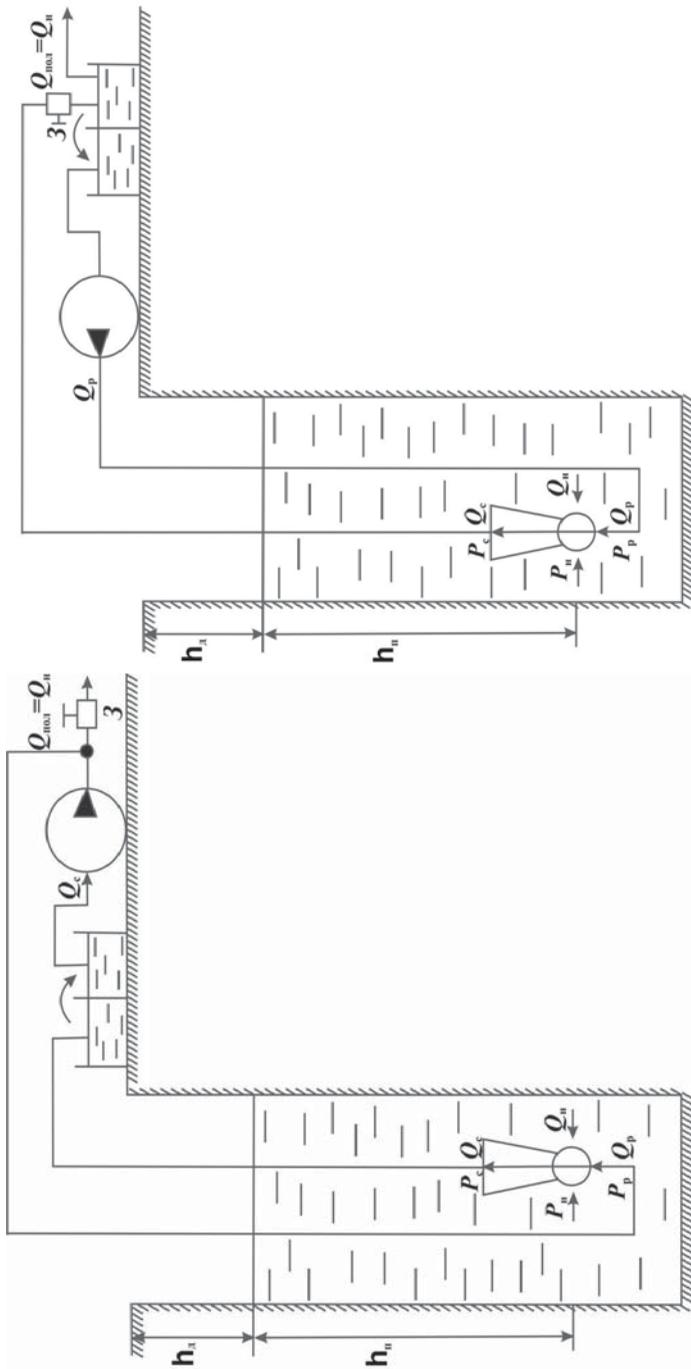


Схема А

Схема Б

Рисунок 5.2 - Скважинные струйные насосные установки «поверхностный приводящий (поршневой) насос – погружной струйный насос»
 Схема А – с оборотом полезного расхода жидкости до струйного насоса; Схема Б – с оборотом полезного расхода жидкости после струйного насоса; h_n – глубина динамического уровня жидкого подземного флюида в скважине и глубина погружения струйного насоса под уровень жидкости соответственно; Q_n , Q_p , Q_c – полезный расход; Q_n , Q_p , Q_c – инжектируемый, рабочий и смешанный поток соответственно; P_n , P_p , P_c – абсолютное давление инжектируемого, рабочего и смешанного потока соответственно; З – задвижка

$$Q_{\text{пол}} = (0 - 4) \cdot Q, \quad u = 0 - 4. \quad (5.39)$$

Объемная подача приводящего насоса должна в $1/u$ раз превосходить дебит скважины:

$$Q/Q_{\text{пол}} = Q_p/Q_{\text{и}} = 1/u. \quad (5.40)$$

Установка (Схема Б) имеет низкий максимальный КПД работы. При коэффициентах инжекции, меньших 1, полезный расход также меньше подачи приводящего насоса. И только при коэффициентах инжекции больших 1 полезный расход становится выше задаваемого приводящим насосом.

Следовательно, данная схема, несмотря на сравнительно низкий КПД работы, является во многих случаях более предпочтительной для освоения, опробования скважины и эксплуатации скважин, хотя она и не обеспечивает превышение полезного расхода над задаваемым во всей области значений коэффициентов инжекции.

Данная схема является наиболее распространенной при скважинных откачках, производимых с помощью СНУ.

Погружная тандемная насосная установка

Относительно высокими потенциальными возможностями для освоения, опробования и эксплуатации скважин обладает погружная тандемная насосная установка с последовательным соединением приводящего центробежного и струйного насосов (рис. 5.3, Схема В). Тандемная установка была изначально разработана для откачек нефти [52, 55]. Автором (В.В. Куликовым) предложено [78, 79] её использование для скважинных откачек воды.

Погружная тандемная насосная установка (Схема В) имеет следующие характеристики.

$$Q_{\text{пол}} / Q = Q_c / Q_p = 1+u; \quad (5.41)$$

$$\eta_{\text{уст}} = N_{\text{пр}} / N_3 = (1+u) \cdot \eta \cdot \Delta P_c / \Delta P_p; \quad (5.42)$$

$$\text{при } u = 0,25 - 0,5 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p = 0,4 - 0,5 \quad \eta_{\text{уст max}} = 0,6 \cdot \eta; \quad (5.43)$$

$$\begin{cases} \text{при } u \rightarrow 4 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p \rightarrow 0 & \eta_{\text{уст}} \rightarrow 0 \\ \text{при } u \rightarrow 0 \text{ и } \Delta P_c / \Delta P_p \rightarrow 0,71 & \eta_{\text{уст}} \rightarrow 0 \end{cases} \quad (5.44)$$

$$\text{При } u > 0 \quad Q_{\text{пол}} > Q. \quad (5.45)$$

$$Q_{\text{пол}} = (1 - 5) \cdot Q, \quad u = 0 - 4. \quad (5.46)$$

Объемная подача приводящего центробежного насоса должна быть в $(1+u)$ раз меньше дебита скважины:

$$Q / Q_{\text{пол}} = 1 / (1+u). \quad (5.47)$$

Установка (Схема В) имеет сравнительно высокий максимальный КПД работы. При любых коэффициентах инжекции полезный расход выше задаваемого приводящим центробежным насосом в 1 – 5 раз. При откачке

жидкости с твёрдой фазой может наблюдаться износ рабочих колёс погружного центробежного насоса и засорение рабочего сопла.

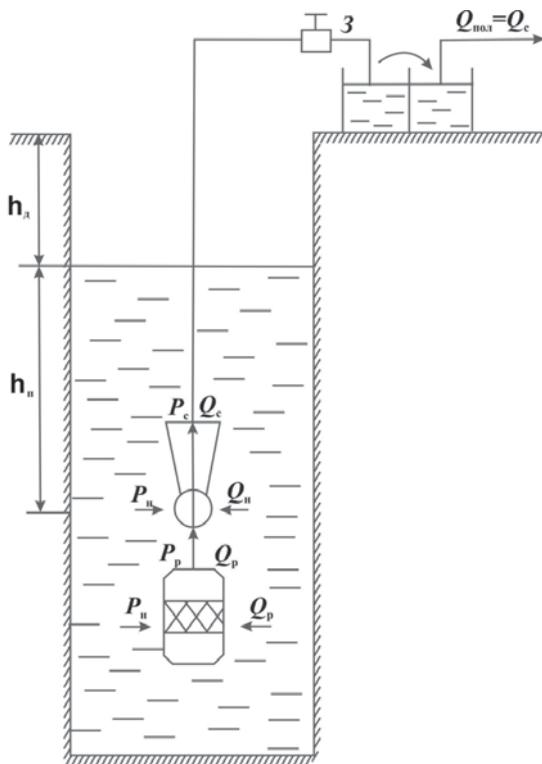


Рисунок 5.3 - Схема В. Погружная тандемная насосная установка с последовательным соединением приводящего центробежного и струйного насосов:

h_d , h_n – глубина динамического уровня жидкого подземного флюида в скважине и глубина погружения струйного насоса под уровень жидкости соответственно; $Q_{пол}$ – полезный расход; Q_n , Q_p , Q_c – инжектируемый, рабочий и смешанный поток соответственно; P_n , P_p , P_c – абсолютное давление инжектируемого, рабочего и смешанного потока соответственно; 3 – задвижка

Пример:

Сравнить схемы скважинных струйных насосных установок (СНУ) по величине коэффициента полезного действия (КПД) их работы в процессе откачки жидкого подземного флюида (ПФ) – подземной (пластовой) жидкости. В расчетах принять, что струйный насос (СН) имеет пакер и диффузор. Численные значения величин принять по таблице исходных данных.

Таблица исходных данных

№	Обозначение величины, размерность; наименование среды	Значение величины; состояние среды	Наименование величины; функциональное назначение среды
1	Инжектируемая среда (н)	В	Жидкое полезное ископаемое: подземный флюид (ПФ) – вода (В)
2	$Q_{\text{пол}}, \text{м}^3/\text{сут}$	150	Дебит скважины (полезный расход)
3	$\rho_{\text{н}}, \text{кг}/\text{м}^3$	1000	Плотность инжектируемой среды (ПФ)
4	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	12	Температура инжектируемой среды (ПФ)
5	$h_0, \text{м}$	20	Глубина статического уровня ПФ в скважине до откачки
6	$S, \text{м}$	5	Понижение уровня ПФ в скважине при откачке
7	$h_{\text{п}}, \text{м}$	10	Глубина погружения струйного насоса (СН) под динамический уровень ПФ в скважине
8	Рабочая среда (р)	В	Рабочая жидкость СН – вода (В)
9	$\rho_{\text{р}}, \text{кг}/\text{м}^3$	1000	Плотность рабочей среды
10	$t_{\text{р}}, ^\circ\text{C}$	25	Температура рабочей среды
11	Смешанная среда (с)	В + В	Смесь жидкого полезного ископаемого и рабочей среды СН: вода + вода (В + В)
12	$P_{\text{нп}}, \text{ат}$	0,01	Давление насыщенного пара смешанной среды при температуре t_c
13	$c_{\text{в}}, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	4200	Удельная изохорная теплоемкость воды
14	φ_1	0,95	Коэффициент скорости движения жидкости в рабочем сопле СН
15	φ_2	0,975	Коэффициент скорости движения жидкости в смесительной камере СН
16	φ_3	0,9	Коэффициент скорости движения жидкости в диффузоре СН
17	φ_4	0,925	Коэффициент скорости движения жидкости в конфузоре СН
18	u	0,5	Коэффициент инжекции
19	η	0,7	Полный КПД работы приводящего насоса
20	$d_{\text{ок}}, \text{мм}$	150,5	Внутренний диаметр обсадной (эксплуатационной или дополнительной эксплуатационной) колонны
21	$D_{\text{нкт}}, \text{мм}$	88,9	Наружный диаметр насосно-компрессорных труб (НКТ)
22	$d_{\text{нкт}}, \text{мм}$	75,9	Внутренний диаметр НКТ
23	λ	0,07	Коэффициент линейных гидравлических сопротивлений движению восходящего смешанного потока
24	$P_0, \text{ат}$	1	Атмосферное давление
25	$g, \text{Н}/\text{кг}$	9,81	Удельная сила тяжести

Примечание. Рекомендуемое значение плотности смешанного потока:

$$\rho_{\text{с}} = \begin{cases} \rho_{\text{н}}, & \text{если } \rho_{\text{н}} = \rho_{\text{р}} \\ \rho_{\text{р}}, & \text{если } \rho_{\text{н}} < \rho_{\text{р}} \\ \rho_{\text{н}}, & \text{если } \rho_{\text{н}} > \rho_{\text{р}} \end{cases}$$

Решение:

Методику расчёта струйного насоса примем по работе Е.Я. Соколова и Н.М. Зингера [114], расчёт коэффициентов полезного действия струйных насосных

установок в процессе скважинной откачки подземной жидкости примем по работе Б.Ф. Лямаева [82].

1. Плотность смешанной среды:

$$\text{т.к. } \rho_p = \rho_n = 1000 \text{ кг/м}^3, \text{ то } \rho_c = 1000 \text{ кг/м}^3.$$

2. Глубина динамического уровня ПФ в скважине:

$$h_d = h_0 + S, \text{ м} \quad (5.48)$$

$$h_d = 20 + 5 = 25 \text{ м.}$$

3. Площадь поперечного сечения восходящего смешанного потока:

$$\text{Схема А: } f = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{ок}}^2 - D_{\text{нкт}}^2), \text{ м}^2; \quad (5.49)$$

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot (0,1505^2 - 0,0889^2) = 11,58 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2;$$

$$\text{Схема Б: } f = \frac{\pi}{4} (d_{\text{ок}}^2 - D_{\text{нкт}}^2), \text{ м}^2;$$

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot (0,1505^2 - 0,0889^2) = 11,58 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2;$$

$$\text{Схема В: } f = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{нкт}}^2, \text{ м}^2;$$

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0759^2 = 59,6 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2.$$

4. Эквивалентный диаметр восходящего смешанного потока:

Под эквивалентным понимают диаметр d_3 такого воображаемого круглого (в поперечном сечении) потока, при движении которого потеря давления на трение та же, что и при движении реального потока той же длины и произвольной формы поперечного сечения (например, кольцевой формы).

$$\text{Схема А: } d_3 = d_{\text{ок}} - D_{\text{нкт}}, \text{ м}; \quad (5.50)$$

$$d_3 = 0,1505 - 0,0889 = 61,6 \cdot 10^{-3}, \text{ м};$$

$$\text{Схема Б: } d_3 = d_{\text{ок}} - D_{\text{нкт}}, \text{ м}; \quad (5.51)$$

$$d_3 = 0,1505 - 0,0889 = 61,6 \cdot 10^{-3}, \text{ м};$$

$$\text{Схема В: } d_3 = d_{\text{нкт}}, \text{ м}; \quad (5.52)$$

$$d_3 = d_{\text{нкт}} = 75,9 \cdot 10^{-3}, \text{ м.}$$

5. Абсолютное давление инжестируемой среды:

$$P_n = P_0 + \rho_n \cdot g \cdot h_d, \text{ Па.} \quad (5.53)$$

$$P_n = 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 25 = 3,45 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

6. Инжестируемый поток:

Под полезным расходом $Q_{\text{пол}}$ понимают расход подземного флюида (подземной, или пластовой, жидкости), поступившего из продуктивного пласта в скважину и поданного на поверхность с целью опробования или потребления, то есть $Q_{\text{пол}}$ – это дебит скважины.

$$\text{Схема А: } Q_n = Q_{\text{пол}}; \quad (5.54)$$

$$Q_n = Q_{\text{пол}} = 150 \text{ м}^3/\text{сут} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1,74 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема Б: } Q_{\text{н}} = Q_{\text{пол}}; \quad (5.55)$$

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{пол}} = 150 \text{ м}^3/\text{сут} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1,74 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема В: } Q_{\text{н}} = \frac{u}{u+1} \cdot Q_{\text{пол}}; \quad (5.56)$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{u}{u+1} \cdot Q_{\text{пол}} = 0,5 \cdot 150/(0,5 + 1) = 50 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,58 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 0,58 \text{ л/с}.$$

7. Рабочий поток:

$$\text{Схема А: } Q_{\text{р}} = \frac{1}{u} \cdot Q_{\text{н}}; \quad (5.57)$$

$$Q_{\text{р}} = \frac{1}{u} \cdot Q_{\text{н}} = 1 \cdot 150/0,5 = 300 \text{ м}^3/\text{сут} = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 3,47 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема Б: } Q_{\text{р}} = \frac{1}{u} \cdot Q_{\text{н}}; \quad (5.58)$$

$$Q_{\text{р}} = \frac{1}{u} \cdot Q_{\text{н}} = 1 \cdot 150/0,5 = 300 \text{ м}^3/\text{сут} = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 3,47 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема В: } Q_{\text{р}} = \frac{1}{1+u} \cdot Q_{\text{пол}}; \quad (5.59)$$

$$Q_{\text{р}} = \frac{1}{1+u} \cdot Q_{\text{пол}} = 1 \cdot 150/(1 + 0,5) = 100 \text{ м}^3/\text{сут} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1,16 \text{ л/с}.$$

5. Смешанный поток:

$$\text{Схема А: } Q_{\text{с}} = \frac{1+u}{u} \cdot Q_{\text{н}}; \quad (5.60)$$

$$Q_{\text{с}} = \frac{1+u}{u} \cdot Q_{\text{н}} = (1 + 0,5) \cdot 150/0,5 = 450 \text{ м}^3/\text{сут} = 5,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 5,21 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема Б: } Q_{\text{с}} = \frac{1+u}{u} \cdot Q_{\text{н}}; \quad (5.61)$$

$$Q_{\text{с}} = \frac{1+u}{u} \cdot Q_{\text{н}} = (1 + 0,5) \cdot 150/0,5 = 450 \text{ м}^3/\text{сут} = 5,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 5,21 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема В: } Q_{\text{с}} = Q_{\text{пол}}; \quad (5.62)$$

$$Q_{\text{с}} = Q_{\text{пол}} = 150 \text{ м}^3/\text{сут} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1,74 \text{ л/с}.$$

9. Температура смешанной среды:

Расчётную формулу температуры смешанной среды можно получить при совместном решении уравнений (5.15) – (5.18).

$$t = \frac{c_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot u + c_{\text{р}} \cdot t_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}}}{c_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{н}} \cdot u + c_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{р}}}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (5.63)$$

$$c_{\text{н}} = c_{\text{р}} = c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$\rho_{\text{н}} = \rho_{\text{р}} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

$$t = (4200 \cdot 12 \cdot 1000 \cdot 0,5 + 4200 \cdot 25 \cdot 1000) / (4200 \cdot 1000 \cdot 0,5 + 4200 \cdot 1000) = 20,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

10. Подача приводящего насоса:

$$\text{Схема А: } Q = Q_{\text{с}}; \quad (5.64)$$

$$Q = Q_{\text{с}} = 450 \text{ м}^3/\text{сут} = 5,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 5,21 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема Б: } Q = Q_{\text{р}}; \quad (5.65)$$

$$Q = Q_{\text{р}} = 300 \text{ м}^3/\text{сут} = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 3,47 \text{ л/с};$$

$$\text{Схема В: } Q = Q_{\text{р}}; \quad (5.66)$$

$$Q = Q_p = 100 \text{ м}^3/\text{сут} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 1,16 \text{ л/с.}$$

11. Оптимальное значение отношения площади поперечного сечения смесительной камеры к площади выходного сечения рабочего сопла $(f_3/f_p)_{\text{опт}}$ (формула получена Е.Я. Соколовым и Н.М. Зингером [114] при решении основного уравнения работы струйного насоса (5.27)):

$$a = \varphi_2; \quad (5.67)$$

$$a = \varphi_2 = 0,975;$$

$$b = (2 \cdot \varphi_2 - 1/\varphi_4^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_H} \cdot u^2 - (2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_c} \cdot (1 + u)^2 - \varphi_2; \quad (5.68)$$

$$b = (2 \cdot \varphi_2 - 1/\varphi_4^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_H} \cdot u^2 - (2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_c} \cdot (1 + u)^2 - \varphi_2 = (2 \cdot 0,975 - 1/0,925^2) \cdot (1000/1000) \cdot 0,5^2 - (2 - 0,9^2) \cdot (1000/1000) \cdot (1 + 0,5)^2 - 0,975 = -3,457;$$

$$c = (2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_c} \cdot (1 + u)^2; \quad (5.69)$$

$$c = (2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{\rho_p}{\rho_c} \cdot (1 + u)^2 = (2 - 0,9^2) \cdot (1000/1000) \cdot (1 + 0,5)^2 = 2,678;$$

$$\left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}; \quad (5.70)$$

$$\left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = (-(-3,457) + ((-3,457)^2 - 4 \cdot 0,975 \cdot 2,678)^{0,5}) / (2 \cdot 0,975) = 2,437.$$

12. Оптимальное значение относительного перепада давления, создаваемого струйным насосом:

$$\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)_{\text{опт}} = \frac{\varphi_1^2 \cdot \varphi_2}{\left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}}}; \quad (5.71)$$

$$\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)_{\text{опт}} = \frac{\varphi_1^2 \cdot \varphi_2}{\left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}}} = 0,95^2 \cdot 0,975 / 2,437 = 0,361.$$

13. Абсолютное давление смешанного потока:

$$P_c = P_0 + \rho_c \cdot g \cdot (h_d + h_n) + \lambda \cdot \rho_c \cdot \frac{(h_d + h_n) \cdot Q_c^2}{2 \cdot d_3 \cdot f^2}, \text{ Па}; \quad (5.72)$$

$$\text{Схема А: } P_c = P_0 + \rho_c \cdot g \cdot (h_d + h_n) + \lambda \cdot \rho_c \cdot \frac{(h_d + h_n) \cdot Q_c^2}{2 \cdot d_3 \cdot f^2} = 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot (25 + 10) + 0,07 \cdot 1000 \cdot (25 + 10) \cdot (5,21 \cdot 10^{-3})^2 / (2 \cdot 61,6 \cdot 10^{-3} \cdot (11,58 \cdot 10^{-3})^2) = 4,47 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема Б: } P_c = P_0 + \rho_c \cdot g \cdot (h_d + h_n) + \lambda \cdot \rho_c \cdot \frac{(h_d + h_n) \cdot Q_c^2}{2 \cdot d_3 \cdot f^2} = 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot (25 + 10) + 0,07 \cdot 1000 \cdot (25 + 10) \cdot (5,21 \cdot 10^{-3})^2 / (2 \cdot 61,6 \cdot 10^{-3} \cdot (11,58 \cdot 10^{-3})^2) = 4,47 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема В: } P_c = P_0 + \rho_c \cdot g \cdot (h_d + h_n) + \lambda \cdot \rho_c \cdot \frac{(h_d + h_n) \cdot Q_c^2}{2 \cdot d_3 \cdot f^2} = 10^5 + 1000 \cdot 9,81 \cdot (25 + 10) + 0,07 \cdot 1000 \cdot (25 + 10) \cdot (1,74 \cdot 10^{-3})^2 / (2 \cdot 75,9 \cdot 10^{-3} \cdot (59,6 \cdot 10^{-3})^2) = 4,43 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

14. Перепад давления смешанного потока, создаваемый СН:

$$\Delta P_c = P_c - P_n, \text{ Па}; \quad (5.73)$$

$$\text{Схема А: } \Delta P_c = P_c - P_n = 4,47 \cdot 10^5 - 3,45 \cdot 10^5 = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема Б: } \Delta P_c = P_c - P_n = 4,47 \cdot 10^5 - 3,45 \cdot 10^5 = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема В: } \Delta P_c = P_c - P_n = 4,43 \cdot 10^5 - 3,45 \cdot 10^5 = 0,98 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

15. Перепад давления рабочего потока в рабочем сопле СН:

$$\Delta P_p = \frac{\Delta P_c}{\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)_{\text{опт}}}; \quad (5.74)$$

$$\text{Схема А: } \Delta P_p = \frac{\Delta P_c}{\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)_{\text{опт}}} = 1,02 \cdot 10^5 / 0,361 = 2,83 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема Б: } \Delta P_p = \frac{\Delta P_c}{\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)_{\text{опт}}} = 1,02 \cdot 10^5 / 0,361 = 2,83 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема В: } \Delta P_p = \frac{\Delta P_c}{\left(\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)_{\text{опт}}} = 0,98 \cdot 10^5 / 0,361 = 2,71 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

16. Абсолютное давление рабочего потока перед входом в рабочее сопло:

$$P_p = P_n + \Delta P_p, \text{ Па}; \quad (5.75)$$

$$\text{Схема А: } P_p = P_n + \Delta P_p = 3,45 \cdot 10^5 + 2,83 \cdot 10^5 = 6,28 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема Б: } P_p = P_n + \Delta P_p = 3,45 \cdot 10^5 + 2,83 \cdot 10^5 = 6,28 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$\text{Схема В: } P_p = P_n + \Delta P_p = 3,45 \cdot 10^5 + 2,71 \cdot 10^5 = 6,16 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

17. Кавитационный коэффициент инжекции:

Под кавитацией понимают фазовый переход жидкости в пар (в результате понижения давления или повышения температуры), а затем (в результате повышения давления или понижения температуры) переход пара обратно в жидкость. Кавитация в струйном насосе может наступить при некотором значении скорости жидкости в насосе, соответствующей значению коэффициента инжекции, несколько большего, чем величина u_k (т.н. кавитационный коэффициент инжекции). Значение u_k является предельно допустимым (максимально возможным), т.е. $u \leq u_k$; попытка увеличить u путём увеличения рабочего потока Q_p и получить величину $u > u_k$ приведёт лишь к увеличению интенсивности процесса кавитации, при этом $u \approx u_k = \text{const}$. Кавитация в струйном насосе сопровождается пульсацией скоростей и давлений, а также кавитационной эрозией самого струйного насоса.

$$u_k = \frac{\varphi_4}{\varphi_1} \cdot \left(\left(\frac{f_3}{f_p} \right)_{\text{опт}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P_n - P_{нп}}{\Delta P_p}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{P_n - P_{нп}}{\Delta P_p}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_p}; \quad (5.76)$$

$$\begin{aligned} \text{Схема А: } u_k &= \frac{\varphi_4}{\varphi_1} \cdot \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P_H - P_{HII}}{\Delta P_p}}} \cdot \sqrt{\frac{P_H - P_{HII}}{\Delta P_p}} \cdot \frac{\rho_H}{\rho_p} = (0,925/0,95) \cdot (2,437 - (1 \\ &+ (3,45 \cdot 10^5 - 0,01 \cdot 10^5)/2,83 \cdot 10^5)^{-0,5}) \cdot (((3,45 \cdot 10^5 - 0,01 \cdot 10^5)/2,83 \cdot 10^5) \cdot \\ &(1000/1000))^{0,5} = 1,89; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Схема Б: } u_k &= \frac{\varphi_4}{\varphi_1} \cdot \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P_H - P_{HII}}{\Delta P_p}}} \cdot \sqrt{\frac{P_H - P_{HII}}{\Delta P_p}} \cdot \frac{\rho_H}{\rho_p} = (0,925/0,95) \cdot (2,437 - (1 \\ &+ (3,45 \cdot 10^5 - 0,01 \cdot 10^5)/2,83 \cdot 10^5)^{-0,5}) \cdot (((3,45 \cdot 10^5 - 0,01 \cdot 10^5)/2,83 \cdot 10^5) \cdot \\ &(1000/1000))^{0,5} = 1,89; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Схема В: } u_k &= \frac{\varphi_4}{\varphi_1} \cdot \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{P_H - P_{HII}}{\Delta P_p}}} \cdot \sqrt{\frac{P_H - P_{HII}}{\Delta P_p}} \cdot \frac{\rho_H}{\rho_p} = (0,925/0,95) \cdot (2,437 - (1 \\ &+ (3,45 \cdot 10^5 - 0,01 \cdot 10^5)/2,71 \cdot 10^5)^{-0,5}) \cdot (((3,45 \cdot 10^5 - 0,01 \cdot 10^5)/2,71 \cdot 10^5) \cdot \\ &(1000/1000))^{0,5} = 1,95. \end{aligned}$$

18. Коэффициент инжекции, предупреждающий возникновение кавитации жидкости в смесительной камере СН:

$$u = \begin{cases} u_k, & \text{если } u_k \leq u; \\ u, & \text{если } u_k > u; \end{cases} \quad (8.77)$$

Для всех рассматриваемых схем $u_k > u$, т.е. кавитации в насосе не будет, поэтому

Схема А: принимаем $u = 0,5$;

Схема Б: принимаем $u = 0,5$;

Схема В: принимаем $u = 0,5$.

19. Площадь выходного поперечного сечения рабочего сопла:

$$f_p = \frac{Q_p}{\varphi_1} \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{2 \cdot \Delta P_p}}, \text{ м}^2; \quad (5.78)$$

$$\begin{aligned} \text{Схема А: } f_p &= \frac{Q_p}{\varphi_1} \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{2 \cdot \Delta P_p}} = (3,47 \cdot 10^{-3}/0,95) \cdot (1000/(2 \cdot 2,83 \cdot 10^5))^{0,5} = 15,35 \cdot 10^{-5} \\ &\text{м}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Схема Б: } f_p &= \frac{Q_p}{\varphi_1} \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{2 \cdot \Delta P_p}} = (3,47 \cdot 10^{-3}/0,95) \cdot (1000/(2 \cdot 2,83 \cdot 10^5))^{0,5} = 15,35 \cdot 10^{-5} \\ &\text{м}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Схема В: } f_p &= \frac{Q_p}{\varphi_1} \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{2 \cdot \Delta P_p}} = (1,16 \cdot 10^{-3}/0,95) \cdot (1000/(2 \cdot 2,71 \cdot 10^5))^{0,5} = 5,24 \cdot 10^{-5} \\ &\text{м}^2. \end{aligned}$$

20. Скорость движения рабочего потока в выходном сечении рабочего сопла:

$$v_p = Q_p / f_p, \text{ м/с}; \quad (5.79)$$

$$\text{Схема А: } v_p = Q_p / f_p = 3,47 \cdot 10^{-3} / 15,35 \cdot 10^{-5} = 22,61 \text{ м/с};$$

$$\text{Схема Б: } v_p = Q_p / f_p = 3,47 \cdot 10^{-3} / 15,35 \cdot 10^{-5} = 22,61 \text{ м/с};$$

$$\text{Схема В: } v_p = Q_p / f_p = 1,16 \cdot 10^{-3} / 5,24 \cdot 10^{-5} = 22,14 \text{ м/с}.$$

21. Внутренний диаметр выходного сечения рабочего сопла:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot f_p}{\pi}}, \text{ м}; \quad (5.80)$$

$$\text{Схема А: } d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot f_p}{\pi}} = (4 \cdot 15,35 \cdot 10^{-5} / \pi)^{0,5} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм};$$

$$\text{Схема Б: } d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot f_p}{\pi}} = (4 \cdot 15,35 \cdot 10^{-5} / \pi)^{0,5} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм};$$

$$\text{Схема В: } d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot f_p}{\pi}} = (4 \cdot 5,24 \cdot 10^{-5} / \pi)^{0,5} = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}.$$

22. Площадь поперечного сечения смесительной камеры:

$$f_3 = \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} \cdot f_p, \text{ м}^2; \quad (5.81)$$

$$\text{Схема А: } f_3 = \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} \cdot f_p = 2,437 \cdot 15,35 \cdot 10^{-5} = 37,41 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$\text{Схема Б: } f_3 = \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} \cdot f_p = 2,437 \cdot 15,35 \cdot 10^{-5} = 37,41 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$\text{Схема В: } f_3 = \left(\frac{f_3}{f_p}\right)_{\text{опт}} \cdot f_p = 2,437 \cdot 5,24 \cdot 10^{-5} = 12,77 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

23. Скорость движения смешанного потока в выходном сечении смесительной камеры:

$$v_3 = Q_c / f_3, \text{ м/с}; \quad (5.82)$$

$$\text{Схема А: } v_3 = Q_c / f_3 = 5,21 \cdot 10^{-3} / 37,41 \cdot 10^{-5} = 13,93 \text{ м/с};$$

$$\text{Схема Б: } v_3 = Q_c / f_3 = 5,21 \cdot 10^{-3} / 37,41 \cdot 10^{-5} = 13,93 \text{ м/с};$$

$$\text{Схема В: } v_3 = Q_c / f_3 = 1,74 \cdot 10^{-3} / 12,77 \cdot 10^{-5} = 13,63 \text{ м/с}.$$

24. Внутренний диаметр поперечного сечения смесительной камеры:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot f_3}{\pi}}, \text{ м}; \quad (5.83)$$

$$\text{Схема А: } d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot f_3}{\pi}} = (4 \cdot 37,41 \cdot 10^{-5} / \pi)^{0,5} = 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм};$$

$$\text{Схема Б: } d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot f_3}{\pi}} = (4 \cdot 37,41 \cdot 10^{-5} / \pi)^{0,5} = 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм};$$

$$\text{Схема В: } d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot f_3}{\pi}} = (4 \cdot 12,77 \cdot 10^{-5} / \pi)^{0,5} = 0,013 \text{ м} = 13 \text{ мм};$$

25. Оптимальное расстояние между выходным сечением рабочего сопла и входным сечением смесительной камеры:

$$l_c = (1,0 - 1,5) \cdot d_3, \text{ м}; \quad (5.84)$$

$$\text{Схема А: } l_c = 1,25 \cdot 0,022 = 0,029 \text{ м} = 29 \text{ мм};$$

Схема Б: $l_c = 1,25 \cdot 0,022 = 0,029 \text{ м} = 29 \text{ мм}$;

Схема В: $l_c = 1,25 \cdot 0,013 = 0,016 \text{ м} = 16 \text{ мм}$.

26. Длина смесительной камеры струйного насоса:

$$l_k = (6,0 - 10,0) \cdot d_3, \text{ м}; \quad (5.85)$$

Схема А: $l_k = 8,0 \cdot 0,022 = 0,176 \text{ м} = 176 \text{ мм}$;

Схема Б: $l_k = 8,0 \cdot 0,022 = 0,176 \text{ м} = 176 \text{ мм}$;

Схема В: $l_k = 8,0 \cdot 0,013 = 0,104 \text{ м} = 104 \text{ мм}$.

27. Внутренний диаметр выходного сечения диффузора:

$$d_c = (1,5 - 3,0) \cdot d_3, \text{ м}; \quad (5.86)$$

Схема А: $d_c = 2,5 \cdot 0,022 = 0,055 \text{ м} = 55 \text{ мм}$;

Схема Б: $d_c = 2,5 \cdot 0,022 = 0,055 \text{ м} = 55 \text{ мм}$;

Схема В: $d_c = 2,5 \cdot 0,013 = 0,033 \text{ м} = 33 \text{ мм}$;

28. Площадь выходного сечения диффузора струйного насоса:

$$f_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2, \text{ м}^2; \quad (5.87)$$

Схема А: $f_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 = \pi \cdot 0,055^2 / 4 = 2,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;

Схема Б: $f_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 = \pi \cdot 0,055^2 / 4 = 2,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;

Схема В: $f_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 = \pi \cdot 0,033^2 / 4 = 0,86 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

29. Скорость движения смешанного потока в выходном сечении диффузора:

$$v_c = Q_c / f_c, \text{ м/с}; \quad (5.88)$$

Схема А: $v_c = Q_c / f_c = 5,21 \cdot 10^{-3} / 2,38 \cdot 10^{-3} = 2,19 \text{ м/с}$;

Схема Б: $v_c = Q_c / f_c = 5,21 \cdot 10^{-3} / 2,38 \cdot 10^{-3} = 2,19 \text{ м/с}$;

Схема В: $v_c = Q_c / f_c = 1,74 \cdot 10^{-3} / 0,86 \cdot 10^{-3} = 2,02 \text{ м/с}$.

30. Длина диффузора:

$$l_d = (6,0 - 7,0) \cdot (d_c - d_3), \text{ м}; \quad (5.89)$$

Схема А: $l_d = 6,5 \cdot (0,055 - 0,022) = 0,215 \text{ м} = 215 \text{ мм}$;

Схема Б: $l_d = 6,5 \cdot (0,055 - 0,022) = 0,215 \text{ м} = 215 \text{ мм}$;

Схема В: $l_d = 6,5 \cdot (0,033 - 0,013) = 0,130 \text{ м} = 130 \text{ мм}$.

31. Угол раствора диффузора струйного насоса:

Диффузор струйного насоса служит для гашения скорости и увеличения давления смешанного потока. Для того, чтобы не произошло отрыва струи смешанного потока от внутренней поверхности диффузора угол его раствора β_d не должен превышать 12° : $0 < \beta_d \leq 12^\circ$.

$$\beta_d = 2 \cdot \arctg \frac{d_c - d_3}{2 \cdot l_d}, \text{ }^\circ; \quad (5.90)$$

Схема А: $\beta_d = 2 \cdot \arctg \frac{d_c - d_3}{2 \cdot l_d} = 2 \cdot \arctg((0,055 - 0,022) / (2 \cdot 0,215)) = 8,78^\circ$;

$$\text{Схема Б: } \beta_d = 2 \cdot \arctg \frac{d_c - d_3}{2 \cdot l_d} = 2 \cdot \arctg((0,055 - 0,022)/(2 \cdot 0,215)) = 8,78^\circ;$$

$$\text{Схема В: } \beta_d = 2 \cdot \arctg \frac{d_c - d_3}{2 \cdot l_d} = 2 \cdot \arctg((0,033 - 0,013)/(2 \cdot 0,130)) = 8,80^\circ.$$

32. Угол раствора конфузора:

В соответствии с рекомендациями Е.Я. Соколова и Н.М. Зингера [114], угол раствора конфузора β_k можно принять равными 90° .

$$\text{Принимаем: } \beta_k = 90^\circ. \quad (5.91)$$

33. КПД работы струйного насоса:

$$\eta_{\text{сн}} = u \cdot \frac{\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}; \quad (5.92)$$

$$\text{Схема А: } \eta_{\text{сн}} = u \cdot \frac{\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}} = 0,5 \cdot (1,02 \cdot 10^5 / 2,83 \cdot 10^5) / (1 - 1,02 \cdot 10^5 / 2,83 \cdot 10^5) = 0,281;$$

$$\text{Схема Б: } \eta_{\text{сн}} = u \cdot \frac{\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}} = 0,5 \cdot (1,02 \cdot 10^5 / 2,83 \cdot 10^5) / (1 - 1,02 \cdot 10^5 / 2,83 \cdot 10^5) = 0,281;$$

$$\text{Схема В: } \eta_{\text{сн}} = u \cdot \frac{\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}} = 0,5 \cdot (0,98 \cdot 10^5 / 2,71 \cdot 10^5) / (1 - 0,98 \cdot 10^5 / 2,71 \cdot 10^5) = 0,283.$$

34. КПД работы скважинной струйной насосной установки:

Схема А:

$$\eta_{\text{уст}} = \frac{u}{1+u} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}} \cdot \eta; \quad (5.93)$$

$$\eta_{\text{уст}} = \frac{u}{1+u} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}} \cdot \eta = 0,5 \cdot 0,7 / ((1 + 0,5) \cdot (1 - 1,02 \cdot 10^5 / 2,83 \cdot 10^5)) = 0,365;$$

Схема Б:

$$\eta_{\text{уст}} = \eta_{\text{сн}} \cdot \eta; \quad (5.94)$$

$$\eta_{\text{уст}} = \eta_{\text{сн}} \cdot \eta = 0,281 \cdot 0,7 = 0,197;$$

Схема В:

$$\eta_{\text{уст}} = (1 + u) \cdot \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} \cdot \eta; \quad (5.95)$$

$$\eta_{\text{уст}} = (1 + u) \cdot \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} \cdot \eta = (1 + 0,5) \cdot 0,98 \cdot 10^5 / 2,71 \cdot 10^5 = 0,542.$$

35. Вывод.

Струйная насосная установка, работающая по традиционной схеме (*Схема Б*) в принятых условиях имеет минимальное значение КПД работы. Наибольшим значением величины КПД работы в скважине обладает струйная насосная установка, работающая по *Схеме В*.

5.4. Промывка по зафильтровому пространству

Одним из основных методов освоения водоносных пластов является их промывка, которая обеспечивает наружную разглинизацию скважин.

Наиболее эффективной является промывка чистой водой по зафильтровому пространству. Для этой цели в боковой поверхности фильтровой трубы на расстоянии 1 – 2 м от башмака просверливают промывочные отверстия, над которыми устанавливают стопорное кольцо с конической проточкой под конусную резьбу ниппеля бурильных труб или переводник с обратным клапаном и левой резьбой под ниппель бурильной трубы (рис. 5.4, а), что позволяет опускать фильтровую колонну с одновременной промывкой по зафильтровому пространству. Промывочная жидкость (вода) подается через бурильные трубы, стоп-кольцо или левый переводник и промывочные отверстия, которые могут быть также и в башмаке фильтра, омывает рабочую часть фильтра, заглинизированные стенки пласта и выходит через оголовок. Промывка проводится до осветления воды. Признаком «оживления» водоносного пласта является вынос песка и поглощение воды. Этот способ позволяет производить многократную промывку скважины для удаления глинистого раствора, находящегося между водоносным пластом и рабочей частью фильтра.

Если фильтр устанавливают на водоподъемной колонне (рис. 5.4, б), то бурильные трубы в оголовке скважины закрепляют сальником. В этом случае скважину оборудуют кондуктором, который цементируется до устья. После окончания промывки бурильные трубы правым вращением вывинчивают из башмака и извлекают из скважины, а отстойник фильтра, во избежание пескования, частично засыпают гравием. Иногда с этой целью в башмаке устанавливают обратный клапан. Затем производят дополнительную разглинизацию скважины свабированием и откачку с расходом, превышающим расход при промывке. При этом происходит дальнейшая разглинизация скважины, о чем свидетельствуют увеличение дебита скважины, понижение динамического уровня и полное осветление воды. Продолжительность откачки, при которой завершается разглинизация скважины и стабилизируется удельный дебит, зависит от степени глинизации стенок скважины при бурении, свойств водоносных пород и интенсивности промывки. В крупнозернистых песках разглинизация осуществляется за несколько часов, в мелко- и среднезернистых – за 6 – 8 сут, а иногда и более.

Недостатком способа разглинизации затрубной промывкой является неполное удаление глинистой корки, так как вода поднимается по зафильтровому пространству не сплошным потоком, а движется по изолированным каналам, промытым в глинистой корке. Давление, создаваемое насосом, и скорость восходящего потока, как правило, недостаточны для полного размыва глинистой корки.

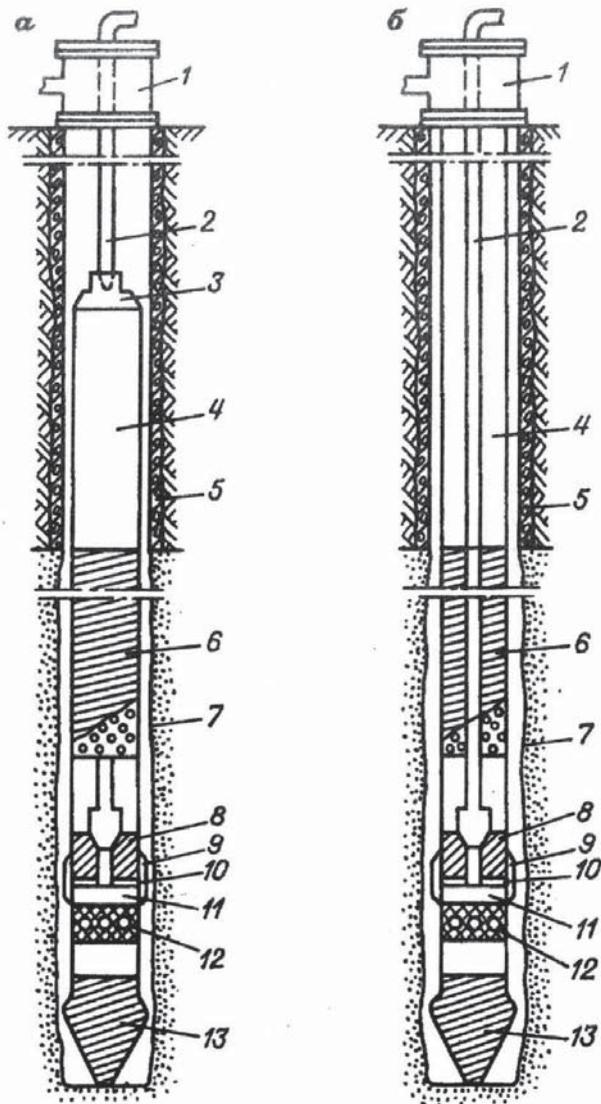


Рисунок 5.4 - Схема промывки скважины через отстойник фильтра
a – установка фильтра впотаи; *б* – установка фильтра на водоподъемной колонне

- 1 – оголовок для отвода промывной воды; 2 – бурильные трубы;
 3 – переводник; 4 – надфильтровые трубы; 5 – затрубная цементация;
 6 – фильтр; 7 – глинистая корка; 8 – деревянная пробка; 9 – муфта;
 10 – диафрагма; 11 – отстойник; 12 – отверстия для подачи промывной воды;
 13 – направляющая деревянная пробка

5.5. Способ разглинизации водоносных пластов через промывочное окно (РПО)

Из существующих способов разглинизации водоносных горизонтов в неустойчивых породах особого внимания заслуживает так называемый способ обратновсасывающей промывки через промывочные окна. Преимуществами этого способа являются: простота исполнения; высокая эффективность и непосредственное совмещение разглинизации скважины с откачкой.

Сущность способа заключается в удалении породы, обрушенной в зафильтровом кольцевом пространстве, через специальные окна в период откачки. Конструкция скважины и расположение отдельных деталей устройства в момент проведения разглинизации показаны на рис. 5.5. Указанное устройство устанавливают между фильтром и его отстойником. Оно состоит из специального ниппеля 9 с упорным кольцом 8, промывочных окон 7, скользящей втулки 5, которая фиксируется срезными штифтами 6 в верхнем положении на весь период разглинизации.

Разглинизация ведется как обычный процесс откачки эрлифтом. При этом в результате понижения уровня воды в скважине стенки обрушаются вместе с глинистой коркой. Обрушенная порода падает в кольцевое пространство и заполняет его. Поскольку из скважины идет постоянный отбор воды, то обрушенная порода через промывочные окна и водоподъемную колонну выносится на поверхность. Вследствие постоянного удаления породы процесс разглинизации стенок скважины будет в основном происходить в свободной части кольца и зависеть от того, какая часть кольцевого пространства заполнена песком. Идеальным является случай, когда объем обрушаемой породы равен объему породы, выносимой через промывочные окна, т.е. при полностью свободном кольцевом пространстве.

Поэтому при определении требуемого понижения в скважине необходимо учитывать устойчивость стенок скважины и возникающие при этом скорости восходящего потока. Содержание песка в откачиваемой жидкости не должно превышать 10 – 15 %. Поскольку учитывать интенсивность самого обрушения за фильтром практически невозможно, то этот фактор можно регулировать только интенсивностью откачки.

Продолжительность прокачки скважины определяется временем очистки воды и количеством вынесенного песка. В зависимости от конструкции фильтра и района работ количество вынесенного песка предварительно может быть принято в пределах 0,3 – 0,5 м³ на 1 м длины фильтра. Время, требуемое для прокачки скважины этим способом, составляет одну бригадо-смену.

По окончании разглинизации перекрывают промывочные окна. Для этого водоподъемной колонной (или другим инструментом), слегка ударяют по скользящей втулке 5 до среза штифтов 6; скользящая втулка перемещается до упорного кольца 8 и перекрывает промывочные окна. После перекрытия промывочных окон водоподъемную колонну приподнимают на длину фильтра и продолжают откачку до полного осветления воды.

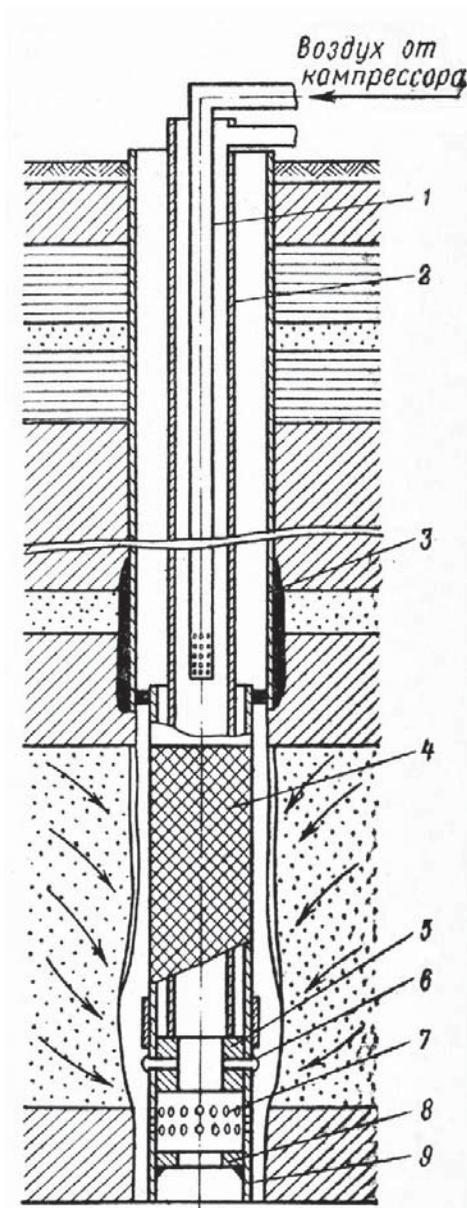


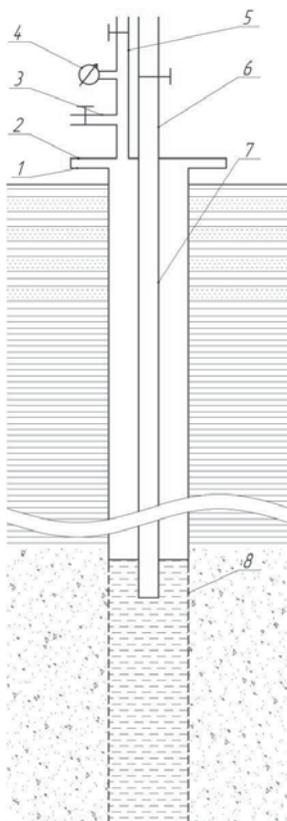
Рисунок 5.5 - Схема разглинизации методом обратновсасываемой промывки через промывочные окна

- 1 – воздухопроводные трубы эрлифта; 2 – водоподъемные трубы;
 3 – кондуктор; 4 – рабочая часть фильтра; 5 – втулка; 6 – срезной штифт; 7 – промывочные окна; 8 – упорное кольцо; 9 – ниппель

При выборе длины фильтра и места его установки необходимо помнить, что верх фильтрующей части должен отстоять от кровли водоносного пласта на высоту конечного конуса обрушения.

После разглинизации этим способом, может предусматриваться заполнение конуса обрушения гравием; величина удаления фильтра от кровли будет определяться в зависимости от высоты гравийной обсыпки, так как при наличии гравийной обсыпки конус обрушения в последующем не оказывает отрицательного влияния на дебит скважины.

5.6. Кислотная обработка



В специальном меловом промывочном растворе или при обогащении раствора частицами мела при бурении пород, происходит образование кольматанта, содержащего частицы карбонатов. В этом случае в процессе освоения водоносного горизонта целесообразно применять кислотную обработку (рис. 5.6). Кислотную обработку применяют также при заборе воды из известняков, мелов, доломитов, когда они имеют недостаточную проницаемость.

Для растворения карбонатных пород рекомендуется 15 %-й раствор соляной кислоты.

Для уменьшения коррозирующего действия соляная кислота подвергается ингибированию, например, добавляют катапин в количестве 0,05 – 0,1% от веса соляной кислоты.

После подачи необходимого количества кислоты в прифильтровой зоне создают возвратно-поступальное движение раствора посредством периодического нагнетания воздуха под герметичный оголовок скважины.

Цикл обработки сжатым воздухом состоит из выдавливания кислотного раствора в пласт (3 – 5 мин) и затем выдержки при восстановлении уровня в течение 5 – 10 мин. Бывает достаточно 8 – 10 циклов, а вся продолжительность обработки занимает не более 2 ч, после чего производится откачка из скважины.

Рисунок 5.6 - Принципиальная схема оборудования при солянокислотной обработке

1 – фланец устья скважины; 2 – оголовок; 3 – патрубок для присоединения к компрессору; 4 – манометр; 5 – патрубок для выпуска газов и воздуха; 6,7 – заливочные трубы (не менее 100 мм); 8 – верхняя часть фильтра

Заливочные трубы используются как водоподъемные при откачке эрлифтом.

Эффективность обработки скважин соляной кислотой оценивается путем сопоставления основных параметров (удельного дебита, коэффициента фильтрации), полученных в ходе откачки до и после обработки.

5.7. Восстановление проницаемости водоносных горизонтов с помощью пневмовзрыва

В настоящее время в различных организациях, осуществляющих бурение и ремонт скважин на воду, находит все более широкое применение для восстановления проницаемости водоносных горизонтов аппарат скважинный пневматический АСП-Т. Аппарат может быть использован как в скважинах, вскрывших рыхлые песчаные породы и оборудованных фильтрами, так и в открытых стволах скважин, пробуренных в устойчивых трещиноватых породах. Диаметры скважин: 108 – 306 мм.

В состав технологического оборудования, смонтированного на одноосном прицепе (рис. 5.7), входят:

- компрессор К2-150, развивающий максимальное рабочее давление сжатого воздуха в баллонах до 15 МПа;
- приводной двигатель УД-25Г;
- пневмокамера диаметром 75 мм с максимальным рабочим давлением воздуха 12 МПа и рабочим объемом 500 см³;
- магистраль пневмокамеры с максимальным рабочим давлением 3 МПа, баллоны сжатого воздуха (3 шт.) с суммарным объемом 120 л;
- лебедка с пневматической магистралью для спуска пневмокамеры в скважину и извлечения ее.

Действие аппарата на прифилтрованную зону и фильтр основано на использовании энергии сжатого воздуха для возбуждения импульсных воздействий в зоне водопритока, способствующих разрушению осадков и восстановлению проницаемости прифилтровой зоны и фильтров. Источником импульсных воздействий служит пневматическая камера, питающаяся сжатым воздухом от баллонов по пневматической магистрали.

Частота срабатывания пневмокамеры, опускаемой в обрабатываемый интервал, составляет 15 – 30 мин⁻¹, расход сжатого воздуха на разовую обработку – 120 л.

Конструкция аппарата предусматривает возможность в широких пределах менять характер воздействия на пласт путем регулирования давления в камере, ее рабочего объема, режима выхлопов, добываясь получения наибольшей энергии сжатого воздуха.

Перед началом обработки скважину необходимо прокалить шаблоном и промыть от глинистого раствора, шлама и песка. По окончании обработки скважину промывают для предупреждения возможной вторичной коагуляции фильтра. При необходимости обработку можно повторить до получения желаемых результатов.

Наибольший эффект от применения АСП-Т достигается при освоении скважин, пробуренных в рыхлых песчаных породах и оборудованных фильтрами различных конструкций. После обработки дебит скважины возрастает в 3 – 4 раза и более.

Следует также отметить, что данный способ достаточно эффективен и при восстановлении дебитов скважин, пробуренных в многослойных коллекторах с различными пьезометрическими уровнями водоносных горизонтов, где метод торпедирования, например, не дает требуемых результатов.

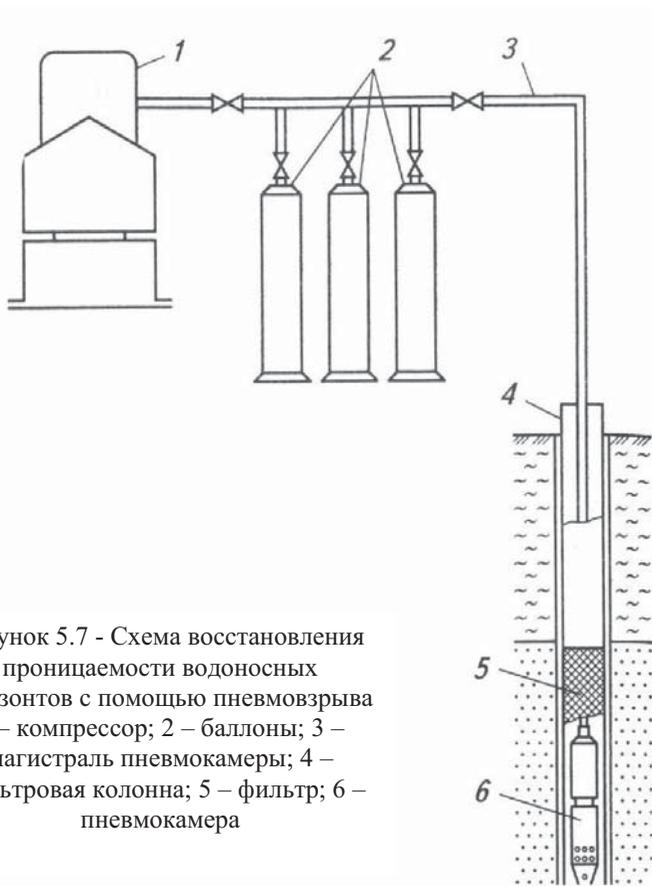


Рисунок 5.7 - Схема восстановления проницаемости водоносных горизонтов с помощью пневмовзрыва
 1 – компрессор; 2 – баллоны; 3 – магистраль пневмокамеры; 4 – фильтровая колонна; 5 – фильтр; 6 – пневмокамера

5.8. Желонирование и свабиrowание (поршневание)

Этот способ применяют обычно для разглинизации слабонапорных горизонтов и проводят путем периодического перемещения вверх и вниз поршня-сваба внутри эксплуатационной колонны. Сваб представляет собой металлический диск с резиновым клапаном, диаметр которого несколько меньше внутреннего диаметра труб (рис. 5.8, б)). При ходе сваба вверх давление в трубах под свабом снижается, из прифилтровой зоны засасывается глинистый раствор и со стенок скважины обрушивается глинистая корка. При

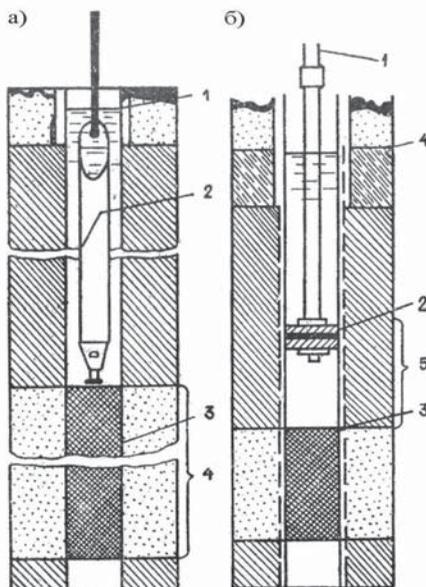


Рисунок 5.8 - а) Тартание желонкой: 1 – статический уровень, 2 – желонка, 3 – фильтровая колонна, 4 – зона систематического движения желонки.
б) Поршневание: 1 – бурильные трубы, 2 – поршень, 3 – фильтровая колонна, 4 – статический уровень, 5 – зона поршневания 12–18 м.

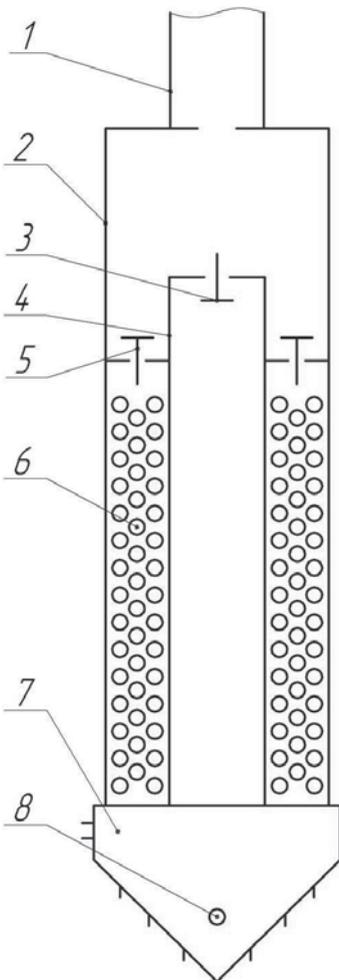
ходе сваба вниз клапан открывается и глинистый раствор проходит в пространство над свабом. Сваб спускают в скважину на бурильных трубах, ход его достигает нескольких десятков метров. Сваб обычно не опускают ниже верхней рабочей части фильтра. Свабиrowание продолжается до тех пор, пока в скважине не установится относительно стабильный уровень воды, неменяющийся значительное время. К недостатками этого способа относятся: кольматация фильтра глинистым раствором, опасность разрыва сетки в сетчатых фильтрах и большая продолжительность разглинизации по сравнению с другими способами. Кроме свабиrowания может использоваться способ откачки (тартания) желонкой (рис. 5.8, а)).

ГЛАВА 6

Опробование скважин

6.1. Метод опережающего опробования

В рыхлых песчано-глинистых отложениях применяют бурение с глинистым раствором. Для опробования водоносных пластов используют опробователь пластов ОП. При встрече водоносного пласта, на бурильных трубах спускается фильтр-опробователь (рис. 6.1), который внедряют в рыхлый водонасыщенный песок путем нагнетания воды в гидромониторный наконечник и расхаживания бурового снаряда.



После вскрытия рыхлого песчаного водоносного пласта буровой инструмент из скважины извлекают, а вместо него на бурильных трубах опускают фильтр-опробователь. Через бурильные трубы 1 вода от насоса подается в корпус 2 фильтра-опробователя и далее через клапан 3 и промывочную трубку 4 в отверстие 8 в лопастном долоте 7. Гидродинамическое воздействие истекающей из отверстия 7 воды и периодическое расхаживание бурового инструмента обеспечивают внедрение фильтра-опробователя в пласт на глубину 1,5 – 2,0 м. Наличие обратных клапанов 5 препятствует поступлению поды в зазор между корпусом 2 и промывочной трубкой 4.

Рисунок 6.1 - Фильтр-опробователь пластов ОП

После внедрения фильтра-опробователя (его длина составляет 1,0 – 1,2 м) над ним образуется песчаная пробка, перемешанная с глинистым раствором, которая изолирует его от ствола скважины, заполненной глинистым раствором. Поэтому в бурильных трубах устанавливается пьезометрический уровень воды, соответствующий статическому уровню водоносного пласта. Замер уровня воды в бурильных трубах производят электроуровнемером. Из бурильных труб

можно осуществить эрлифтную микрооткачку, если в них опустить воздушные трубки малого диаметра (18 – 20 мм). Пластовая вода, фильтруясь через сетчатое покрытие *б*, поднимается вверх через обратные клапаны *5*, поступает в бурильные трубы *1* и далее на дневную поверхность. В результате проведения такой микрооткачки осуществляют отбор пробы пластовой воды для химического и бактериологического анализа, а также ориентировочно оценивают удельный дебит пласта.

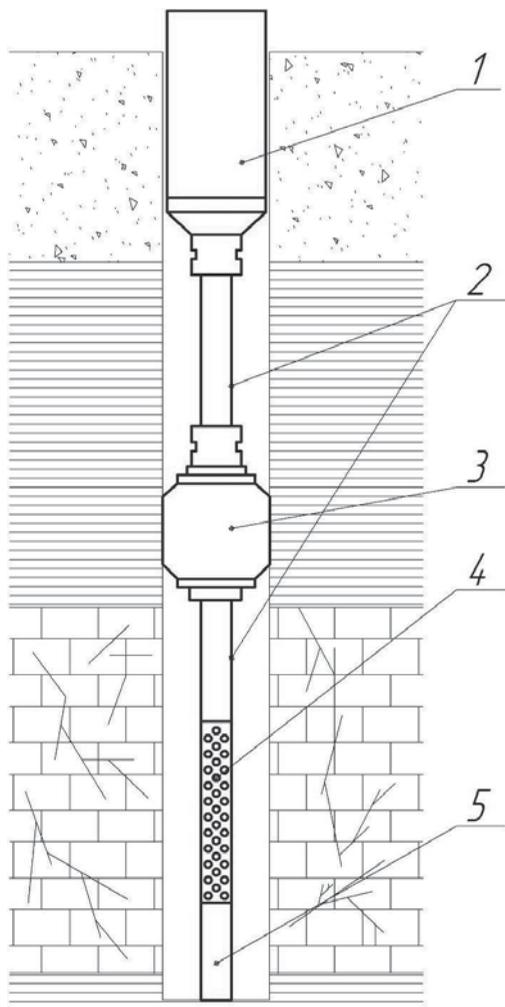


Рисунок 6.2 - Схема установки прибора СИП-3

Опережающий метод используют на стадии поисково-разведочных работ для последовательного опробования рыхлых водоносных пластов, вскрываемых при бурении скважин с глинистым раствором. Данный метод позволяет отказаться от весьма трудоемких работ по установке стандартных фильтров, их изоляции и проведения опытных откачек [26].

6.2. Съемный испытатель пластов СИП-3

В устойчивых породах используют испытатель пластов СИП-3 (рис. 6.2). СИП-3 устанавливают на забой таким образом, чтобы фильтр *4* находился в зоне водоносного пласта. Это достигается различной длиной хвостовика *5*. Под действием веса бурильных труб *2* резиновый пакер *3* расширяется и перекрывает ствол скважины. Опробование водоносного пласта осуществляют эрлифтной откачкой, для чего в верхнюю часть бурильной колонны включают колонковые трубы *1* [26].

6.3. Приборы для гидрогеологических исследований в скважинах

6.3.1. Приборы для измерения и регистрации уровня воды в скважинах

Для измерения глубины залегания уровня воды в наблюдательных гидрогеологических, эксплуатационных и других скважинах используются различные уровнемеры.

Процесс измерения уровня можно осуществлять 2-мя методами: контактным и бесконтактным. К первому методу можно отнести емкостный, поплавковый, гидростатический, буйковый. К бесконтактным методам – зондирование электромагнитным излучением, зондирование звуком, а также зондирование радиационным излучением.

С постепенным развитием прогрессивных измерительных средств каждый из способов получает характерный набор технических средств, которые в разных случаях обладают и соответствующими преимуществами, и недостатками. Разделяя уровнемеры для жидкостей по принципу действия, можно выделить электрические, микроволновые, механические, гидростатические, акустические и рефлексные. При проведении измерений уровня в осложнённых условиях (камни, пыль, большой угол откоса для сыпучего вещества) применяются, чаще всего, лазерные уровнемеры, являющиеся безопасными для глаз, а также обеспечивающие полное отсутствие неправильных отраженных сигналов.

На данный момент широкое распространение получили следующие уровнемеры:

- *Гидрогеологическая рулетка.* Используется для измерения уровня воды в скважинах глубиной до 30 и 50 метров.

Уровнемер конструктивно представляет собой катушку с мерным тросом (отметки через 1 м) с электродом на конце. При контакте с водой загорается светодиод и подается звуковой сигнал.

Зачастую, при отсутствии специального оборудования, вна скважине используется так называемая "хлопушка", рис.6.3.

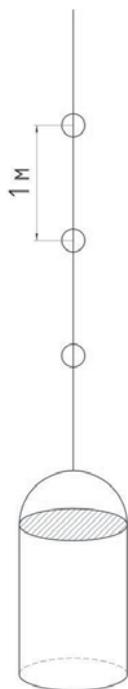


Рисунок 6.3 - Хлопушка

Хлопушка представляет собой полость с проушиной, опускаемую на мерном шнуре. При контакте с хлопушкой с водой раздается характерный хлопок.

- *Электроконтактные уровнемеры.* Могут применяться только при использовании стальных обсадных труб. Большинство уровнемеров старой конструкции (которые используются и по сей день) имеют следующий принцип работы: один провод опускается в скважину, второй подсоединяется к металлической обсадной трубе, индикатором контакта с водой служит лампочка или стрелочный прибор (электрическая цепь замыкается). Таким образом, в дождливую погоду невозможно сделать замер, так же стоит повторить, что обсадная труба должна быть только металлическая. Схема измерения представлена на рис. 6.4.

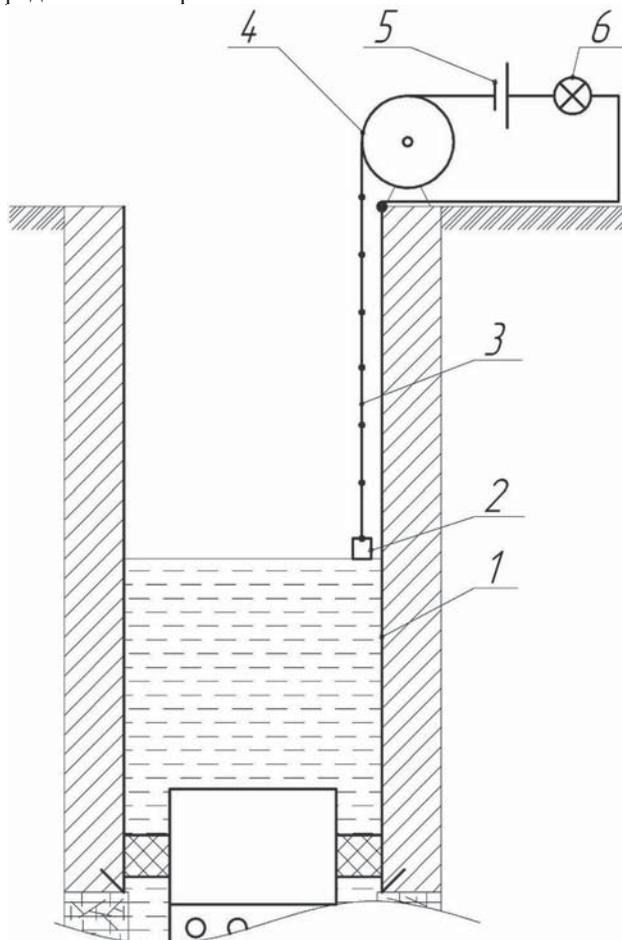


Рисунок 6.4 - Электроконтактный уровнемер
 1 – обсадная колонна; 2 – контактный стержень;
 3 – одножильный кабель с мерными метками; 4 – рулетка; 5 – батарейка;
 6 – лампочка

- *Электроконтактные двужильные уровнемеры.* Принцип работы аналогичен. Отличие заключается в применении двужильного провода, что позволяет проводить измерения в скважинах с любыми типами обсадных труб. Так же данные уровнемеры дополнительно могут оснащаться термометром.

- *Уровнемер тензометрический УрТ.* Представляет собой тензометрический датчик, по специальному кабелю выдающий сигналы, соответствующие гидростатическому давлению воды и температуре. Уровнемер монтируется в скважину вместе с погружным насосом. Максимальная глубина до 100 м. Сверху специальный кабель присоединяется к прибору индикации уровня.

При определении нескольких параметров и наблюдении за ними во времени используются автоматизированные режимные (скважинные) комплексы.

Данные комплексы предназначены для организации схем наблюдений за уровнем, температурой и электропроводимостью подземных вод в скважинах в автономном автоматизированном или ручном режиме, практически в любых условиях.

Применяются с использованием автономных (ручных) считывающих устройств (ридеры) или программируемых многоканальных устройств снятия и накопления информации (логгеры):

- на одной линии связи устанавливается необходимое количество датчиков для определения требуемого комплекса параметров в различных интервалах по стволу скважины.

- логгеры накапливают получаемую информацию в течение длительных наблюдений, что позволяет проводить режимные наблюдения в удаленных и труднодоступных районах.

- программный комплекс позволяет задавать режим съема информации, считывать накопленную информацию, обрабатывать и систематизировать ее.

6.3.2. Измерение дебита и скорости потоков в скважинах

Объемный способ измерения расхода наиболее простой и точный. Он заключается в измерении времени заполнения t мерной емкости объемом V ; при этом расход определяется из выражения

$$Q = V/t. \quad (6.1)$$

Объемный метод рекомендуется применять при расходах не более 30 л/с. Объем емкости выбирается таким, чтобы она заполнялась не менее чем за 40 – 50 с, причем показания не должны отличаться друг от друга более чем на 5 %.

Метод водослива заключается в измерении средней скорости движения откачиваемой воды v_{cp} по желобу и площади поперечного сечения потока F .

Тогда дебит

$$Q = v_{cp} F. \quad (6.2)$$

Измерение с помощью водяных счетчиков

Принцип работы водяных счетчиков основан на измерении частоты вращения «вертушки», рис. 6.5, помещенной в трубопровод. Предварительно, с помощью объемного метода, строится тарировочная кривая вида $Q = f(n)$, где n – число оборотов «вертушки».

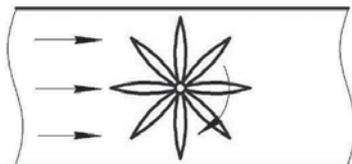


Рисунок 6.5 - Вертушка

Принцип работы диафрагменных расходомеров основан на измерении перепада давления Δh в потоке воды до и после гидравлического сопротивления (диафрагмы), помещенной в трубопровод.

Предварительно строится тарировочная кривая вида $Q = f(\Delta h)$ или $Q = f(\Delta P)$.

Широкое распространение получили *шариковые тахометрические расходомеры*, в которых в качестве чувствительного элемента применяется свободно вращающийся шарик. Шарик вращается, увлекаемый интенсивно закрученным потоком, со скоростью, пропорциональной объемному расходу. Эти приборы устойчиво работают в жидкостях, содержащих твердые включения.

6.3.3. Измерение температуры воды в скважинах

В данный момент широкое распространение получили скважинные электронные термометры (ТСЭ). Данные термометры способны измерять температуру в диапазоне $0 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ на глубине до 500 м.

Данное устройство включает в себя датчик температуры, линию связи (двужильный провод) с латунными метками через 1 м, портативный пульт управления в чехле.

Возможно применение так называемых «ленивых термометров» (при отсутствии новых термометров), представляющих собой ртутные термометры, смонтированные в специальные оправы, содержащие теплоизоляционный материал. Для измерения температуры в нужном интервале скважины их выдерживают от 10 до 40 мин в зависимости от глубины.

6.3.4. Измерение пластового давления

Существующие в настоящее время способы измерения пластового давления воды в грунтах можно разделить на три группы:

1) по уровню воды в открытых скважинах, вскрывающих исследуемый пласт;

2) по уровню воды или давления в тонкой пьезометрической трубке с фильтром, установленной в исследуемом пласте;

3) по давлению воды в пласте специальными датчиками пластового (порового) давления, устанавливаемыми непосредственно в породах исследуемого пласта.

Первый способ измерений пластового давления воды может применяться при исследовании грунтов с коэффициентом фильтрации, большим 10^{-2} м/сут.

Второй способ позволяет несколько уменьшить погрешности, возникающие вследствие инерционности системы пласт – фильтр – пьезометрическая трубка, но технология его сооружения сложна.

Третий способ позволяет получить минимальную инерционность путем соответствующего выбора элементов измерительного устройства. Для реализации этого способа исследуемый пласт вскрывают буровой скважиной, на забое скважины устанавливают датчик измерителя пластового давления, который изолируют в зоне его установки герметизацией ствола скважины и соединяют с наземным измерительно-регистрирующим устройством при помощи кабельной линии связи. Отсутствие подводящих трубок позволяет применять этот способ измерения пластового давления при проведении исследований на больших глубинах [26].

6.4. Пробоотборники воды

Изучение качества подземных вод является одним из основных видов гидрогеологических исследований и производится на всех стадиях гидрогеологических работ в процессе вскрытия, освоения и эксплуатации водоносных горизонтов.

Получение достоверных данных о гидрохимическом составе подземных вод осуществляется путем отбора проб воды из различных интервалов скважин с помощью специальных глубинных пробоотборников. На практике применяется множество пробоотборников, выпускающихся различными заводами-изготовителями, конструктивно различающихся по способу наполнения приемной камеры, ее объему, способу управления работой клапанов и т.д.

В настоящее время централизованный выпуск гидрогеологических приборов и аппаратуры резко сократился и предприятия, осуществляющие гидрогеологические исследования, применяют зачастую пробоотборники собственного изготовления, не всегда удовлетворяющие необходимым требованиям.

Рассмотрим устройство пробоотборника на примере пробоотборника ПР-1,5 (рис. 6.6), позволяющего отбирать пробы воды и растворов из скважин глубиной до 200 м. Он представляет собой цилиндр 5 наружным диаметром 50 мм, внутренним – 46 мм и длиной 900 мм, в верхней части которого установлен клапан 3, поднимаемый уплотнительной гайкой 4, а в нижней части – пробка-кран 6.

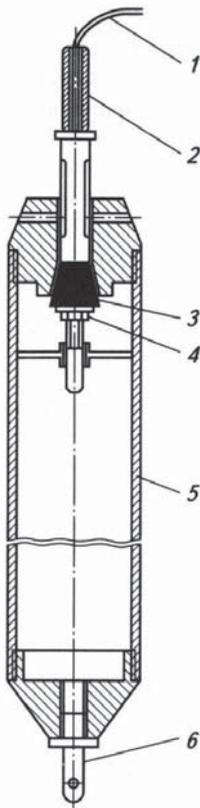


Рисунок 6.6 - Пробоотборник ПР-1,5

1 – трос; 2 – лот; 3 – клапан; 4 – поджимная гайка; 5 – цилиндр; 6 – пробка-кран

Перед спуском пробоотборника в скважину на поверхности следует определить максимальное время наполнения цилиндра путем погружения прибора в емкость с водой и открытия клапана вручную. После чего необходимо промыть цилиндр чистой пресной водой, собрать пробоотборник, закрепить лебедку на обсадной трубе и, регулируя тормозом, плавно опустить пробоотборник на необходимую глубину и зафиксировать его.

Трос (длиной 200 м, диаметром 2 мм), на котором спускается пробоотборник, не должен иметь перегибов, смятия, обрывов проволок. На нем не должно быть никаких меток, увеличивающих его диаметр. В скважине он

должен быть в натянутом состоянии, т.е. пробоотборник не должен упираться в забой или уступы в скважине.

После спуска пробоотборника в скважину на необходимую глубину по тросу сбрасывается лот 2 массой 0,5 кг, который ударяется о прибор, в результате открывается клапан 3.

По прошествии расчетного времени жидкость в объеме 1,5 л заполняет цилиндр, и пробоотборник поднимается на поверхность. Герметичность водонаборного сосуда регулируется гайкой 4. При отвинчивании пробки-крана 6 жидкость выливается из пробоотборника [90].

Рассматривают следующие параметры отбираемых проб:

Чистота (прозрачность)

Питьевая вода должна быть чистой и прозрачной. Даже легкое замутнение воды влияет на её вкус.

Запах

Питьевая вода не должна иметь запаха.

Вкус

Питьевая вода не должна иметь неприятного вкуса.

Сухой остаток

Хорошая пресная питьевая и хозяйственная вода содержит в 1 л не более 600 мг (0,6 грамм) твердых, не улетучивающихся при кипячении частиц.

При сдаче скважины заказчику обязательно проводятся химические, бактериологические и радиометрические лабораторные анализы.

ГЛАВА 7

Водоподъемное оборудование

7.1. Погружные центробежные насосы

В настоящее время для подъема воды из скважины применяются в основном погружные центробежные насосы с вертикальным валом и погружным электродвигателем.

Наибольшее распространение получили насосы типа ЭЦВ, а также иномарки типа GRUNDFOS.

Перекачиваемая жидкость – вода с общей минерализацией (сухой остаток) не более 1500 мг/л, с водородным показателем $pH = 6,5 - 9,5$, с температурой до 25 °С, с массовой долей твердых механических примесей не более 0,01%.

Насос ЭЦВ (рис. 7.1) опускается в скважину на колонне водоподъемных труб и подвешивается на устье скважины. Следует отметить, что насос следует устанавливать в соответствующую по диаметру эксплуатационную колонну, это связано с охлаждением электродвигателя, а именно со скоростью потока воды между насосом и стенками эксплуатационной колонны.

Например, насос ЭЦВ 12-160-140,

где: 12 – внутренний диаметр (в дюймах, 1 дюйм $\approx 25,4$ мм) эксплуатационной колонны, в которую следует устанавливать данный насос;

160 – объёмная подача (производительность) насоса, равная дебиту скважины, м³/ч;

140 – напор, выраженный в метрах водяного столба (мвс): $140 \text{ мвс} = 14 \text{ ат}$ (при плотности воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ и $g = 9,81 \text{ Н/кг}$) $= 14 \text{ кгс/см}^2 = 14 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,4 \text{ МПа} = 14 \text{ бар} \approx 14,22 \text{ psi}$.

При одной и той же частоте вращения центробежных колес насоса справедливы следующие закономерности:

- чем больше диаметр насоса (центробежных колёс), тем выше его подача;

- чем длиннее корпус насоса (т.е. больше число колёс), тем выше развиваемое давление (напор).

Основные параметры погружных центробежных насосов указаны в табл. 7.1.

Конструктивно насосы ЭЦВ являются многоступенчатыми центробежными насосами. Насос монтируется непосредственно на погружаемом электродвигателе. В нижней части находится затапливаемый электродвигатель, а в верхней – собственно насос. Непосредственно на двигателе монтируются корпус, предохраняемый впускным фильтром. На валу насоса монтируются рабочие колёса ступеней насоса. На выходе насоса расположен обратный клапан. Клапан задерживает воду в выходном трубопроводе и облегчает пуск насоса после остановок в работе. Выходная часть насоса с помощью резьбы или фланца крепится к напорному трубопроводу. Для защиты от сухого хода в скважине необходима установка датчика уровня.

Таблица 7.1 - Погружные центробежные насосы

Тип насоса (ЭЦВ и GRUNDFOS)	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Диаметр, мм
ЭЦВ4	1,6 – 4	30-130	95
ЭЦВ5	2,5 – 6	до 130	114
ЭЦВ6	6 –16	до 250	142
ЭЦВ8	20 – 63	до 300	186
ЭЦВ10	63 – 210	до 300	234
ЭЦВ12	120–400	до 400	281
ЭЦВ14	120–500	до 600	328
SQ1	0,5 – 1,5	35 – 160	74
SQ2	1,5 – 3	35 – 120	74
SQ3	1,5 – 3,5	30 – 110	74
SQ5	3 –6	15 –70	74
SP1	1	190	101
SP2	2	350	101
SP3	3	340	101
SP5	5	400	101–140
SP8	8	500	101–140
SP14	14	150	101–140
SP17	17	500	140 –175
SP30	30	500	142 –192
SP46	46	350	145 –192
SP60	60	300	146 –195
SP77	77	280	200 –209
SP95	95	230	200 –205
SP125	125	400	222 –229
SP160	160	360	222 –229
SP215	215	380	241

Примечание: ЭЦВ6-16-90 (6 – диаметр в дюймах, 16 – подача, м³/ч, 90 – напор в метрах водяного столба); SQ(P)2-150 (2 – подача, м³/ч, 150 – напор в метрах водяного столба), 1 дюйм ≈ 25,4 мм

Агрегат ЭЦВ располагается в скважине так, чтобы динамический уровень воды был не менее чем на 1 – 6 м выше первой ступени насоса. Монтаж и демонтаж агрегатов ЭЦВ ведут с помощью буровой установки или автокрана.

7.2. Струйные насосы

Действие *струйных (водоструйных) насосов*, или *гидроэлеваторов*, основано на непосредственной передаче энергии одного потока, называемого рабочим, другому – инжектируемому (эжектируемому, всасываемому) потоку, обладающему меньшим запасом энергии.

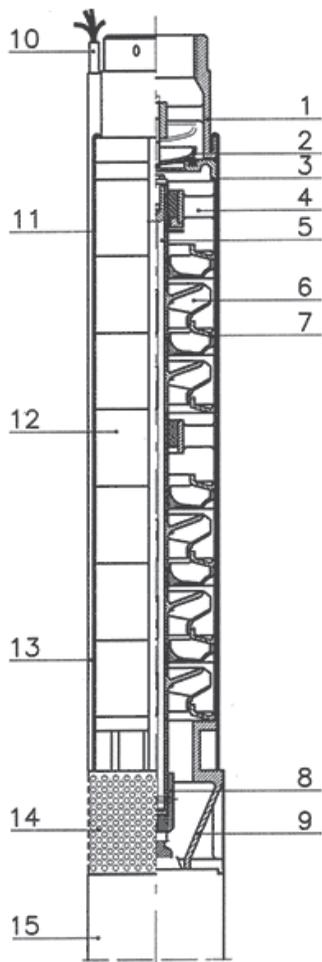


Рисунок 7.1 - Погружной центробежный насос ЭЦВ в разрезе
 1 – нагнетательный корпус; 2 – крышка обратного клапана; 3 – корпус обратного клапана; 4 – подшипниковый корпус; 5 – вал насоса; 6 – ротор; 7 – направляющая; 8 – муфта; 9 – корпус; 10 – питающий кабель; 11 – стягивающая втулка; 12 – средний корпус; 13 – защита питающего кабеля; 14 – защитная решетка; 15 – двигатель.

Струйные насосы называют также водоструйными, или гидроструйными, насосами, струйными аппаратами, гидроэлеваторами, эжекторами, инжекторами и др.

Принцип действия водоструйного насоса заключается в следующем (рис. 7.2). Рабочий поток, проходя через сопло, приобретает высокую кинетическую энергию. В результате уменьшается потенциальная энергия давления в струе жидкости, вытекающей из сопла. Из-за падения давления и перемешивания рабочей струи с окружающей жидкостью, последняя подсасывается (инжектируется) в рабочую камеру и движется с рабочей струей, образуя смешанный поток.

Обоснованию примерения и расчёту струйных насосов в различных областях использования посвящено большое число научных, производственных и учебных работ [2, 14, 29, 50, 52, 55, 57, 76, 78, 79, 82, 85, 90, 100, 114].

Серийные водоструйные насосы предназначены для проведения откачек из скважин, оборудованных фильтровыми колоннами диаметрами 89, 108, 146 и 168 мм. Эти насосы позволяют реализовать дебит откачки до 10 л/с при глубине динамического уровня до 70 м (табл. 7.2). Водоструйные насосы обеспечивают производство откачек при содержании твердых частиц в воде до 30 %.

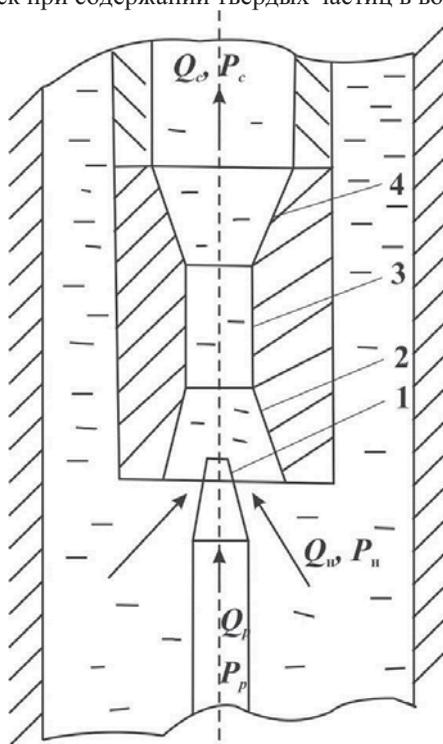


Рисунок 7.2 - Схема водоструйного насоса.

1 – рабочее сопло; 2 – конфузор; 3 – смесительная камера; 4 – диффузор;

Q_n, Q_p, Q_c – инжектируемый, рабочий и смешанный (сжатый) потоки соответственно; P_n, P_p, P_c – абсолютные давления инжектируемого, рабочего и смешанного потоков соответственно

Скважинные струйные насосы могут быть как пакерной (т.е. с гидравлическим пакером, рис. 7.3, 7.4), так и беспакерной конструкции (рис. 7.5). Струйные насосы с пакером могут использоваться в обсаженных скважинах, либо в необсаженных, но с применением дополнительной эксплуатационной колонны, в которой устанавливается струйный насос. Струйные насосы с пакером являются основным типом скважинных струйных насосов [2, 14, 57, 76, 78, 90]. Из-за высокой потери давления в водоподъёмном (смесеподъёмном) трубопроводе вследствие его небольшой площади поперечного сечения (в сравнении с пакерными струйными насосами), беспакерные струйные насосы [29] для производства откачек из глубоких скважин не пригодны.

При скважинных откачках используются струйные насосные установки (СНУ), состоящие из двух насосов – приводящего, обычно поверхностного (например, бурового поршневого) или иногда погружного (центробежного), и струйного насоса (рис. 7.4), связанных между собой гидравлическими магистралями (трубами, шлангами).

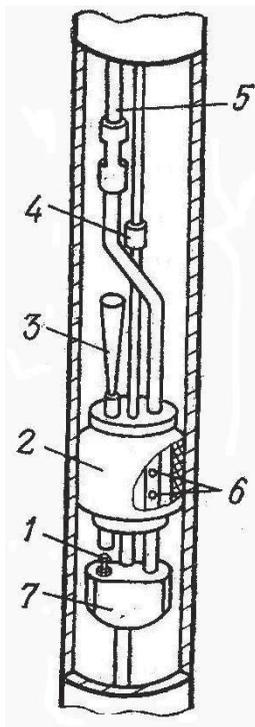


Рисунок 7.3 - Насос струйный (с пакером)

1 – рабочее сопло; 2 – гидравлический пакер; 3 – диффузор; 4 – пьезометрическая трубка; 5 – нагнетательная труба; 6 – отверстия; 7 – колено

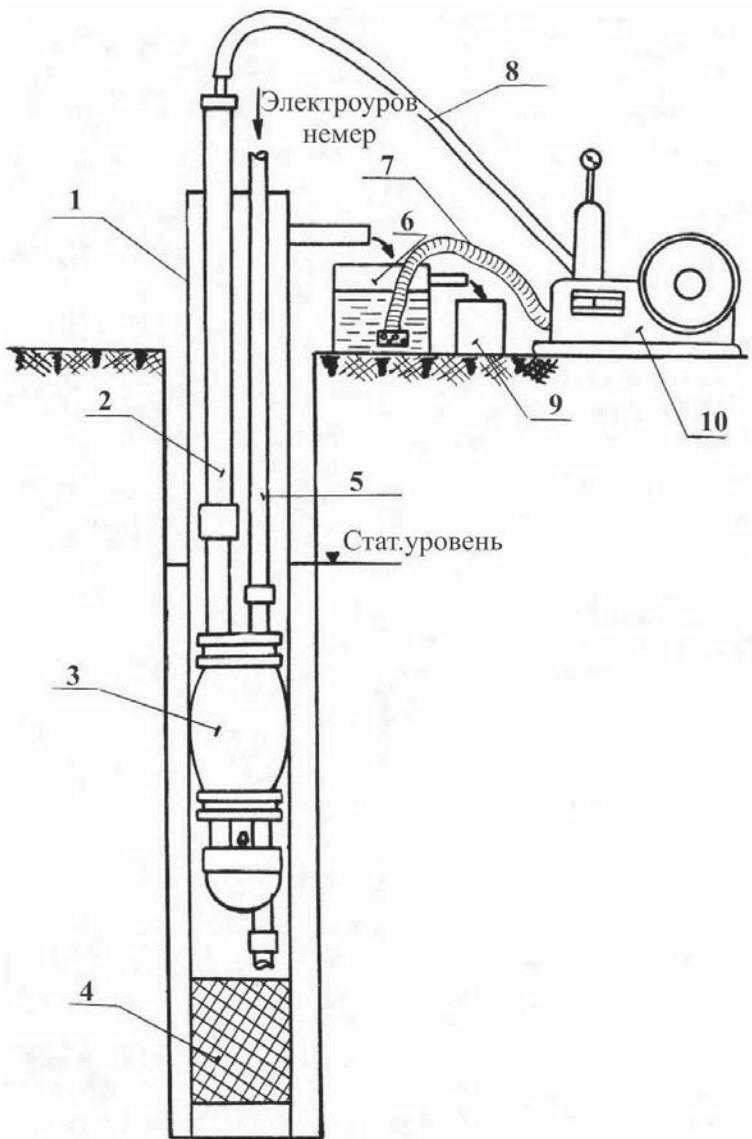


Рисунок 7.4 - Схема скважинной струйной насосной установки (СНУ)
 1 – эксплуатационная (фильтровая) колонна; 2 – нагнетательная труба; 3 – пакер гидравлический; 4 – фильтр; 5 – пьезометрическая трубка; 6 – промежуточная емкость; 7 – всасывающий шланг; 8 – нагнетательный шланг; 9 – мерная емкость; 10 – приводящий поверхностный насос

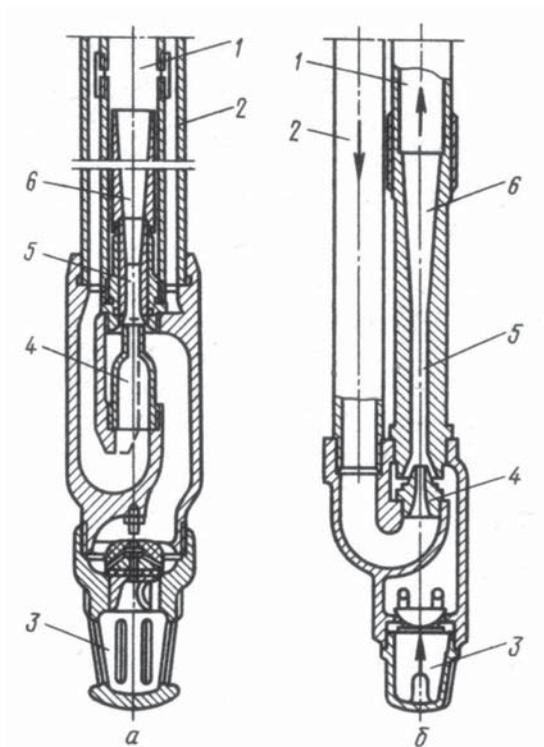


Рисунок 7.5 - Насос струйный (без пакера) с центральным (а) и боковым расположением (б) смесеподъёмных труб

1 – смесеподъёмная труба; 2 – напорная труба; 3 – обратный клапан;
4 – рабочее сопло; 5 – смесительная камера; 6 – диффузор

Диффузор струйного насоса служит для гашения скорости и увеличения давления смешанного потока. Для того, чтобы не произошло отрыва струи смешанного потока от внутренней поверхности диффузора угол его раствора β_d не должен превышать 12° : $0 < \beta_d \leq 12^\circ$. Гидравлический пакер служит для изоляции ствола фильтровой колонны: он удерживает столб жидкости, расположенной выше пакера, от проникновения в продуктивный горизонт. Для этого в нагнетательной трубе, находящейся внутри пакера, имеются два отверстия, благодаря которым при работе струйного насоса внутри пакера создается высокое давление. В результате пакер расширяется и плотно прижимается к внутренней поверхности эксплуатационной (фильтровой) колонны. Внутри пакера создается давление 2 – 3 МПа, приблизительно равное перепаду давления на рабочем насадке струйного насоса, что позволяет последнему удерживать столб воды не менее 150 м. Пьезометрическая трубка необходима для измерения уровня жидкости в скважине при помощи электроуровнемера.

Таблица 7.2 - Основные параметры водоструйных насосов

Параметры	Типоразмер насоса		
	НВ-89	НВ-108	УНВ-127/168
Тип	Водоструйный эжекторный		
Привод:	Приводящий (буровой) насос		
Подача Q_p приводящего насоса, м ³ /ч	14	16	16 – 18
Давление приводящего насоса, МПа	2,0	2,5	3,5 – 4,0
Подача Q_n водоструйного насоса (м ³ /ч) при высоте подъема воды, м:			
0 - 10	20	35	32
10 - 30	15	24	20
30 - 50	6	10	15
50 - 70	3	5	10
70 - 90	0	0	5
Диаметр фильтровой колонны, мм	89	108	127, 146, 168
Масса, кг	6	9	16

Спуск аппаратов с пакером в скважину и подъем их на поверхность осуществляют на бурильных трубах, по которым вода насосом подается к струйному аппарату.

Откачиваемая из скважины и нагнетаемая рабочая жидкость поднимаются на поверхность по кольцевому пространству между бурильной и обсадной колоннами.

Использование высоконапорных струйных аппаратов дает возможность одновременно с пробной откачкой воздействовать на призабойную зону скважин импульсами гидродинамического давления, при этом быстро восстанавливается проницаемость закольматированных фильтров и прилегающих к фильтрам водоносных пород.

Импульсы гидродинамического давления возникают в силу неравномерной подачи поршневыми буровыми насосами рабочей жидкости к струйным аппаратам.

При резких остановках поршневых насосов и соответственно струйных аппаратов давление нагнетания падает, пакер сжимается, раскрывая перекрытое кольцевое пространство между бурильной и обсадной колоннами, и весь столб жидкости, заполняющей скважину, передает давление на забой, создавая в фильтровой зоне резкий скачок давления, содействующий более полной и быстрой декольматации скважин.

Это явление используется при пробных откачках и освоении скважин путем периодических резких остановок поршневых насосов.

Для проведения откачек и освоения скважин струйными аппаратами не требуется предварительная замена в скважине глинистого раствора на воду. Струйные аппараты можно спускать в скважины, заполненные глинистым раствором практически любой концентрации.

Основные преимущества струйных насосов:

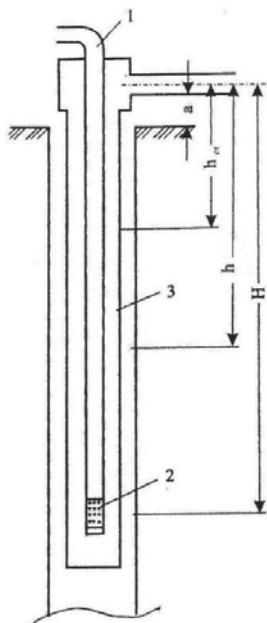
- простота конструкции, позволяющая использовать в практике не только серийно выпускаемые насосы, но и без существенных финансовых и материальных затрат изготавливать их в механических мастерских по индивидуальным проектам и заказам;
- отсутствие движущихся быстро изнашиваемых деталей, узлов и механизмов;
- возможность транспортирования смесей с высоким содержанием твёрдой фазы;
- возможность применения в слабонапорных и безнапорных продуктивных горизонтах.

Основные недостатки струйных насосов:

- необходимость в приводящем насосе;
- относительно низкое значение коэффициента полезного действия (КПД) работы струйного насоса ($\eta_{сн} \leq 0,3$).

7.3. Эрлифты

Эрлифт (англ. air – воздух, lift – поднимать) – воздушный подъёмник пластовой жидкости. Состоит из вертикальной трубы, в которую компрессором нагнетается воздух (рис. 7.6). Труба опущена в жидкость. Через отверстия в нижней её части (в смесителе) воздух выходит и перемешивается с жидкостью. Образовавшаяся в водоподъёмной (смесеподъёмной) трубе эмульсия (смесь жидкости и пузырьков воздуха) будет подниматься благодаря разности плотностей эмульсии и пластовой жидкости в затрубном пространстве.



Хотя расчёту и исследованию эрлифта (и газлифта, служащего для подъёма нефти при помощи природного горючего газа) посвящены многие работы [2, 29, 85, 90, 99, 126], надёжной теории его работы, точно подтверждаемой практикой, не создано. Приблизительному расчёту поддаётся, в основном, работа эрлифта при эмульсионной структуре водовоздушной смеси (возможны и иные структуры – стержневая, чёточная [126]).

Рисунок 7.6 - Схема оборудования скважины эрлифтом

- 1 – воздухопроводные трубы; 2 – смеситель; 3 – водоподъёмная колонна труб; $h_{ст}$ – глубина статического уровня жидкости в скважине (до

откачки); h – глубина динамического уровня (в процессе откачки); H – глубина спуска смесителя

Условие работы эрлифта при эмульсионной структуре водовоздушной смеси (рис. 7.6):

$$(\rho_{\text{см.ср.}} / \rho) < ((H - h) / H), \quad (7.1)$$

где: $\rho_{\text{см.ср.}}$, ρ – плотность эмульсии и жидкости соответственно; H , h – глубина спуска смесителя и динамического уровня жидкости в скважине соответственно.

Эрлифты получили широкое распространение при проведении гидрогеологических откачек за счет ряда преимуществ:

- отсутствия в скважине изнашиваемых механизмов и двигателя;
- простоты и надежности в работе;
- возможности откачки воды с высоким содержанием тяжёлых частиц различных фракций (до 30 %);
- высокой производительности;
- возможности регулирования водоотбора и динамического уровня воды для получения необходимых расчетных параметров откачки;
- возможности проведения прокачек скважин в пульсирующем режиме с целью разработки закольматированных водоносных горизонтов, эффективного выноса кольматанта и восстановления естественной проницаемости пласта;

Существующие конструкции эрлифтов имеют и ряд существенных недостатков:

- необходимость в компрессоре;
- возможность применения только в напорных водоносных горизонтах;
- сравнительно низкое значение коэффициента полезного действия (КПД) работы собственно эрлифта и эрлифтной установки в целом (как правило, менее 0,35 – 0,4).
- необходимость определенного отношения глубины погружения смесителя (H) к динамическому уровню (h), называемого коэффициентом погружения смесителя, или коэффициентом загрузки (K);
- нестабильность выходящего из скважины водовоздушного потока, влияние наличия воздуха в откачиваемой воде на показатели дебита.

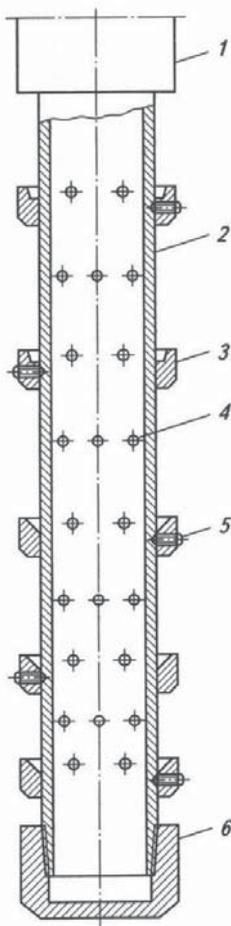
Одним из путей повышения эффективности откачек воды из скважин при помощи эрлифтных водоподъемников является совершенствование конструкции смесителя эрлифта.

7.3.1. Динамоэрлифты

Принцип действия динамоэрлифта заключается в создании закручиваемого направленного воздушного потока с переменным углом к оси скважины. Динамоэрлифт имеет три модификации [90].

Динамоэрлифт без поворотного механизма ДИЭР-1

Данная модификация является базовой (рис. 7.7). При проведении откачек воздух от компрессора подается по воздушным трубам 1 в смеситель 2 и, выходя через отверстия, попадает на экраны 3, направляющие воздушные струи под различными углами вверх, т.е. по ходу потока откачиваемой воды.



Отверстия смесителя расположены таким образом, чтобы воздушные струи охватывали весь полезный объем водоподъемных труб эрлифта в пределах длины смесителя.

Рисунок 7.7 - Динамоэрлифт без поворотного механизма ДИЭР-1

1 – воздушные трубы; 2 – смеситель; 3 – экран; 4 – отверстия; 5 – штифты; 6 – заглушка

За счет этого достигается:

- дополнительные динамические нагрузки на восходящий водовоздушный поток в водоподъемных трубах воздушным потоком того же направления и повышение скорости потока; интенсификация водоотбора и повышение КПД работы эрлифта;

- более эффективное распыление, смешивание и насыщение воды в водоподъемных трубах воздухом, что

также повышает интенсивность водоотбора и КПД эрлифта;

- более равномерное насыщение воды в водоподъемных трубах воздухом, о чем свидетельствует снижение пульсации выходящей из скважины воды.

Динамоэрлифт с верхним расположением поворотного механизма ДИЭР-2

Данная модификация (рис. 7.8) отличается от базовой модели наличием подшипникового узла и поворотного механизма. Компоновка динамоэрлифта данной модификации состоит из воздушных труб, подшипникового узла 11, поворотного механизма 21 и смесителя 22.

Воздух от компрессора подается по воздушным трубам, проходит через подшипниковый узел и поступает через окна 20 в поворотный механизм 21, представляющий собой набор дисков, крепящихся на корпусе 18 с помощью гайки и контргайки 19. В дисках профрезерованы кольцевые, радиальные и тангенциальные каналы, в которые поступает воздух через окна 20.

За счет реактивных сил воздушных струй поворотный механизм и смеситель 22 вращаются, что, по мнению авторов работы [90], еще больше увеличивает эффективность смешивания воздуха с водой. Кроме того, в потоке создается эффект закрутки воздушных струй, что способствует более эффективному подъему жидкости [90].

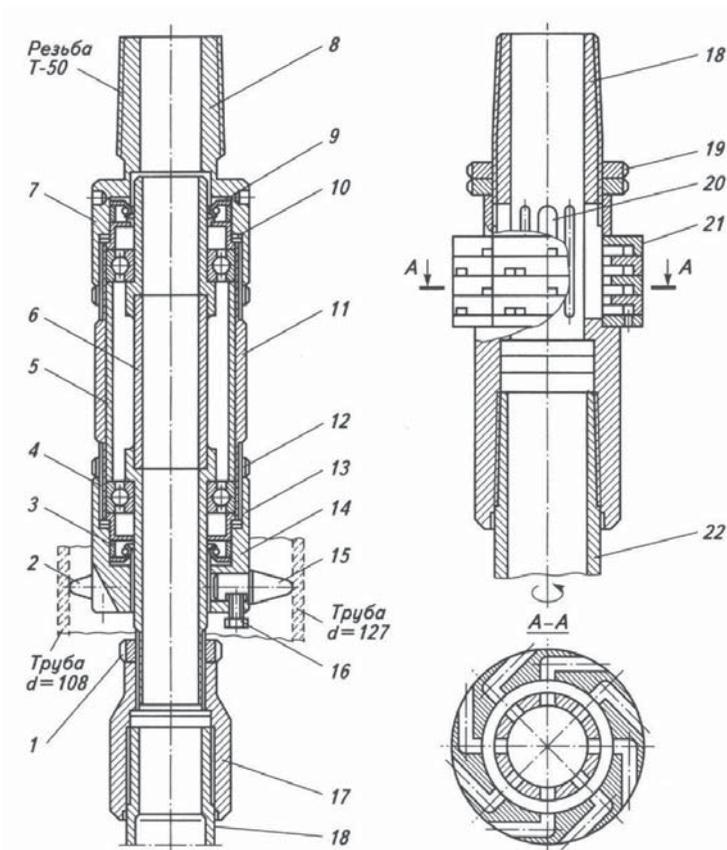


Рисунок 7.8 - Динамоэрлифт ДИЭР-2 с верхним расположением поворотного механизма.

1, 12, 19 – гайки; 2, 15 – сменные пальцы; 3 – манжета; 4 – подшипники; 5 – трубка; 6 – вал; 7, 14 – втулки; 8 – переходник на воздушные трубы; 9, 10 – кольца; 11 – корпус подшипникового узла; 13 – прокладка; 16 – болт;

17 – переходник; 18 – корпус поворотного механизма; 20 – окна;
21 – поворотный механизм; 22 – смеситель

Динамоэрлифт с нижним расположением поворотного механизма ДИЭР-3 (рис. 7.9)

Данная модификация отличается от предыдущей тем, что поворотный механизм 3 устанавливается в нижней части смесителя. Это позволяет [90] применять два поворотных механизма для повышения эффекта аэрации воды в зависимости от различных гидрогеологических характеристик водоносных горизонтов.

7.3.2. Ступенчатые эрлифты

При низких статических (и, соответственно, динамических) уровнях воды в скважине или при небольших дебитах водоносных горизонтов (когда ожидается значительное понижение уровня воды при откачке) приходится предусматривать установку воздушных труб на значительную глубину, чтобы получить удовлетворительный коэффициент загрузки. Эта задача успешно решается при использовании ступенчатого эрлифта (рис. 7.10), что значительно расширяет область применения эрлифтных водоподъемников.

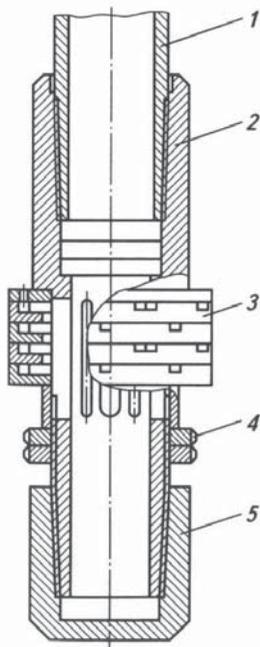


Рисунок 7.9 - Нижнее расположение поворотного механизма в динамоэрлифте ДИЭР-3

1 – смеситель; 2 – корпус; 3 – поворотный механизм; 4 – гайки; 5 – заглушка

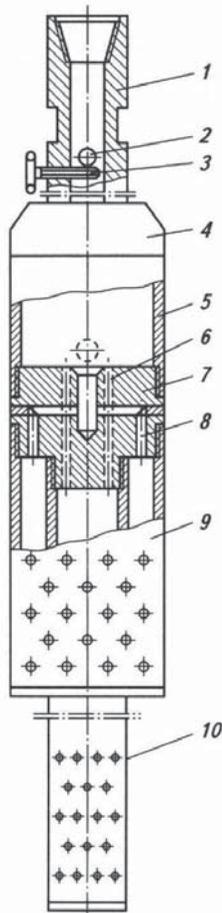


Рисунок 7.10 - Ступенчатый эрлифт СТЭ

1 – nipple замка; 2 – шаровой клапан; 3 – винт; 4 переходник; 5 – муфта; 6 – каналы 2-ой ступени; 7 – распределительный узел; 8 – каналы 1-ой ступени; 9 – смеситель 1-ой ступени; 10 – смеситель 2-ой ступени

Ступенчатый эрлифт предназначен для проведения гидрогеологических откачек из скважин с глубоким залеганием водоносных горизонтов.

В процессе работы эрлифта воздух от компрессора по воздухопроводным трубам через ниппель, переходник и муфту поступает в распределительный узел 7. Шаровой клапан 2 находится в верхнем положении в ниппеле 1 и удерживается винтом 3, т.е. воздушные каналы в распределительном узле открыты. Однако воздух в этом случае пойдет по воздушной линии с меньшим сопротивлением, т.е. по каналам 8 к смесителю первой ступени.

После стабилизации работы эрлифта на первой ступени с помощью винта 3 освобождается шаровой клапан 2, который, опускаясь вниз, перекроет каналы 8 первой ступени, и воздух будет направлен по каналам 6 во вторую ступень 10 без остановки компрессора.

В этих условиях первая ступень эрлифта обеспечивает первоначальное снижение гидростатического давления столба жидкости над смесителем второй ступени, опущенным под динамический уровень на глубину, соответствующую необходимому коэффициенту загрузки, что позволяет ввести в работу вторую ступень эрлифта (и в целом работу эрлифтного водоподъемника), не прибегая к повышенным пусковым давлениям компрессора.

Расчет глубины загрузки ступеней эрлифта производится следующим образом (рис. 7.11).

При расчете глубины загрузки смесителя первой ступени H_1 необходимо учитывать обязательное условие: столб воды над смесителем первой ступени не должен превышать 60 – 65 м, что соответствует максимальному давлению большинства применяемых передвижных компрессоров (0,6 – 0,7 МПа), так как в противном случае включить в работу первую ступень не удастся.

Таким образом, H_1 определяется заранее по формуле:

$$H_1 \leq (h_0 + 100 \cdot P_m), \quad (7.2)$$

где h_0 – глубина статического уровня, м; P_m – максимальное давление компрессора, МПа.

Рабочее давление компрессора P_1 (в МПа) определяется по формуле:

$$P_1 = 0,01 \cdot [h_1 \cdot (K_1 - 1) + 5], \quad (7.3)$$

где h_1 – глубина динамического уровня, м; K_1 – коэффициент загрузки смесителя.

После включения в работу первой ступени компрессор начинает работать на пониженном давлении, соответствующем давлению рабочего столба жидкости над смесителем, т.е. образуется определенный резерв давления, который и будет определять глубину загрузки смесителя второй ступени H_2 .

Это обеспечивается за счет непрерывности процесса, так как вторая ступень включается практически сразу после отключения первой ступени.

Тогда

$$H_2 = H_1 + 100 \cdot (P_m - P_1). \quad (7.4)$$

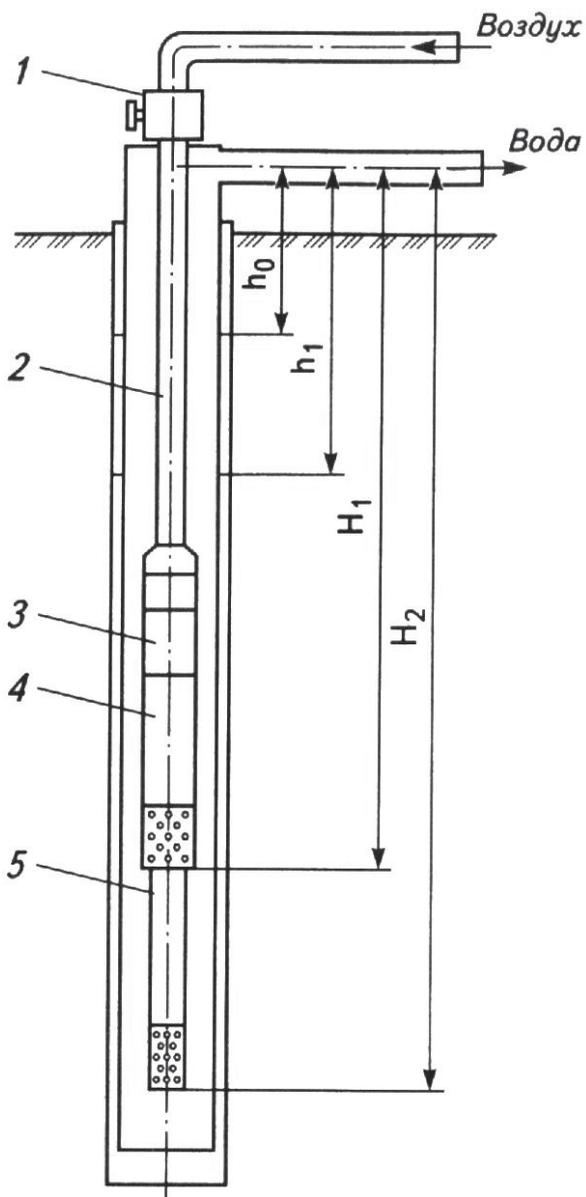


Рисунок 7.11 - Монтажная схема ступенчатого эрлифта
 1 – nipple замка; 2 – воздухопроводные трубы; 3 – распределительный узел;
 4, 5 – трубы первой (4) и второй (5) ступеней со смесителями

Пример 6:

Исходные данные: статический уровень $h_0 = 70$ м, динамический уровень $h_1 = 80$ м, максимальное давление компрессора $P_m = 0,65$ МПа.

Решение:

Во избежание работы компрессора на предельной нагрузке, примем загрузку смесителя первой ступени под статический уровень 60 м, т.е. $H_1 = 70 + 60 = 130$ м, что будет соответствовать пусковому давлению компрессора 0,6 МПа.

$$K = \frac{130}{80} = 1,61.$$

При таком коэффициенте загрузки эрлифт будет работать в неустойчивом режиме и потребуется включение второй ступени.

$$P_1 = 0,01 \cdot [80 \cdot (1,61 - 1) + 5] = 0,53 \text{ МПа.}$$

$$H_2 = 130 + 100 \cdot (0,65 - 0,53) = 142 \text{ м.}$$

$$K_1 = \frac{142}{80} = 1,8.$$

При таком коэффициенте загрузки эрлифт будет работать в более устойчивом режиме, несмотря на выбранные достаточно жесткие условия.

В процессе откачки предварительные расчетные параметры эрлифта корректируются с учетом фактических понижений уровня (динамических уровней), а не ожидаемых, принятых в расчетах.

Использование ступенчатых эрлифтов существенно расширяет область применения эрлифтных водоподъемников, являющихся в определенных условиях одним из основных средств освоения скважин на воду и проведения опытно-фильтрационных работ, в том числе при значительных дебитах скважин и неудовлетворительных характеристиках водоносных горизонтов (низкие значения коэффициента фильтрации), а также позволяет проводить опробование в скважинах относительно небольших диаметров.

Разработанная новая конструкция ступенчатого эрлифта позволяет значительно облегчить конструкции гидрогеологических скважин и сократить сроки их сооружения; она достаточно проста в изготовлении и не вызывает трудностей при установке в скважине.

ГЛАВА 8

Ликвидация скважин

8.1. Способы ликвидации буровых скважин в различных геолого-гидрогеологических условиях

Ликвидация скважин различного назначения – это комплекс мероприятий, направленных на восстановление нарушенного в процессе производства буровых работ естественного состояния земельных участков и горных пород с целью охраны недр и окружающей среды.

Все скважины, выполнившие свое назначение, а также аварийные и вышедшие из строя по техническим и другим причинам, подлежат ликвидации, т.е. заполнению ствола скважин водонепроницаемым материалом с целью защиты водоносных горизонтов от загрязнения и смешивания подземных вод, сохранения гидрогеологических условий данного региона.

Действующие скважины также могут являться источником загрязнения водоносных горизонтов из-за неправильного оборудования устья, некачественного цементирования обсадных колонн, коррозии обсадных труб и их разгерметизации и т.д. Такие скважины также подлежат ликвидации.

Как показывает практика, более 25 % пробуренных скважин после их ликвидации оказываются затампонированными некачественно и продолжают служить источником загрязнения подземных вод.

Для качественного проведения ликвидационных работ необходимо по каждой скважине иметь следующие сведения: время ее сооружения, конструкцию, геологический разрез и данные о водоносных горизонтах, техническое состояние на момент ликвидации (состояние устья, ствола, наличие в скважине посторонних предметов и т.д.).

На каждую ликвидируемую скважину составляется проект ликвидационного тампонирувания, который включает:

- все сведения по скважине;
- способ тампонирувания, места установки тампонажных пробок, цементных мостов;
- наименование тампонажных материалов и расчеты потребного их количества;
- состав тампонажных растворов и смесей;
- способы доставки тампонажных материалов в скважину;
- применяемое оборудование, технические средства.

При упрощенном способе ликвидационного тампонирувания скважин глубиной до 50 м, не вскрывших водоносные горизонты, допускается составление проекта для группы однотипных скважин.

В случае расположения ликвидационных скважин на площадях горного отвода действующих или строящихся предприятий, проект согласовывается с этими предприятиями. При расположении скважин в пределах первого и

второго поясов зоны санитарной охраны действующих и проектируемых водозаборов или курортов, проект согласовывается с местными органами санэпиднадзора и с территориальными курортными управлениями.

По окончании ликвидационных работ на каждую скважину составляется акт о проведении ликвидационного тампонирования, включающий следующие сведения:

- состав ликвидационной комиссии;
- наименование и адрес объекта;
- тип скважины, ее номер, начало и окончание бурения, дата производства тампонажных работ;
- конструкция и состояние скважины перед тампонированием, анализы воды;
- данные о санитарной обработке скважины перед тампонированием;
- вид тампонирования, состав и количество тампонажных смесей, способы доставки их в скважину;
- количество, интервалы и способы установки цементных мостов;
- данные о межтрубной и затрубной цементации в момент тампонирования: интервалы и методы перфорации обсадных труб, способы цементации, количество и качество цементного раствора;
- интервалы частичного тампонирования;
- способы испытания скважины на герметичность и полученные результаты;
- затраты времени на ликвидационное тампонирование.

Упрощенный способ тампонирования применяется при ликвидации скважин, не вскрывших горные выработки и не пересекающих водоносные горизонты. Способ заключается в полном заполнении всего объема скважины тампонажной смесью (глиной или густым глинистым раствором).

Сложное ликвидационное тампонирование производится в скважинах, пересекающих один или несколько водоносных горизонтов. Основными его задачами являются:

- восстановление водоупоров путем установки в них тампонажных мостов;
- восстановление естественного состояния пород водоносных горизонтов путем заполнения их интервалов фильтрующим материалом.

Перед проведением тампонажных работ обсадные трубы должны извлекаться из скважины для обеспечения надежного сцепления материала тампонажных мостов непосредственно с породой водоупоров. Это полностью исключит проникновение загрязняющих веществ в водоносные горизонты или сообщение последних по затрубному пространству.

При отсутствии такой возможности (обсадные трубы извлечь не удастся, создается угроза обрушения стенок скважин) необходимо:

- засыпать скважину песчано-гравийной смесью до башмака обсадной колонны с трамбовкой;
- обсадную трубу выше башмака перфорировать на высоту 10 – 15 м (10 – 15 отверстий на 1 м трубы) и произвести цементацию затрубного пространства;

- залить в скважину цементный раствор на высоту 10 – 15 м выше башмака (на 1 м³ раствора необходимо 1,2 т цемента и 0,6 т воды);

- верхнюю часть скважины затампонируют глиной.

К тампонажным материалам, растворам и смесям, применяемым при ликвидационном тампонировании, предъявляются следующие требования:

- невысокая вязкость, хорошая прокачиваемость для предупреждения гидравлических разрывов пластов (водоупоров) при закачивании и нарушении изоляции водоносных горизонтов;

- быстрота загустевания (твердения) после закачивания с целью уменьшения проникновения в пласт;

- высокая механическая прочность камня;

- высокая коррозионная стойкость против агрессивных вод;

- малая фильтратоотдача, предупреждающая потерю текучести тампонажного раствора при его закачивании;

- хорошая сцепляемость с породой и обсадными трубами;

- минимальная водогазопроницаемость;

- совместимость с различными химическими реагентами.

Все тампонажные материалы, используемые при тампонировании скважин, должны пройти санитарно-гигиеническую и токсикологическую оценку и иметь качественные характеристики по следующим параметрам:

- влияние на органолептические свойства контактирующих с ними пластовых вод;

- качественный и количественный состав веществ, выделяющихся из тампонажных материалов, их биологическая активность и устойчивость.

При применении тампонажных материалов должны быть рекомендации по исключению или уменьшению загрязнения пластовых вод.

В настоящее время для ликвидационного тампонирования применяется множество тампонажных материалов, реагентов, растворов и смесей.

Портландцемент применяется самостоятельно как вяжущий тампонажный материал при приготовлении цементных растворов, служит основой многих видов тампонажных материалов для большинства специальных (модифицированных) цементов, растворов и смесей с инертными или активными добавками, а также применяется в качестве добавки в различные тампонажные смеси на основе других веществ.

Разновидности портландцемента: высокопрочный, быстротвердеющий, сульфатостойкий, пластифицированный, гидрофобный, песчанистый и др.

Тампонажные растворы на основе вяжущих материалов:

- цементные – на основе портландцемента без добавок и с добавками, регулирующими различные свойства растворов: облегченные, утяжеленные, соляные, песчанистые, волокнистые, быстрохватывающиеся и др.;

- гипсовые;

- гипсоцементные.

Тампонажные растворы на основе полимеров. Растворы обладают следующими преимуществами:

- высокой коррозионной стойкостью;
- непроницаемостью или низкой проницаемостью для пластовых флюидов;
- малой фильтратоотдачей (вплоть до нулевой);
- высокой механической прочностью камня.

Основное применение эти растворы нашли при склонности пластов к гидравлическому разрыву, при интенсивных газопроявлениях, при наличии интенсивных поглощений и агрессивных пластовых вод.

Тампонажные пасты. Это нерастекаемые, но прокачиваемые по бурильным трубам массы. Применяются пасты твердеющие (на основе вяжущих и полимеров) и нетвердеющие (на глинистой основе). Основное назначение паст – тампонирующие зон интенсивных поглощений, приуроченных к крупнотрещиноватым и кавернозным породам.

Химические реагенты применяются для регулирования свойств тампонажных растворов и смесей. По факту действия они подразделяются на следующие группы:

- ускорители схватывания и твердения – для обеспечения быстроты загустевания и твердения тампонажных материалов после закачивания в скважину;

- замедлители схватывания и твердения – для предупреждения преждевременного загустевания и схватывания тампонажных растворов;

- регуляторы реологических свойств, определяющие степень текучести растворов;

- понизители водоотдачи;

- пеногасители – для гашения в растворах пены, появляющейся при введении в них некоторых реагентов.

Скважины со слабым водопритоком и небольшой глубины тампонируют глиной по всему стволу. Тампонажный материал готовят из вязкой глины с содержанием песка не более 6 %. Глину слегка замачивают, тщательно перемешивают, влажность массы должна быть минимальной. Из тампонажного материала готовят глинистые шарики, слегка подсушивают и забрасывают в скважину через устье с последующей трамбовкой через 1 – 1,5 м. Размер шариков выбирается на 30 – 40 мм меньше диаметра скважины.

Скважины с большим водопритоком (в том числе самоизливающиеся с напором до 1,5 м) ликвидируются в следующей последовательности:

- в пределах водоносных горизонтов ствол скважины засыпается чистым промытым песком или гравием;

- в подошве и кровле водоупоров, ограничивающих водоносные горизонты, устанавливаются цементные мосты мощностью до 4 м с заполнением пространства между ними в пределах водоупоров глинистыми шариками или глинистым раствором. Для цементных мостов применяется песчаный цементный раствор. Плотность цементного раствора 1,8 – 1,9 г/см³, глинистого раствора – 1,2 – 1,3 г/см³;

- интервал выше последнего цементного моста забрасывается до устья скважины глиной с последующей трамбовкой.

Если ликвидируемая скважина находится вблизи действующих, то сама скважина и тампонажный материал подвергаются обработке раствором хлорной извести с содержанием активного хлора 75 – 100 мг на 1 л воды.

Сильно засоренные скважины, которые невозможно очистить полностью, тампонируются только цементным раствором до глубины на 10 – 15 м выше кровли водоносного горизонта. Остальной интервал до устья скважины тампонируется глиной.

Скважины с большими песчаными пробками, не позволяющими изолировать водоносные горизонты друг от друга, ликвидируются в следующей последовательности:

- желонкой или эрлифтом очищают ствол скважины от песка;
- закачивают в скважину утяжеленный глинистый раствор для создания избыточного противодавления на водоносные горизонты;
- засыпают на забой (до водоупора) гравийно-щебеночную смесь;
- скважину выше засыпки промывают водой и тампонируют цементным раствором на 10 – 15 м выше кровли изолируемого водоносного горизонта;
- остальной ствол до устья заполняют глиной и трамбуют.

В бездействующих длительный срок скважинах, вскрывших несколько водоносных горизонтов с пресными водами, близкими по солевому составу, необходимо:

- проработать скважину и промыть глинистым раствором или водой;
- залить скважину хлорированной водой (объем воды принимается равным трюной объему скважины).

В аварийных скважинах, подлежащих тампонированию, в случае частичного перекрытия ствола скважины аварийным инструментом или обрушенной породой, интервал от забоя до места аварии заливается цементным раствором, а остальная часть – от места аварии до устья – тампонируется по вышеуказанным схемам.

Качество каждого отдельного тампонирования проверяется по истечении 24 ч путем испытания на герметичность следующими способами:

- гидравлической опрессовкой на давление, превышающее пластовое, но не более, чем на 5,0 МПа. Тампонирование считается качественным, если за 30 мин давление в обсадной колонне снизится не более чем на 0,5 МПа;
- желонированием жидкости из скважины с понижением уровня. Тампонирование считается качественным, если за 24 ч уровень восстановился не более чем на 1 м. При неудовлетворении этим требованиям необходимо повторить цементацию до полной изоляции водоносного горизонта.

Наличие и глубина установки цементных мостов проверяются путем опускания в скважину бурового снаряда и отбора образца затвердевшего цемента.

Отсутствие цемента в скважине на определенной глубине отмечается обычно при тампонировании в проницаемых пластах, представленных трещиноватыми и кавернозными породами; в этом случае цементацию необходимо повторить, применяя тампонажные смеси с добавками.

При выборе состава смеси необходимо учитывать величину раскрытия трещин, приемистость поглощающих горизонтов, пластовое давление. Интенсивность водопритока определяется с помощью достаточно эффективного метода – расходомерии и создаваемой репрессии на пласт.

Наиболее простыми по составу и экономичными являются тампонажные смеси на базе глинистого раствора с добавками, обладающими, с одной стороны, высокими структурно-механическими и закупоривающими свойствами, а с другой – удовлетворительной прокачиваемостью буровым насосом. Параметры этих смесей зависят от качества исходного глинистого раствора и подбираются опытным путем. Ориентировочный состав смеси: на 1 м³ глинистого раствора добавляется 100 – 125 кг портландцемента и 5 – 10 кг жидкого стекла. Цемент является наиболее эффективным структурообразователем, увеличивающим прочность структуры смеси, а жидкое стекло позволяет значительно ускорить процесс структурообразования. Поэтому рекомендуется жидкое стекло добавлять в смесь непосредственно перед закачиванием ее в скважину.

При наличии интенсивного движения подземных вод по проницаемому пласту с высоким пластовым давлением, когда глиноцементные тампонажные смеси не дают положительных результатов, следует применять тампонажные смеси на базе портландцемента с добавками реагентов-ускорителей схватывания (хлористый кальций, поваренная соль, жидкое стекло и др.) в количестве от 1,5 до 5 % в зависимости от конкретных условий, а также наполнителей (кварцевый песок, до 50 % по массе – песчаный цемент, хлопковые отходы, асбестовая крошка, отходы кордного волокна, до 3 % – волюкнистый цемент, глинопорошок, до 20 % – гель-цемент и др.).

Одним из основных требований к тампонажным материалам является их стойкость в условиях агрессивных подземных вод. Наиболее эффективный способ повышения коррозионной стойкости цементов – применение специальных цементных материалов, содержащих активные наполнители:

- для вод, содержащих сульфаты – сульфатостойкий, пуццолановый, глиноземистый цементы, гель-цемент;
- в водах хлоридно-натриевого типа – глиноземистый, песчаный цементы;
- при наличии в воде ионов магния – портландцемент с добавкой 15 % мела и др.

Доставка тампонажных смесей в скважину производится различными способами, с применением различных технических средств в зависимости от состава смеси, ее вязкости, количества и глубины залегания водоносных горизонтов:

- буровым насосом по стволу скважины через загерметизированное устье (при относительно небольших глубинах – до 20 м);
- буровым насосом через загерметизированное устье по бурильным трубам, опущенным в заданный интервал (при больших глубинах);
- в скважинах с открытым устьем – по колонне бурильных труб с установленным на ней (над ликвидируемым интервалом) пакером;

- через колонну бурильных труб с установленными на ней двумя пакерами, полностью изолирующими ликвидируемый интервал.

По окончании ликвидационного тампонирования ствола скважины производится ликвидация ее устья в следующем порядке:

- на устье скважины проходится шурф глубиной 1,0 м и сечением $1,0 \times 1,0$ м;

- при отсутствии обсадных труб на устье скважины укладывается бетонная плита размером $0,8 \times 0,8 \times 0,15$ м, на которой указывается номер скважины, ее глубина, дата окончания бурения и дата ликвидации скважины. Шурф засыпается грунтом с последующей трамбовкой;

- при наличии обсадной колонны верхняя труба срезается на высоту 0,8 м, а на оставшуюся часть одевается и приваривается металлическая заглушка с аналогичной надписью. Шурф также засыпается грунтом с последующей трамбовкой.

В скважинах, пробуренных в песках, пльвунах, галечниках при извлечении обсадных труб происходит самоликвидация части ствола за счет обрушения стенок; остальная часть скважины тампонируется глиной.

По окончании ликвидационных работ необходимо провести рекультивацию земельного участка согласно требованиям действующих инструкций.

На рис. 8.1 приведена в качестве примера схема ликвидационного тампонирувания скважины, оборудованной фильтровой колонной (установленной впотай) диаметром 273 мм с двумя рабочими участками – на интервале 95 – 105 м и на интервале 150 – 157 м. Перед ликвидацией фильтровая колонна, кондуктор и направление извлечены из скважины.

В зоны, где имеется поступление и движение вод, засыпан инертный материал – гравий и песок, предварительно промытые водой для отмыва мелких фракций и продезинфицированные. Над инертным материалом через трубы залит цементный раствор для установки цементных мостов.

В табл. 8.1, 8.2 и 8.3 приведены рецептуры тампонажных растворов, ускорителей схватывания и твердения и регуляторов реологических свойств.

8.2. Способы ликвидации самоизливающихся скважин

Фонтанирующие самоизливающиеся гидрогеологические скважины наносят большой ущерб окружающей среде, нарушая природный ландшафт территории, изменяя режим поверхностных и подземных вод, загрязняя водные бассейны, выводя из хозяйственного оборота плодородные земли. Ликвидация таких скважин представляет собой сложный и трудоемкий процесс. В самоизливающихся закрепленных трубами скважинах с напором до 1,5 м для удобства работы рекомендуется нарастить обсадную колонну отрезком трубы соответствующего диаметра и общей высотой, превышающей высоту напора

Таблица 8.1 - Тампоажные растворы и смеси

Тип раствора и смесей	Состав	В/Ц	Сроки схватывания, ч-мин		Плотность	Основные свойства (характеристики)	Назначение
			Начало	Окончание			
1	2	3	4	5	6	7	8
Растворы и смеси на основе минеральных вяжущих							
Базовый	Тампоажный поргланцемент ПЦТ (ГОСТ 1581-85)	0,5	2,00	10,00	1,8-1,9	Хорошая текучесть и прокачиваемость	1. Для пористых и мелко трещиноватых пород с малой и средней интенсивностью поглощения; 2. В качестве базового для тампоажных смесей
Облегченные	ПЦТ – до 40 %; диатомит, трепел, опока – до 45 %; доменный шлак – до 20 %	0,95 – 1,2	2,00	18,00	1,4-1,6	Малая водоотдача, хорошие закупоривающие свойства	Для малых пластовых давлений и уменьшения поглощения раствора.

		продолжение табл. 8.1					
Утяжеленные	ПЦТ – до 20%; гематит, барит – до 75 %; доменный шлак – до 20%	0,33-0,35	2,00	12,00	1,95-2,3	Прочный камень, малая проницаемость, упругость	Для высоких давлений
Соляные	ПЦТ, затворенный на насыщенном растворе солей; NaCl – 26,4 %, MgCl-36,0 %, CaCl ₂ -42,3 %, Na ₂ SO ₄ -14,4 %	0,5	0,500 -1,50	3,50 – 1,50	1,95-2,0	Хорошая прокачиваемость, сцепляемость с породами и трубами, совместимость с другими реагентами	Для соленосных отложений, агрессивных подземных вод
Песчаные	ПЦТ– до 50 %; кварцевый песок – до 50 %	0,8	9,00	10,00	1,85	Прочный непроницаемый камень, коррозионно стойкий	Для соленосных отложений, агрессивных подземных вод
Волокнистые	ПЦТ с наполнителями – до 3 % (хлопковые отходы, волокна асбеста, отходы кордного волокна)	0,5	2,00	10,00	1,8	Повышенная вязкость	Уменьшение поглощения в кавернозных породах с интенсивным поглощением
Глиноцементные	ПЦТ с добавлением бентонита – 4 –10% и CaCl – 4 %	0,5	3,15 – 3,50	4,40 – 5,05	1,8 –1,84	Хорошие закупоривающие свойства	Для зон интенсивных поглощений

продолжение табл. 8.1							
Быстро схватывающиеся	ПТЦ с добавлением ускорителей схватывания от 2 до 10 %;	0,5	0,50 – 1,50	1,00 – 2,00	1,8 – 1,85	Сокращение сроков схватывания	Для зон интенсивных поглощений
	CaCl ₂ , Na ₂ CO ₃ , NaCl, NaOH, NaSiO ₃						
	Гипс строительный с добавлением 0,5 – 1,0 % замедлителей схватывания (КМЦ, ССБ, гипан, ПАА и др.)	0,6	0,40 – 1,50	1,00 – 1,68	1,67–1,68		
Растворы и смеси на основе полимеров							
Отверждаемый глинистый раствор	Глинистый раствор плотностью 1,1–1,4 т/м ³ – 58 – 65 %; 30 %-ный формалин – 10–16 %, состав ТС-10 – 25-26 %		1,00 – 3,00	1,20 – 3,30	1,2	Высокая седиментационная устойчивость, небольшая проницаемость камня	Для зон интенсивных поглощений
Тампонажная смесь СКМ-9	Карбамидная смола М19-62, отверждаемая 30 %-ным водным раствором хлорного железа 0,5 – 1,0 %		2,00 – 0,50	3,00 – 1,10	1,4		

Тампонажные пасты

Гипановая цементная паста	<p>Массовые части ПТЦ – 100; гипан – 1,0; CaCl_2 – 3,0 – 5,0</p>	2,35 – 2,45	3,45 – 4,45	1,8 – 1,85	<p>Твердеющая, нарастаемая, но прокачиваемая масса с высокой начальной пластической прочностью</p>	<p>Для зон интенсивных поглощений, приуроченных к крупно трещиноватым и кавернозным породам</p>
Глиноцементная паста	<p>ПТЦ – 100 кг; Бентонит – 200–500 кг; сульфат алюминия – 30-60 кг; вода – 0,75–1,25 м³</p>	0,5-0,6		1,76–1,62	<p>Нетвердеющая, нарастаемая, но прокачиваемая масса с пластической прочностью 32 кПа через 1 ч перемешивания; скорость восстановления структуры через 1 сут. твердения – 0,26 кПа/мин</p>	

Таблица 8.2 - Ускорители схватывания и твердения

Реагент	Условия применения	Количество реагента, % от массы цемента	Примечание
Хлорид кальция CaCl ₂ (ГОСТ 450-77)	Положительные температуры	≤ 2	Разжижает цементные растворы, сильный ускоритель схватывания
	Отрицательные температуры до -10 °С	2 – 8	
	Наружные отрицательные температуры до -25°С	≤ 18	
	Тампонирование в солевых (NaCl, KCl) пластах	До насыщения	
Хлорид натрия NaCl, хлорид калия KCl (ГОСТ 13830-84, ТУ 113-13-14-82)	Положительные температуры	≤ 2	Несколько разжижает цементные растворы
	Отрицательные температуры до- 10 °С	1 – 4	
	Наружные отрицательные температуры до -25°С	≤ 15	
	Тампонирование в солевых (NaCl, KCl) пластах	≤ 15	
Углекислый натрий Na ₂ CO ₃ (кальцинированная сода)	Положительные температуры до 130°С	1 – 5	Пластифицирует смеси с гипаном и ПАА
Сульфат натрия Na ₂ SO ₄ , сульфат калия K ₂ SO ₄ (ГОСТ 6318-77, ГОСТ 4145-74)	Положительные температуры	1 – 6	
Жидкое стекло	Положительные температуры, растворы на основе шлаков и зол	5 – 15	Уменьшает прочность цементного камня

Мочевина (карбамид)	Положительные температуры	0,1 – 1,0	Не вызывает коррозию труб
	Отрицательные температуры до - 8 °С	15	
Едкий натр NaOH	Положительные температуры	0,3 – 0,8	
	Отрицательные температуры до - 5 °С		

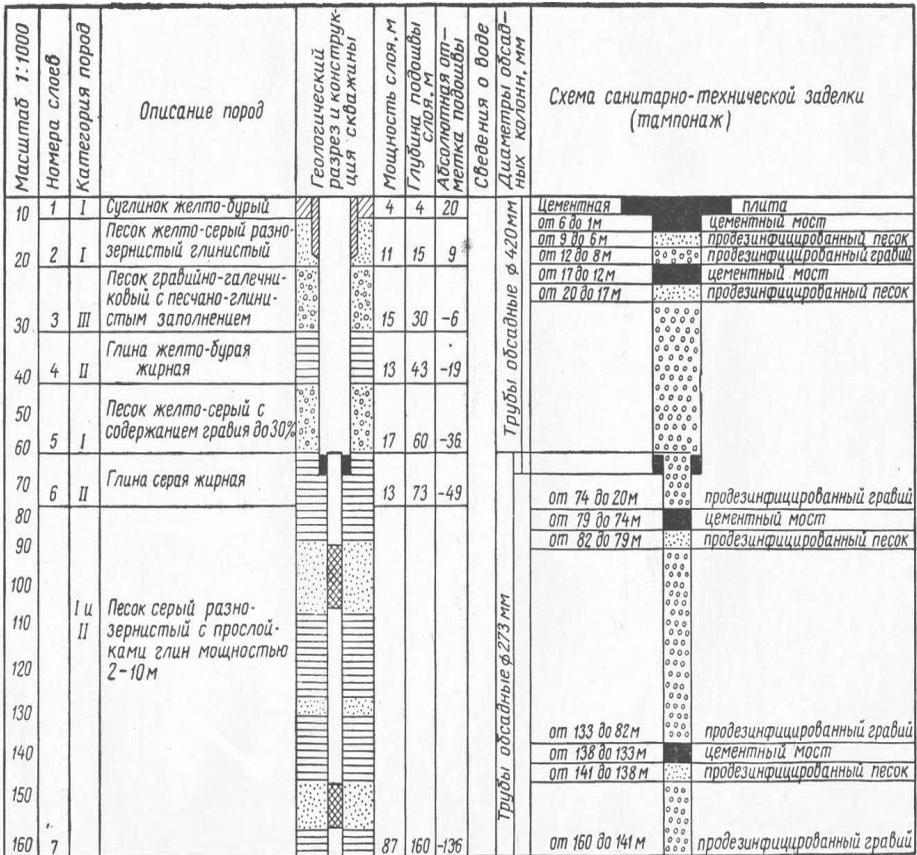


Рисунок 8.1 - Схема ликвидационного тампонирувания скважины

Таблица 8.3 - Регуляторы реологических свойств

Реагент	Условия применения	Количество реагента, % от массы цемента	Примечание
КССБ	Необходимость снижения В/Ц для повышения прочности камня	0,1– 7,0	Уменьшает вязкость в 1,5 раза, снижает водоотдачу
СДБ	То же	0,1 – 7,0	Уменьшает вязкость и водоотдачу
Гипан	Температура до 150°С	0,5 – 1,0	Уменьшает водоотдачу, увеличивает вязкость в 1,5 – 3,5 раза
Винная кислота	Температура до 200°С	0,5 – 1,0	Сильный замедлитель схватывания и твердения
Бура	Температура до 150°С	0,3 – 1,0	Замедлитель схватывания
ПФЛХ	Температура до 100°С	0,1 – 0,3	Снижает пенообразование
Хромпик	Температура до 200°С	0,15 – 0,5	Применяется с СДБ, КССБ, КМЦ, гипаном
ГИФ-1	Необходимость снижения В/Ц для повышения плотности камня	0,1	Вызывает пенообразование
Полимерный реагент ВРП-1	Температура до 75°С	0,002 – 0,008	То же

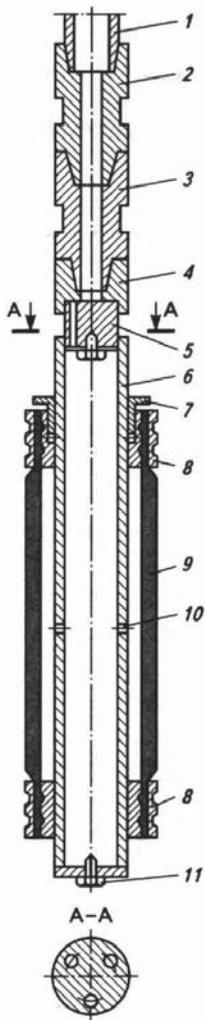
самоизлива, что позволит ликвидировать самоизлив на время проведения ликвидационных работ описанными выше способами.

В самоизливающих скважинах с напором более 1,5 м сначала ликвидируется самоизлив, а после его прекращения производится ликвидационное тампонирующее по одному из рассмотренных методов.

Операцию по ликвидации самоизлива можно выполнить следующими способами:

- провести откачку эрлифтом с помощью компрессоров с целью понижения динамического уровня до прекращения самоизлива;

- установить цементные мосты;
- установить на обсадную трубу фонтанную арматуру, подсоединить насос и нагнетать в скважину утяжеленный глинистый раствор (под давлением, превышающим пластовое) до ликвидации самоизлива;
- в случае отсутствия фонтанной арматуры напор следует гасить, нагнетая в скважину утяжеленный глинистый раствор через колонну, опущенную в скважину на 1,0 – 1,5 м выше забоя, с расходом, превышающим дебит скважины (до ликвидации самоизлива).



После прекращения самоизлива проводится сложное тампонирование скважины, засыпка гравия с последующей трамбовкой, хлорированием и т.д.

Все это требует применения специального оборудования, большого объема дополнительных материалов и транспортировки их к месту работ, что приводит к значительному удорожанию и увеличению сроков работ.

В настоящее время разработан и внедрен [90] пакер гидравлический ликвидационный ПГЛ-112/190 (рис. 8.2), позволяющий в ряде случаев производить ликвидацию фонтанирующих скважин (диаметром от 112 до 190 мм с высотой напора от поверхности земли до 280 м) силами буровой бригады с использованием бурового станка и насоса без дополнительного оборудования с малыми затратами труда и материалов.

Рисунок 8.2 - Пакер ПГЛ-112/90

- 1 – бурильные трубы $d = 50$ мм; 2 – замок бурильной трубы; 3 – переходник 3-50/3-42 (левая резьба); 4 – муфта;
- 5 – обратный клапан; 6 – корпус;
- 7 – втулка сальника; 8 – кольцо крепления резинового элемента пакера; 9 – резиновый элемент пакера; 10 – отверстия; 11 – заглушка

Таким образом, применение пакера позволяет значительно удешевить производство ликвидационных работ при сохранении их качества.

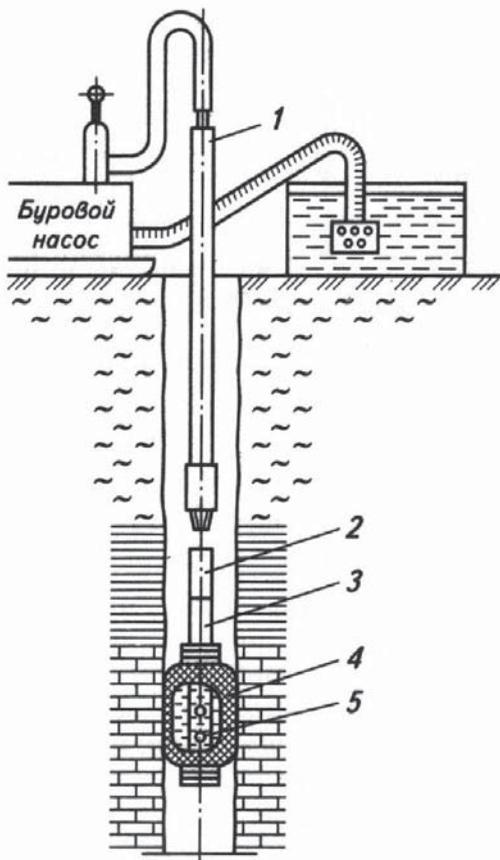
Возможно применение пакера для поинтервального перекрытия ствола скважины (или обсадных труб) диаметром 112 – 190 мм при решении различных гидрогеологических задач.

Пакер гидравлический ликвидационный ПГЛ-112/190 (рис. 8.2) состоит из корпуса 6, обратного клапана 5, выполненного в виде резинового диска, резинового элемента 9, соединительной муфты 4 с левой резьбой и переходника 3 на бурильные трубы. Крепление

резинового элемента 9 к корпусу 6 производится при помощи прижимных колец 8.

С целью увеличения коэффициента пакерования верхнее кольцо 8 выполнено подвижным с сальниковым уплотнением, поджимаемым втулкой 7. На коэффициент пакерования влияет подача бурового насоса. Нормальная пакеровка обеспечивается при давлении 1,5 – 3,0 МПа.

Поток жидкости от бурового насоса через бурильные трубы и отверстия в корпусе обратного клапана 5 поступает в корпус пакера и через отверстия 10 заполняет внутреннюю полость резинового элемента.



После создания заданного давления в пакере буровой насос отключается, а обратный клапан 5 закрывает проходные отверстия, тем самым, оставляя пакер в раздутом состоянии и обеспечивая давление в полости пакера в течение 60 ч.

Рисунок 8.3 - Схема перекрытия ствола самоизливающей скважины пакером ПГЛ-112/190

1 – бурильные трубы; 2 – отсоединительный переходник; 3 – обратный клапан; 4 – пакер ПГЛ-112/190; 5 – отверстие для нагнетания жидкости

После перекрытия ствола скважины и прекращения самоизлива (рис. 8.3) вращением бурильных труб вправо производится отсоединение переходника 2; бурильные трубы

извлекаются на поверхность, и производится ликвидация скважин по принятой в организации схеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетян Г.Э. Опыт бурения скважин на воду. / Г.Э. Айрапетян. – М.: Госгеотехиздат, 1957.
2. Алексеев В.В., Сердюк Н.И. Рациональный выбор средств для подъёма воды (раствора) по гидрогеологическим скважинам. Учебное пособие. Московский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГГРУ) – М.: МГГРУ, 2005. – 213 с.
3. Алексеев В.С. Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения освоения / В.С. Алексеев, В.П. Ткаченко // Труды ВОДГЕО. – 1972. – Вып. 35. – С. 90 – 92.
4. Алексеев В.С. Ткаченко В.П. Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения и освоения // Труды ВОДГЕО. – М.: ВОДГЕО, 1972. – Вып. 35. – С. 90 – 92.
5. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин / А.Д. Башкатов. – М.: Недра, 2003. – 554 с.
6. Башкатов А.Д. Современное состояние и тенденции развития методов и технических средств сооружения гидрогеологических скважин. – М.: ВИЭМС, 1988. – 50 с.
7. Башкатов А.Д.. Прогрессивные технологии сооружения скважин. – М.: Недра, 2003.
8. Башкатов Д.Н. Бурение скважин на воду / Башкатов Д.Н., Роговой В.Л. – М.: Колос, 1976. – 206 с.
9. Башкатов Д.Н. Вскрытие и освоение водоносных пластов при бурении гидрогеологических и водозаборных скважин / Д.Н. Башкатов // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства. – М.: ВИЭМС, 1976.
10. Башкатов Д.Н. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин / Башкатов Д.Н., Панков А.В., Коломиец А.М. – М.: Недра, 1992. – 286 с.
11. Башкатов Д.Н. Разглинизация буровых скважин на воду /Д.Н. Башкатов, Ю.А. Олоновский, Е.Н. Дрягалин. – М.: Колос, 1969.
12. Башкатов Д.Н. Справочник по бурению скважин на воду /Д.Н. Башкатов, С.С. Сулакшин, С.Л. Драхлис, Г.П. Квашнин. – М.: Недра, 1979. – 560 с.
13. Башкатов Д.Н., Вагин Н.А., Зайцев Б.И. и др. Рекомендации по подбору и применению рациональных конструкций фильтров в различных геолого-гидрогеологических условиях. Инновационный геологический центр. – Н. Новгород: ТОО «Ростехгео», 2001. – 38 с.
14. Башкатов Д.Н., Драхлис С.Л. и др. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду. Справочник. – М.: Недра, 1988.
15. Башкатов Д.Н., Панков А.В., Коломиец А.М. Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин. – М.: Недра, 1992.
16. Башкатов Д.Н., Пенкевич С.В., Соловьев Н.В. Методические указания по проектированию и сооружению скважин на воду. Учебное пособие.

Московский геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе (МГРИ). – М.: ИПКОН АН СССР, 1983. – 52 с.

17. Башкатов Д.Н., Сулакшин С.С. и др. Справочник по бурению скважин на воду. Под ред. проф. Д.Н.Башкатова. С.С. – М.: Недра, 1979.
18. Бондаренко В.И. Вертикальный дренаж на строительстве Сталинградского гидроузла / В.И. Бондаренко // Гидротехническое строительство. – 1959. – № 10.
19. Бродов Г.С. Бурение и оборудование скважин на воду. Практическое руководство, проектирование и расчет. – СПб: 2006. – 154 с.
20. Бронников И.Д., Кудряшов Т.И. Проектирование скважин на воду. Учебное пособие. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Допущено УМО по высшему образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2012. – 124 с.
21. Бронников И.Д., Куликов В.В. Проектирование скважин на воду. Учебное пособие. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ). Допущено УМО по высшему образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия. – М.: РГГРУ, 2010. – 76 с.
22. Бронников И.Д., Куликов В.В., Кудряшов Т.И. Проектирование скважин на воду. Учебное пособие. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Допущено УМО по высшему образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2012. – 96 с.
23. Булатов А.И., Проселков Ю.М. Решение практических задач при бурении и освоении скважин. Справочное пособие. – Краснодар: Советская Кубань, 2006. – с. 453 – 456.
24. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Рябченко В.И. Технология промывки скважин. – М.: Недра, 1981.
25. Булдей В.Р. Опыт применения фильтров из пористого бетона для оборудования трубчатых водопонижающих колодцев. / В.Р. Булдей, Г.И. Пастухов. – М.: НИТИ Углестрой, 1955.
26. Бурение разведочных скважин. Учебник для вузов. Допущено Министерством образования и науки РФ в качестве учебника для студентов вузов. // Н.В. Соловьев, В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др. Под общ. ред. Н.В. Соловьева. – М.: Высшая школа, 2007. – 904 с.
27. Быкадоров А.Ф. Гравийно-звеньевые фильтры для буровых скважин /А.Ф. Быкадоров // Транспортное строительство. – 1956. – № 4.
28. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ / Н.Б. Варгафтик. – М.–Л., 1956. – 257 с.
29. Васильев Б.А., Грецов Н.А. Гидравлические машины. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.
30. Волков Д.П., Кораблев В.А., Заричняк Ю.П. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теплофизические свойства веществ». – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 66 с.

31. Вяхирев В.И. и др. Облегченные тампонажные растворы для крепления газовых скважин. – М.: Изд. ООО "Бизнес-центр", 2000. – 135 с.
32. Гаврилко В.М. О применении асфальтобетонных фильтров / В.М. Гаврилко // Гидротехническое строительство. – 1956. – № 4.
33. Гаврилко В.М. Опыт оборудования глубоких скважин гравийными фильтрами уширенного контура / В.М. Гаврилко, Я.Е. Маргашак, В.И. Фоменко, В.В. Шварц // Разведка и охрана недр. – М.: 1967. – № 4. – С. 51 – 55.
34. Гаврилко В.М. Сооружение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин / Гаврилко В.М., Алексеев В.С., Гурки А.Я. – М.: Колос, 1974. – 176 с.
35. Гаврилко В.М. Фильтры буровых скважин / Гаврилко В.М., Алексеев В.С. – М.: Недра, 1976. – 345 с.
36. Гаврилко В.М. Фильтры буровых скважин / Гаврилко В.М., Алексеев В.С. – М.: Недра, 1985. – 334 с.
37. Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин / Гаврилко В.М. – М.: Стройиздат, 1968.
38. Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин / В.М. Гаврилко. – М.: Госстройиздат, 1961. – 384 с.
39. Гаврилко В.М. Фильтры из пористого асфальтобетона в водозаборных скважинах. / В.М. Гаврилко // Водоснабжение и санитарная техника. – 1956. – № 4.
40. Гаврилко В.М. Фильтры из пористых силикатных материалов для водозаборных скважин. / В.М. Гаврилко, Н.Д. Бессонов. // Водоснабжение и санитарная техника. – М.: Госстройиздат. 1959. – № 4.
41. Гаврилко В.М. Фильтры из пористых силикатных материалов для водозаборных и водопонижительных скважин. / В.М. Гаврилко, Н.Д. Бессонов. // Сб. технической информации. – М.: ГПИ Спецстройпроект и ЦБТИ Министерства строительства РСФСР, 1959.
42. Ганджумян Р.А. Практические расчеты в разведочном бурении. – М.: Недра, 1978.
43. Ганджумян Р.А., Калинин А.Г., Сердюк Н.И. Расчеты в бурении. Справочное пособие. – М.: РГГРУ, 2007.
44. Глебов П.Д. К вопросу о применении пористых асфальтовых материалов для устройства фильтров трубчатых колодцев / П.Д. Глебов, Н.С. Покровский // Водоснабжение и санитарная техника. – 1958. – № 3.
45. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / Гмурман В.Е. – М.: Высшая школа, 1972.
46. Гольдипейн М.И. О применении вариационного исчисления к исследованию оснований и откосов. / Гольдипейн М.И. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1969. – № 1. – С. 2 – 6.
47. Гошовський С.В. Особливості обладнання гідрогеологічних свердловин опускними гравійними фільтрами зі знімним захисним кожухом. / С.В. Гошовський, А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Гриняк. // Матеріали

- міжнар. конф. “Форум гірників – 2005”. – Д.: НГУ, 2005. Т. 2. – С. 63 – 66.
48. Грикевич Э.А. Гидравлика водозаборных скважин / Грикевич Э.А. – М.: Недра, 1986.
 49. Гринбаум И.И. О конструкциях фильтров скважин на воду и оценке их гидравлического параметра // Разведка и охрана недр. – 1975. – № 5. – С. 53 – 56.
 50. Дерусов В.П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1984. – 184 с.
 51. Драхлис С.Л. Гидродинамические процессы при пробной откачке скважины на воду струйными аппаратами / С.Л. Драхлис, В.В. Беретов // Специальные работы в промышленном строительстве. – М.: ЦВНТИ, Минмонтажспецстрой СССР, 1975. – Вып. 3 (105). – С. 14 – 18.
 52. Дроздов А.Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложнённых условиях: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. – 312 с.
 53. Елисеев М.Я. Клееные гравийные фильтры для буровых скважин. / М.Я. Елисеев // Гидротехника и мелиорация. – 1955. – № 3.
 54. Желатин. Технические условия: ГОСТ 11293 – 89. [Дата введения 01 – 07 – 91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 35 с.
 55. Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т., Челоянц Д.К. Интенсификация добычи нефти. М.: Наука, 2000. – 414 с.
 56. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых. ВСЕГИНГЕО. – М.: Недра, 1986.
 57. Инструкция по применению водоструйных насосов для откачек из гидрогеологических скважин. ПГО «Центргеология». / В.С. Вязников, Е.П. Гринюк, А.В. Панков, И.П. Хаустов. – МО: ЦТ МО, 1982. – 14 с.
 58. Иогансен К.В. Спутник буровика. Справочник. – М.: Недра, 1990.
 59. Калинин А.Г., Радин А.И., Соловьев Н.В., Бронников И.Д., Тунгусов А.А. Бурение разведочных скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые. Учебное пособие (Первая часть). – М.: РГГРУ, 2007.
 60. Карамбиров Н.А. Гравитационные фильтры // Фильтры водозаборных скважин. – М.: Госстройиздат, 1952.
 61. Квашнин Г.П. Водозаборные скважины с гравийными фильтрами / Г.П. Квашнин, А.И. Деревянных. – М.: Недра, 1981. – 216 с.
 62. Квашнин Г.П. Применение скважинных расходомеров при сооружении и эксплуатации скважин на воду / Г.П. Квашнин, В.Н. Калашников, Л.В. Макаров // Специальные работы в промышленном строительстве. – М.: ЦВНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1973. – Вып. 9 (87). – С. 5 – 8.
 63. Квашнин Г.П. Технология сооружения скважин на воду с прямой промывкой водой. / Квашнин Г.П., Дерман А.С. // Специальные работы в промышленном строительстве. – М.: ЦВНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1975. – Вып. 10 (112). – С. 4 – 11.
 64. Ким П.М. Из опыта внедрения бескаркасных блочных фильтров. / П.М. Ким // Шахтное строительство. – М.: Госстройиздат, 1959. – № 8.

65. Коваль В.Д. Производство желатины / В.Д. Коваль. – М.: Промстройиздат 1951.
66. Кожевников А.О. Технологічні і технічні особливості застосування опускного двохшарового гравійного фільтру зі знімним захисним кожухом. /А.О. Кожевников, С.В. Гошовський, А.К. Судаков, О.А. Гриняк. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып.8. – С. 49 – 51.
67. Кожевников А.А. Технология оборудования криогенно-гравийными фильтрами водоприемной части буровой скважины. /А.А. Кожевников, С.В. Гошовский, А.К. Судаков // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып.12. – С. 62 – 66.
68. Кожевников А.А. Анализ технологических и технических особенностей применения опускных двухслойных гравийных фильтров со съёмным защитным кожухом. /А.А. Кожевников, С.В. Гошовский, А.К. Судаков, А.А. Пашенко, А.А. Гриняк, М.А. Колесников // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып.10. – С. 47– 50.
69. Кожевников А.А. Гравийные фильтры с использованием эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния вязущего вещества. / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.А. Гриняк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып.11. – С.84 – 88.
70. Кожевников А.А. К вопросу об оборудовании водоприемной части буровых скважин криогенно-гравийными фильтрами. / А.А. Кожевников, А.К. Судаков // Науковий вісник НГУ. – Д.: НГУ, 2009. – № 7. – С. 13 – 16.
71. Кожевников А.А. Классификация способов создания гравийных фильтров / А.А. Кожевников, А.К. Судаков // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2010. – № 9 –10 (119 – 120). – С. 70 – 74.
72. Кожевников А.А. О выборе компоновки фильтровой колонны / А.А. Кожевников, С.В. Гошовский, А.К. Судаков, А.А. Гриняк, А.А. Кононенко // Породоразрушающий та металообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 47 – 50.
73. Кожевников А.О. Гравійний фільтр зі знімним захисним кожухом для обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин / А.О. Кожевников, С.В. Гошовський, А.К. Судаков, А.А. Кононенко О.А. Гриняк. // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія "Гірничо - геологічна". – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Вип. 105. – С. 42 – 45.

74. Кожевников А.О. Технологія обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин опускними гравійними фільтрами / А.О. Кожевников, С.В. Гошовський, А.К. Судаков, О.А. Гриняк. // Матеріали міжнар. конф. “Форум гірників – 2006”. – Д.: НГУ, 2006. – С. 263 – 266.
75. Кулиев С.М. Гравийные фильтры и опыт их применения в нефтяных промыслах. / С.М. Кулиев. – Баку: Азнефтенздат, 1951.
76. Куликов В.В. Временные откачки воды из гидрогеологических скважин погружными tandemными насосными установками. // Разведка и охрана недр. – 2008, № 3. – С. 48 – 51.
77. Куликов В.В. Обратные фильтры буровых скважин. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2011, № 2. – С. 81 – 82.
78. Куликов В.В. Освоение и опробование гидрогеологических скважин погружными tandemными насосными установками. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2008, № 2. – С. 66 – 70.
79. Куликов В.В. Расчёт коэффициентов полезного действия скважинных нефтяных насосов и установок центробежного и струйного принципов действия. // Бурение и нефть. – 2008, №1. – С. 30 – 32.
80. Куликов В.В., Соловьев Е.Н. Модель транспортирования шлама в горизонтальной скважине потоком газожидкостной смеси. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2011. – № 1. – С. 41–45.
81. Луценко Н.А. и др. Облегченные цементные растворы. – Киев: Техніка, 1965. – 120 с.
82. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
83. Маврицкий Б.Ф. Опыт применения гравийного фильтра конструкций РИИЖТа в скважинах, пройденных вращательным способом. / Б.Ф. Маврицкий // Гидротехника и мелиорация, 1955. – № 9.
84. Магурдумов А.М. Опыт бурения и эксплуатации вод из песчаных пьезунов в Кызыл-Кумах / А.М. Магурдумов // Разведка недр. – М.: Госгеолыздат, 1947. – № 1.
85. Маковой Н. Гидравлика бурения. Пер. с рум. – М.: Недра, 1986. – 536 с.
86. Малоян А.В., Малоян Э.А. Практические расчеты по бурению скважин на воду. – М.: Недра, 1968.
87. Мартос В.Н. Методы борьбы с выносом песка / В.Н. Мартос. – М.: ВНИИОЭНГ, 1973.
88. Матвеев М.А. Пористые силикатные изделия / М.А. Матвеев, К.А. Смирнова. – М.: Промстройиздат, 1956.
89. Медведев С.Р. Фильтры для трубчатых колодцев из пористого асфальтобетона. / С.Р. Медведев, П.Г. Любимый // Гидротехническое строительство. – 1954. – № 2.
90. Новые технологии и технические средства для сооружения, освоения и ликвидации гидрогеологических скважин (Методические рекомендации и инструкции). / Н.А. Вагин, С.И. Голиков, Б.И. Зайцев и др. Под ред. Д.Н. Башкатова. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 188 с.

91. Носовский Ю.М. Исследование и разработка рациональной технологии бурения гидрогеологических скважин в рыхлых отложениях с прямой промывкой водой: дис. канд. техн. наук: 05.15.14. / Ю.М. Носовский. – М.: МГРИ, 1975.
92. Оводов В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение / Оводов В.С. – М.: Сельхозгиз, 1960.
93. Оноприенко М.Г. Бурение и оборудование гидрогеологических скважин / Оноприенко М.Г. – М.: Недра, 1978. – 168 с.
94. Панков А.В. Состояние и перспективы развития технических средств и технологий при бурении поисковых и разведочных скважин на воду / Панков А.В. – М.: ВИЭМС, 1990. – 65 с.
95. Пат. 87993. UA, МКИ E21 B43/00. Гравійний фільтр / О.А. Кожевников, А.К. Судаков (UA). Заявлено та патентоволодар Нац. гірничий ун-т. – № 200605532. Заявл. 22.05.06. Друк. 10.09.09. Бюл. № 17 р.
96. Пат. 87993. UA, МКИ E21 B43/00. Гравійний фільтр / О.А. Кожевников, А.К. Судаков (UA). – № 200605532. Замовл. 22.05.06. Друк. 10.09.09. Бюл. № 17 р.
97. Пат. 88726. UA, МКИ E21 B43/00. Гравійний фільтр / О.А. Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Пашенко, О.Ф. Камишацький, В.І. Тітов, О.А. Лексиков, В.П. Донцов. – № 200803913. Замовл. 28.03.08. Друк. 10.11.09. Бюл. №20.
98. Пат. UA 37193 U. UA, МПК E21 B43/00. Спосіб обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин гравійними фільтрами з пухким обсіпанням / О.А. Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Пашенко, О.Ф. Камишацький. – № 200805236. Замовл. 22.04.08. Друк. 25.11.08. Бюл. № 22.
99. Пенкевич С.В. Методические указания к расчету эрлифта при откачке из гидрогеологических скважин. Учебное пособие. Московский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГГРУ). – М.: МГГРУ, 2003. – 28 с.
100. Пенкевич С.В. Методические указания по расчету струйных насосов при откачке воды из гидрогеологических скважин. Учебное пособие. Московский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГГРУ). – М.: МГГРУ, 2003. – 20 с.
101. Пенкевич С.В. Методические указания по проектированию и сооружению скважин на воду. Учебное пособие. Московский геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе (МГРИ). – М.: МГРИ, 1989. – 46 с.
102. Пенкевич С.В., Тунгусов А.А. Методические указания по проектированию и сооружению скважин на воду. Учебное пособие. Московская государственная геологоразведочная академия имени Серго Орджоникидзе (МГГА). – М.: Изд. А и Б, 1998. – 48 с.
103. Пенкевич С.В., Тунгусов А.А. Проектирование и сооружение скважин на воду. Учебное пособие. Московская государственная геологоразведочная академия имени Серго Орджоникидзе (МГГА). – М.: МГГА, 2001. – 43 с.

104. Петров Л.Г. Фильтры для буровых колодцев для мелкозернистых песков. / Л.Г. Петров. // Водоснабжение и санитарная техника. – М.: ГОНТИ, 1938. № 12.
105. Петросов Д.А. Основные положения комплексной технологии сооружения высокодебитных скважин на воду. Московский государственный горный университет (МГГУ). – М.: МГГУ, 2005. – 34 с.
106. Пономарев С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2006.
107. Пономарев С.В. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, А.Г. Дивин. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2006.
108. Рекомендации по применению тампонажных материалов и технологий цементирования, обеспечивающих герметичность межколонных пространств скважин. Издание официальное. – М.: ОАО "Газпром", 2010. – 25 с
109. Рекомендации по строительству и эксплуатации водозаборов подземных вод. Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР. – М.: 1978. – 356с.
110. Свод правил. СП 11-108-98. Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод.
111. Сердюк Н.И., Кравченко А.Е., Куликов В.В. и др. Технология проектирования разведочно-эксплуатационных скважин на воду. Учебное пособие по курсовому проектированию. Московский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГГРУ). Допущено УМО по образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия. – М.: МГГРУ, 2003. – 60 с.
112. Середа Н.Г., Сахаров В.А., Тимашев А.Н. Спутник нефтяника и газовика. Справочник. – М.: Недра, 1986.
113. Строительные нормы и правила (СНиП) 2.04.02 – 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1984. 152 с.
114. Строительные нормы и правила (СНиП) II – 31 – 74 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М. Стройиздат, 1975. – 150 с.
115. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
116. Соловьев Н.В. Очистные агенты. Курс лекций по дисциплине «Очистные агенты и тампонажные смеси». Учебное пособие. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Допущено УМО по высшему образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2013. – 105 с.
117. Соловьев Н.В. Тампониование скважин. Рекомендации по составлению курсового проекта по дисциплине «Тампонажные смеси». Учебное

- пособие. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ). Допущено УМО по высшему образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2013. – 97 с.
118. Соловьев Н.В., Демин Н.В., Ганджумян Р.А., Бронников И.Д. Охрана окружающей среды при бурении скважин. Учебное пособие. – М.: МГГРУ, 2005.
 119. Соловьев Н.В., Малухин Н.Г., Соловьев Е.Н. Анализ факторов, обуславливающих эффективность транспортирования шлама в горизонтальных скважинах при использовании газожидкостной смеси. // Инженер - нефтяник, 2008. – № 3.
 120. Спасов В., Христов И. Опыт проведения гидрогеологических скважин с гравийной засыпкой в Ливии. / В. Спасов, И. Христов. – М.: Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации, 1979.
 121. Справочник по оборудованию буровых скважин обсыпными фильтрами / Пятикоп Ю.В., Бандырский И.Н., Дьяченко В.Д., Сенченко В.В. – М.: Колос, 1983.
 122. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Топкий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
 123. Справочное руководство гидрогеолога. Т.1 / Ред. В.Н. Максимова. – Л.: Недра, 1979.
 124. Спышно П.А. Об асфальтобетонных фильтрах / П.А. Спышно. // Строительная газета. – 1957. – № 79 (433).
 125. Стреленя Л. С. и др.. Методические рекомендации по тампонированию скважин азрированными цементными растворами. – М.: Изд. Мингео СССР, 1990. – 32 с.
 126. Теляшева Г.Д. Теплопередача / Г.Д. Теляшева. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 76 с.
 127. Теория и практика газлифта. / Ю.В. Зайцев, Р.А. Максотов, О.В. Чубанов и др. – М.: Недра, 1987. – 256 с.
 128. Тесля А.Г. Вскрытие пластов и опробование скважин при бурении на минеральные воды / А.Г. Тесля. – М.: Недра, 1983.
 129. Толстов Е.А., Башкатов Д.Н., Башкатов А.Д., Ганджумян Р.А., Першин М.Е., Филиппов С.А., Риос Э.Д.Р. Техника и технология сооружения геотехнологических скважин в Навоийском ГМК. – НИА ПРИРОДА 2004.
 130. Третьяк А.Я., Чихоткин В.Ф., Павлунишин П.А.. Техника и технология сооружения гидрогеологических скважин. Учебник для ВУЗов. – Ростов-на-Дону: 2006. – 410 с.
 131. Фоменко В.И. Подбор оптимальных параметров гравийно-засыпных фильтров дренажных и водозаборных скважин / В.И. Фоменко // Труды ЦНИИгоросушение. – М.: 1970. – Вып. 12. – С. 61–70.
 132. Цедерберг Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей / Н.В. Цедерберг. – М.: Энергоиздат, 1963. – 408 с.

133. Щербина И.Н. Сборные дренажи из пористых блоков. / И.Н. Щербина // Информационный сборник. – М.: Гидропроект, 1953. – № 2.
133. Bieske E., Rohrbrunnen. Verlag von R. Oldenbourg, Munchen und Berlin, 1943.
134. Pat. 2014770. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Apparatus for placing gravel in wells / Layne L, Leslie A. – publ. date 09.17.1935.
135. Pat. 2372461. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Apparatus for placing gravel in wells / Charles, Uren Lester. – publ. date 03.27.1945.
136. Pat. 2942664. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Liner and gravel packing apparatus for wells / Erwin, Burns. – publ. date 06.28.1960.
137. Pat. 3973627. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Wellbore gravel pack method. / Hardy W., Schultze E., Shepard J. – publ. date 10.08.1976.
138. Sauer E. Chemie und Fabrikation der tierischen Leime und der Gelatine, B., 1958.
139. Sausier R. Consideration in gravel pack design. / R. Sausier. – J.: of Petroleum Technology, Feb.1974, p. 205 – 212.
140. Shryock S. Test show method for improved gravel packing / S. Shryock. – Word Oil, Aug.1, 1979, pp.55 – 58.
141. Zeydler H. An experimental analysis of the transport of drilled particles / H. Zeydler – J.: Society of Petroleum Engineers, 1972, v.12, II 1, P. 39 – 48.

Для заметок

Для заметок

Наукове видання

СУДАКОВ Андрій Костянтинович
ЧУДИК Ігор Іванович
ФЕМ'ЯК Ярослав Михайлович
СУДАКОВА Діана Андріївна
ФЕДИК Остап Михайлович

БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН НА ВОДУ

Монографія

Друкується в авторській редакції

Підп. до друку 03.06.2020 р.

Папір офс. Офс. друк. Формат 60x84/16

Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. 19,3

Наклад 300 прим. Зам. 1204

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції –

Серія ДК № 2509 від 30.05.2006 р.

Друк ПП «ПОСВІТ»

Адреса: вул. І. Мазепи, 7, м. Дрогобич, 82100 Україна

тел.: (03244) 2-23-35, 3-38-50.

E-mail: posvit-druk@ukr.net, posvitdruk@gmail.com

