МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева

А. А. Кожевников, М. Отебаев,
А. К. Судаков, Б. Т. Ратов

ГРАВИЙНЫЕ ФИЛЬТРЫ БУРОВЫХ СКВАЖИН НА ЖИДКИЕ И ГАЗООБРАЗНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Рекомендовано Научно-методическим советом
университета в качестве учебного пособия

Алматы 2016

УДК 622.411.511.4 (075.8)
Г75

Рецензенты:
Л. М. Васильев, д-р техн. наук, проф., Зав. отделом института геотехнической механики НАН Украина;
С. З. Кабдулов, д-р техн. наук, проф. Казахстанско-Британского Технического Университета, Алматы, Казахстан;
А. Н. Давиденко, д-р техн. наук, проф. Государственного ВУЗа «Национальный горный университет» Днепр, Украина.

Кожевников А. А.
Г75 Гравийные фильтры буровых скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые: Учеб. пособие / *А. А. Кожевников, М. Отебаев, А. К. Судаков, Б. Т. Ратов*. – Алматы: КазНИТУ, 2016. – с.: 377. 1– Табл. – 47. Ил. –135. Библиогр. –142 назв.
ISBN 978-601-321-008-5

Данное учебное пособие содержит информацию об основных видах фильтров, а также приведены основные исследования по определению области применения гравийных фильтров водозаборных скважин, расчеты и рекомендации по выбору их параметров, технологии и техническим средствам созданиягравийных фильтров. Она может быть использована студентами, магистрантами и докто-рантами PhD по специальности «Геология и разведка месторождения полезных ископаемых» и «Нефтегазовое дело» (по направ-лению бурения скважин).

ISBN 978-601-321-008-5
© А.А. Кожевников, М. Отебаев, А.К. Судаков, Б.Т. Ратов, 2016
© КазНТУ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Казахстан, Россия и Украина располагают огромными поверхностными водными ресурсами пресных вод. Значительная часть потребности промышленности и сельского хозяйства в водных ресурсах в настоящее время покрываетсяза счет поверхностного стока. Эти воды используются также для хозяйственно-питьевого потребления. Однако в связи с развитием промышленности и сельского хозяйства и заметным снижениемкачества вод открытых источников все более интенсивно для удовлетворения нужд народного хозяйства 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 большей части территориимегаполиса 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 гидрогеологических 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 и Казахстана (Мангистауской обл.) частично или полностью используют привозную-питьевую воду.

Решение этой проблемы возможно за счет бурения гидрогеологических скважин, предназначенных для питьевого и технического водоснабжения населенных пунктов. Использование подземных вод для нужд народного хозяйства 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.м^3, 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 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.

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 итехническим средствам созданиягравийных фильтров выполнены Н. И. Куличихиным, В. М. Гаврилко, В. С. Алексеевым, М. Г. Оноприенко, Г. П. Квашниным, А. И. Деревянных, Д. Н. Башкатовым, В. В. Дубровским, С. К. Абрамовым и др.

Большой вклад в разработку технологии и техники бурения скважин на воду внесли В.С. Алексеев, П. А. Анатольевский, А.Д. Башкатов, В.М. Беляков, Р.Ф. Баджуран, З.М. Вортман, Г.А. Волоховский, И.Я. Вальдман, П.С. Ваганов, В. В. Верстов, И.Ф. Володько, В.Т. Гребенников, Т.И. Гавич, С.А. Грикевич, А.Д. Гуринович, А.И. Деревянных,А.С. Дерман, Е.Н. Дрягалин, С.Л. Драхлис, К.Б. Дмитриев, М.М. Керченский, А.В. Калинников, В.М. Касаткин, Г.П. Квашнин, А.М. Коломиец, Г.М. Краснощеков, В.А. Керимов, О.К. Киселев, В.П. Логинов, А.М.Мусанов, М.В. Марков, Л.В. Макаров, А.В. Малоян, Ю.М. Носовский, П.Е. Ожерельев, Ю.А. Олоновский, М.Г. Оноприенко, А.В. Панков, В.А. Попков, Б.М. Ребрик, В.К. Роговой, В.В. Сафонов, Ю.И. Соловьев, О.К. Сомнов, Р.А. Станкевич, Я.С. Суреньянц, В.П. Ткаченко, А.Т. Тесля, Т.Т. Танатаров, М.И. Фазлуллин, В.И. Фоменко, Б.В. Федоров, С.В. Шаравин, В.М. Шестаков, А.М. Яковлев, А.К. Касенов.

Глава 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАВИЙНЫХ ФИЛЬТРОВБУРОВЫХ СКВАЖИН

1.1.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 [1, 2].

В некоторых случаях для гидрогеологических целей могут попользоваться геолого-разведочные 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 работв целом.

По данным А.Д. Башкатова [3] более 60 % скважин бурится в рыхлых отложениях, остальные – в твердых, связных породах, причем из них 20–25 % скважин приходится на трещиноватые породы.

Условия залегания водоносных пластов, их фильтрационные свойства, горно-геологические условия проведения работ, техническая оснащенность производственных организаций и виды проводимых в скважине исследований определяют конструкции гидрогеологических скважин и технологию ихсооружения.

В последние годы происходит увеличение средних глубин гидрогеологических скважин, обусловленное возрастающими потребностями народного хозяйства в питьевой, технической, минеральной и термальной водах, истощением и загрязнением запасов подземных вод, залегающих близко от поверхности.

Таблица 1.1

Классификация гидрогеологических скважин

Наименование	Типы скважин					
	геологоразведочная	поисковая	картировочная	разведочная	Наблюдательная	разведочно-эксплуатационная
Стадия работ	Поисковые стадии, предварительная и детальная разведка, доразведка	Поисковые стадии, предварительная разведка	Поисковые стадии, предварительная разведка	Предварительная и детальная разведка, доразведка, эксплуатационная разведка		
Назначение скважины	Изучение условий залегания и основных особенностей месторождений твердых полезных ископаемых. Может быть использована и как поисковая, картировочная, разведочная, наблюдательная и эксплуатационная	Поиски водоносных горизонтов, ориентировочная оценка фильтрационных характеристик пласта, химического состава подземных вод, оценка пьезообразности дальнейших исследований, определение рациональных методов исследований, их объема и технической оснащенности	Картирование состава пород, характера их залегания, структурно - тектонических особенностей, распространения водоносных горизонтов, их водообильности, условий питания и разгрузки, химического состава вод, физико - механических свойств пород и грунтов, современных геодинамических процессов и явлений	Изучение фильтрационных характеристик водоносного пласта при откачке, наливе, нагнетании, исследование химического состава подземных вод, оценка водообильности водоносных пластов, условий питания, разгрузки, физико - механических свойств пород	Изучение фильтрационных характеристик водоносного пласта, режимные наблюдения	Эксплуатация разведочной скважины в целях водоснабжения, водопонижения и др.
Виды проводимых в скважине исследований	Отбор керна, в том числе ориентированного, проб из стенок скважин, инклинометрия, каротаж. При использовании скважины в качестве поисковой, картировочной, разведочной, наблюдательной и эксплуатационной выполняются соответствующие виды работ	Контроль за параметрами бурения, отбор проб пород с забоя и стенок скважины, проб воды, экспресс - методы исследования скважины, каротаж	Контроль за параметрами бурения, отбор керна, проб из стенок скважин, налива и выносимой породы при шнековом бурении, проб воды, экспресс - методы исследования скважины, каротаж. После комплекса исследований может быть использована как эксплуатационная	Возмущение водоносного пласта при откачке или наливе, контроль уровня или давления, расхода, отбор проб воды, измерение температуры, расходометрия, каротаж. После комплекса исследований может использоваться как эксплуатационная	Контроль уровня воды в скважине, отбор проб воды, измерение температуры воды	Откачка с проектным дебитом в течение запланированного срока эксплуатации
*) Комплекс работ в геологоразведочных скважинах проводится в случае гидрологического обоснования и водообеспечения работ.						

В ряде регионов уже в настоящее время сооружаются гидрогеологические скважины глубиной до 1200 м, например, Харьковский, Сумской.

Конструкция гидрогеологических скважин определяется диаметром фильтровой колонны. Наиболее распространенным является диаметр 89–127мм.В откачных, закачных разведочных и разведочно-эксплуатационных скважинах диаметр фильтровой колонны составляет 146, 168, 219 мм и более.

При вскрытии водоносного пласта диаметр долота превышает диаметр фильтра обычно на 30–40 мм, но при сооружении гравийного фильтра диаметр долота может превышать диаметр фильтровой колонны на 100–200 мм.

Выполненный анализ [3] показал, что 83,5 % всех скважин глубиной до 100 м имеют конечный диаметр 112–151 мм,а глубиной 100–300 м – 112–190 мм; причем наиболее распространенным является диаметр 132 мм (соответственно 32,8 и 50,4%).

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 буримых ведущим организациям отрасли.

Таблица 1.2

Диаметры бурения гидрогеологических скважин в ведущих организациях отрасли

Наименование организации	Конечный диаметр, мм	Начальный диаметр, мм
Казгидрогеология	132 - 151 190 - 243	132 - 190 295 - 346
Гидроспецгеология	132	151 - 190 243 190 - 295
Центргеология	112 - 132 112 - 151 243	190 - 243 394
Узбекгидрогеология	112 - 151 190	190 - 245 346 - 445
Южгеология	112 - 132 132 - 151 190 - 290	132 - 190 190 - 500
Севукргеология	112 - 151	151 - 273
УГ БССР	76 - 151 190	132 - 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.1.1, табл.1.3).

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
	168/190	273/295	377/445
100–300	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
	168 - 219/ 190 - 243	273/295 - 324	377/394 - 426
300–500	89 - 108/132 89 - 108/132 127/132 108 - 127/ 151 - 190 168 - 219/ 190 - 243	168/196 168/190* 219/295 219/295 219 - 273/ 243 - 346	273/295 377/445 377/445 377/415 324 - 377/ 394 - 426

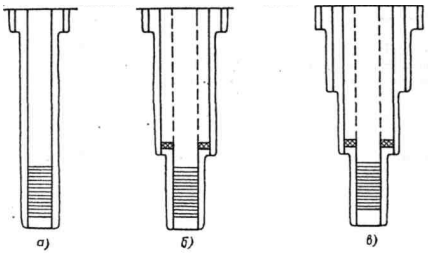


Рис. 1.1. Типовые конструкции гидрогеологических скважин:
а – одноколонные; б – двухколонные; в – трехколонные

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
	168/190	273/295	377/445
100–300	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
	168 - 219/ 190 - 243	273/295 - 324	377/394 - 426
300–500	89 - 108/132 89 - 108/132 127/132 108 - 127/ 151 - 190 168 - 219/ 190 - 243	168/196 168/190* 219/295 219/295 219 - 273/ 243 - 346	273/295 377/445 377/445 377/415 324 - 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 оборудования водоносного пласта и составляет 46–76 мм. С ростом инерционности диаметр наблюдательной скважины целесообразно увеличивать.

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 линейных 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 [4] 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.1.2 и 1.3 и в табл.1.4 приводятся рекомендуемые типовые конструкции скважин, используемых в гидрогеологических целях.

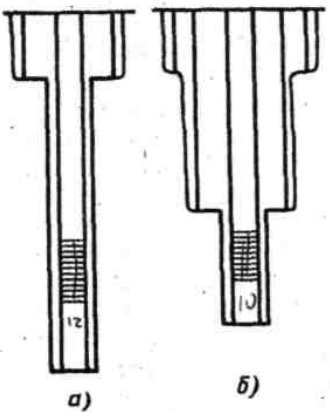


Рис. 1.2. Рекомендуемые конструкции наблюдательных скважин:
а – одноколонная;
б – двухколонная

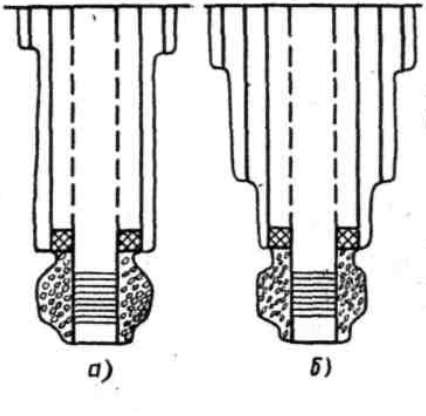


Рис. 1.3. Рекомендуемые конструкции разведочно-эксплуатационных скважин:
а – двухколонная;
б – трехколонная

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 73 - 89
300 - 500	46 - 59	33 - 57	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.

1.2. Долговечность буровых скважин

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

Долговечность определяется свойством изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов.

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 [5] 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. [6, 7]. Наибольшее внимание они уделяли исследованию процессов химической кольматации 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 [5] 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).

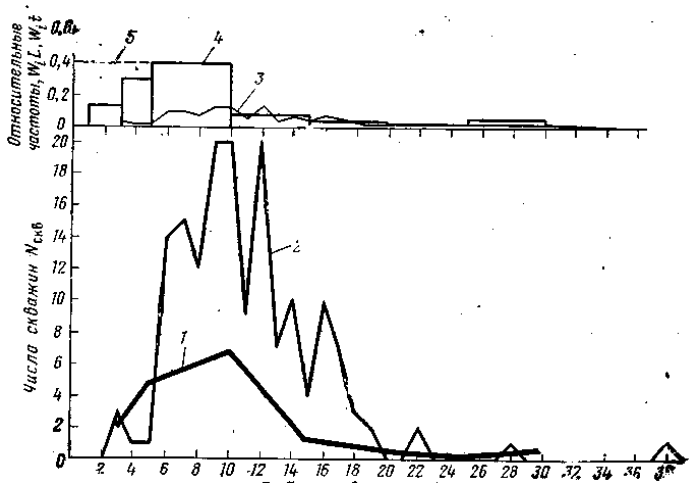
Число скважин……..131
Долговечность скважин, годы:
максимальная……21
минимальная……1
Число скважин, вышедших из строя, %…… 38,2
Число выходов скважин из строя (% общего) вследствие:
кольматажа…….. 9,1
заиления и пескования…… 44,4
износа или аварии насоса из-за пескования……30,3
прочих причин…….16,2
Средняя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

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 в1955–1956 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 заиление 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 гидрорежимной партии было проведено распределение долговечности скважин Новосибирской области по годам их сооружения. Результаты хорошо согласуются с результатами анализа по скважинам Востокбурвода и Сельхозводстрой. 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 заиление 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.1.4).



Глубина скважин L *10, м
Срок эксплуатации t,годы

Рис. 1.4. Графики распределения ремонтировавшихся скважинпоглубинам и долговечности (по оси ординат следует читать №скв.10):
1– распределение скважин по срокам эксплуатации; 2 – распределение скважин по глубинам;3 – полигон относительных частот распределения скважин по срокам эксплуатации, 4 – гистограмма относительных часто распределения скважин по глубинам;
5 – то же без выделения интервала глубин до 30 м

При этомустановлено, что основное число вышедших из строя скважин имеет глубину менее 100 м, долговечность их не превышает 13 лет.

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) [5]. Так, из 36 бесфильтровых скважин только 6 вышли из строя, остальные на момент сбора информации работали без каких-либо ремонтов.

Таблица1.6

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

Из 33 скважин с гравийно-сетчатыми фильтрами 14 вышли из строя через 6,2 года, в 7 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 защемлению 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

$$Q=d/n, \tag{1.1}$$

вероятность достижения скважинами данного значения долговечности

$$p=1 - q \tag{1.2}$$

сумму лет, проработанных скважинами при данной долговечности

$$l_i = \frac{n_i + n_i + 1}{2} \tag{1.3}$$

предстоящую продолжительность работы скважин (суммарную)

$$T_i = \sum_{k=i}^{k} l_i \tag{1.4}$$

среднюю величину ожидаемой долговечности скважин

$$l_i=T_i/l_i. \tag{1.5}$$

Для анализа были использованы результаты обследования скважин Новосибирской области, проведенного гидрорежимной партией территориального геологического управления, и данные о ремонтах скважин, проведенных специализирован-ными 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 журовской, абросимовской, новомихайловской и атлымской свит палеогена. В скважинах широко используются сетчатые и проволочные фильтры. В последние годы все большее распространениеприобретают гравийные фильтры на проволочных каркасах. В западной и южной частях области скважинами эксплуатируются водоносные горизонты меловых и палеогеновых отложений.

Водоносные горизонты неогеновых и четвертичных отложении 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, т. к.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 [5].

Таблица1.7

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	0,77,0	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 года

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 достиг-

нут 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 [8, 9]. 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. Квашнин расположил в табл. 1.8. Определялись относительные частоты варианта и накопленные частности. Используя накопленные частости 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

($l_g t$; S^2_{lgt} иS_{lgt}; 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 единогологнормального закона распределения долговечности скважин, что создает возможность прогнозирования долговечности скважин.

Однако логнормальное распределение может быть использовано лишь для ориентировочных расчетов, т. к. 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 эмпирической долговечности скважин 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.

Таблица1.8

Совокупность значений случайных величин и результаты их расчетов

n_i	W_i	t_i	lgt_i	$n_i lgt_i$	$lgt_i - lgt$	$n_i(lgt_i - lgt)^2$	$n_i(lgt_i - lgt)^3$	$n_i(lgt_i - lgt)^4$
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
∑=427	∑=0,986		∑=271,74		∑=43,33		∑=7,50	∑=11,65

Дифференциальные кривые распределения скважин по долговечности (до 1971 г.) и относительных частот этого распределения приведены на рис. 1.5. Они характеризуются наличием максимума в интервале 4–4,5 лет, крутой левой и пологой правой ветвями. Как видно из рис. 1.5, 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, определены некоторые статистики. Расчет проводились методом произведений по известным формулам. Результаты расчета:

Среднее значение логарифма долговечности .....lg t=0,63
Среднее квадратическое отклонение ..... S^2 lgt=0,10
Стандарт..... $S_{lg}t$=0,32
Погрешность среднего значения логарифма..... Δlg t= - 0,04
Асимметрия ..... A = - 0,64
Погрешность асимметрии.....m_a=±0,12
Эксцесс..... E=0,32
Погрешность эксцесса.....m_E=±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, заиление и износ оборудования в результате пескования. Количественная оценка каждой из причин приводится в, табл. 1.9 с распределением по ключевым участкам.

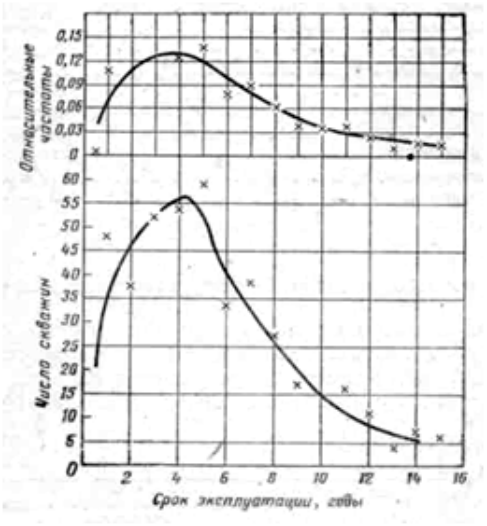


Рис. 1.5. График распределения скважин по долговечности (сводные данные гидрорежимной партии по скважинам, вышедшим из строя)

Как видно из табл. 1.9, в Венгеровском, Каргатском и Колыванском районах скважины выходят из строя из-за кольматации фильтров, а в Черепановском и Краснозерском – в результате заиления (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 [10].

Таблица1.9

Количественная оценка причин выхода скважины из строя

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

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.

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 дебитаскважин 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. 1.6 [5] по результатамнаблюдений 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^{0}С.

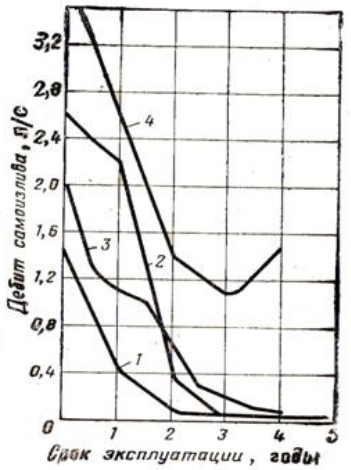


Рис 1.6. График изменения дебитаскважины во времени:
1–3 – фильтр сетчатый;4 – проволочный с гравийнойобсыпкой;
1 – Алтайский край; 2 – Новосибирская обл;
3 – г. Сургут; 4 – Кемеровская и Омская обл.

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. 1.6, 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 самоизливающихся скважин с различными конструкциями фильтров.

Систематические наблюдения за изменением дебитов скважин представляют определенный интерес дляпрогнозирования сроков эксплуатации скважин, а также выбора рациональной конструкции фильтров при их эксплуатации.

Таким образом, при изучении долговечности скважиниспользованы: 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 сделаны следующие выводы.

Основными причинами снижения долговечности скважин являются химический кольматаж и заиление (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 запескованием 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.

1.3. Рекомендуемая область применения гравийных фильтров в буровых скважинах

Анализ результатов буровых работ на воду показывает, что более 60% всех скважин сооружается 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 фильтраци-

онных сил происходит вынос из пласта мелких, часто тонкодисперсных илистых частиц.

Наиболее эффективным способом предупреждения пескования скважин является созданиегравийно-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 водоносныйпласт, следует учитывать их коллекторские свойства и характер водопроявления и водопроницаемости. Наиболее характерные коллекторы водоносных пород приведены на рис. 1.7.

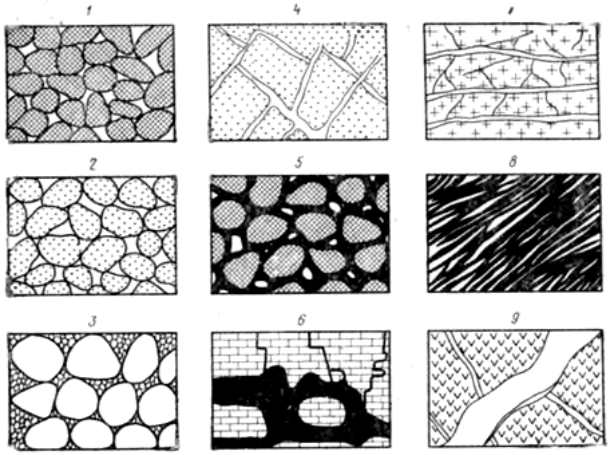


Рис. 1.7. Типы пористых и трещиноватых коллекторов водоносных пластов:

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 – закарстованые породы с пустотами выщелачивания;7 – трещиновато-жилистой коллектор с преобладаниям 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 водоприемной части, поэтому целесообразно рассматривать гидродинамическую систему водоносный пласт-скважина, исходя из условия ее гидродинамического равновесия, т. е.

$$p_г = P_{пл},$$

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

Исходя из этого уравнения интенсивность пластового водопроявления целесообразно подразделить на следующие виды (табл. 1.10). Ориентировочные значения поглощения воды в пласт, приведенные в табл. 1.10, приняты с учетом подачи буровых насосов, широко применяемых при сооружении скважин на воду.

Таблица 1.10

Виды интенсивности пластового водопроявления

Вид водопроявления	Характеристика пластового проявления	Характеристика пластового давления	Ориентировочное водопоглощение пласта Qп, $м^3/ч$
А	Частичное водопоглощение	$P_{пл}<p_г$	≤10
Б	Сильное водопоглощение	$P_{пл}<p_г$	≤15
В	Катастрофическое водопоглощение	$P_{пл}<p_г$	>15
Г	Самоизлив воды из скважины	$P_{пл}>p_г$	0

Степень устойчивости водоносных пластов вскрытых скважин, следует подразделить на три основных типа (табл. 1.11)

Таблица 1.11

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 $P_{пл}=p_г$ стенки скважины обрушаются
Б	Слабоустойчивые	То же, при $P_{пл}<p_г$ до $P_{пл}=0$
В	Устойчивые	При $P_{пл}=0$ стенки скважины не обрушаются

На основании данных, приведенных в табл. 1.10 и 1.11, можно составить классификацию водоносных пластов по гидродинамическим и геологическим условиям их залегания, в которой систематизированы основные физические параметры пластов и характеристики [19]. Классификация приведена в табл. 1.12.

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

В табл. 1.13 приведены рекомендации по оборудованию скважин гравийно-засыпными фильтрами.

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, которое является надежной гарантией долголетней и качественной работы буровой скважины. Технологические возможности вра-

щательного способа бурения скважин при формировании водоприемной части используются не полностью из-за отсутствия практических рекомендаций по технологии их производства.

Таблица 1.12

Классификация водоносных пластов по гидродинамическим и геологическим условиям их залегания

Тип водоносного горизонта	Характер устойчивости горных пород, слагающих пласт	Группа водоносного пласта	Характеристика колекторских свойств водоносного пласта		Вид водопроявления пласта при заполнении скважины водой до устья табл.1.10	Горные породы, слагающие водоносные пласты
			Гланулометрический состав или размер пор, трещин обводненных пород, мм	Водопроводимость (коэффициент фильтрации, м/сут)		
А	Неустойчивые с пористым (рыхлым) колектором	I II III	0,5 - 0,25 0,25 - 2 2 - 20	1 - 10 10 - 50 50 - 200	а, г б, г в, г	Пески тонко- и мелкозернистые пылеватые. Породы верхней части коры выветривания. Пески средне-, разно-, крупнозернистые. Пески крупнозернистые с гравием, галечники с валунами.
Б	Слабоустойчивые с пористо-трещинным коллектором	I II III	0,5 - 0,25 0,25 - 2 2 - 20	1 - 10 10 - 50 50 - 200	а, г б, г в, г	Песчанки тонко и мелкозернистые, аргиллиты, алевролиты с малой трещиноватостью. Песчаники от средне- до крупнозернистых, пористые известняки и доломиты сланцы. Пористые, трещиноватые. Грубые песчаники конгломераты, известняки и доломиты, угли, мел. Пористые, трещиноватые, кавернозные.
В	Устойчивые с коллектором трещинно-жильного типа	I II III	0,5 - 0,25 0,25 - 2 2 - 20	1 - 10 10 - 50 50 - 200	а, г б, г в, г	Плотные песчаники, известняки, сланцы, кварциты, гнейсы, граниты, порфириты, сиениты слаботрещиноватые. Те же породы. Сильнотрещиноватые с вертикальными и горизонтальными трещинами. Те же породыс наличием крупных трещин, зон разлома, каверн и пустот.

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

Таблица 1.13

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

1.4. 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 быпредставлять такая классификация, которая давала бы необходимые рекомендации гидрогеологам и организациям, занимающимся бурением в процессе проводимых ими работ. Однако попытки составленията-кой 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 года (табл. 1.14).

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.

Таблица 1.14

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

Продолжение табл. 1.14

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 киперного 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: а) разнородные	Перфорированная труба, обмотанная спирально проволокой. Сетчатые фильтры с зафильтровой 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
б) однородные	Корзинчатые или сетчатые фильтры с обильной засыпкой гравием и крупным песком, осуществляемой одновременно с откачкой воды из скважины с постепенным обнажением фильтра	

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 зависимо-

сти 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 1950-х годов существовали рекомендации увязывающие конструкции фильтров с составом окружающих пород и продолжительностью их работы. Рекомендовалось установка следующих фильтров:

- в скважинах временного действия: в песках крупнозернистых и разнозернистых целесообразно применять щелистые 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 щелистые и гравийные фильтры. Постановка сетчатых фильтров (из меди и латуни) должна быть резко ограничена и может быть допущена в исключительных случаях, например, там, где апробированы опытом долголетней эксплуатации;

- в песках тонкозернистых однородных и глинистых – гравийные фильтры.

Таким образом осуществлялся дифференцированный подход к подбору фильтров, исходя из его целевого назначения. На тот момент времени эти подходы являлисьпринципиально новым и важнымшагом.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 учитывается: 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 представляется делом весьма трудным, но всякая попытка, направленная на создание более гибкой классификации, позволяющей учитывать предельно возможное количество факторов.

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 водоноснойпородой;

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 таких его параметров, както: скважность, размер проходных отверстий, фильтрационной поверхности и т. п., во времени, 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 отнестифильтры, устанавливаемые в скважинах для временного водоснабжения, водопонижения и проведения опытных откачек приизысканиях;
- фильтры, устанавливаемые в наблюдательных скважинах на период опытных откачек и в скважинах режимных сетей, рассчитанных на длительный срок наблюдений. Эти фильтры часто 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, т. к. 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 водопроводимости зафильтровой зоны и тем самым к завышению коэффициентов фильтрации. Поэтому при инженерно-геологических изысканиях не возникает необходимости в установке фильтров с большими процентом скважности и размером проходных отверстий.

Разобранные выше примеры достаточно убедительны для того, чтобы оценить значение целевого назначения скважин при выборе конструкций фильтров.

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

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

Увеличение слоев гравийных обсыпок и их толщина предохраняют фильтры от зарастания и повышают 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 $м^3$/час, а под большим 40–150 $м^3$/час. Причем нижние значения дебита даны длямелкозернистых песков, а верхние – для крупнозернистых игравелистых.

В.М. Гаврилко [11] в 1952 г. была предложена новая классификация с рекомендациями по установке фильтров (табл. 1.15). Приее 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 ГОСТ В-1872-42 в части фильтров в новой классификации не дается соотношений между размером проходных отверстий и диаметром 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. 1.16.

В отличие от старого ГОСТа вновой классификации по конструкциям фильтров учитываются: механический состав пород, химический состав подземных вод, мероприятия по антикоррозийной защите фильтров, применение новых синтетиче-

ских материалов, ограничение 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 небыл 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. 1.17).

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

– обеспечивать максимальный дебит скважины при минимальном понижении уровня воды в ней, т. е. 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 1.15

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*	Величина водоотбора	Литологический состав водоносных пород (пески)	Химический состав подземных вод по степени агрессивности	Срок действия скважин
1	2	3	4	5	6
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	Фильтры сетчатые из нержавеющей стали и латуни. Фильтры гравийные обсыпные, корзинчатые, кожуховые, изготовляемые из черных металлов, каркасно-стержневые с двухслойной гравийной обсыпкой	-	Мелкозернистые	Неагрессивный	Длительный
Фильтры сетчатые из нержавеющей стали и латуни: щелевые, металлические штампованные из листовой стали и обычных стальных буровых труб. При большем водоотборе возможно расширение забоя с закачкой гравия	Фильтры сетчатые из латуни и нержавеющей стали. При увеличенном водоотборе щелевые фильтры всех типов и каркасно-стержневые с однослойной гравийной обсыпкой	-	Среднезернистые		
Перфорированные трубы из простой стали. Каркасно-стержневые фильтры из простой стали с проволокой из нержавеющей стали	Трубы перфорированные (щелевые и дырчатые) из обычной стали, дерева, пластических масс, асбестоцемента. Фильтры стержневые из арматурного железа с проволокой из нержавеющей стали без гравийной обсыпки	-	Крупнозернистые и гравий		
Фильтры сетчатые из нержавеющей стали на каркасах, защищенных от коррозии. Фильтры щелистые из нержавеющей стали с гравийной обсыпкой, вводимой при помощи вспомогательных оболочек или кожухов. Желательно расширение забоя и закачка гравия	Мелкие сетки из нержавеющей стали Фильтры корзинчатые с многослойной обсыпкой Сетки латунные на каркасах, защищенных от образования гальванических пар.	Незначительная	Мелкозернистые	Агрессивный	Длительный
1	2	3	4	5	6
	Фильтры каркасно-стержневые проволочные из антикоррозийных материалов с созданием двухслойных гравийных обсыпок с предельным процентом скважности и размером проходных отверстий	Большая	Мелкозернистые	Агрессивный	Длительный

Продолжение табл. 1.15

Фильтры сетчатые из нержавеющей стали, щелистые из труб антикоррозийных металлов, при большом водозаборе, желательно расширение забоя и закачка гравия	Фильтры с применением сеток из нержавеющей стали или пластических масс, фильтры щелистые из пластических масс, дерева, каркасно-стержневые с частым шагом обмотки	Незначительная	Среднезернистые		
	Фильтры каркасно-стержневые, проволочные, щелистые из дерева, пластических масс, асбестоцемента защищенные от агрессивного воздействия воды, с однослойной гравийной обсыпкой, с максимальным процентом скважности и размером проходных отверстий	Большая			
Перфорированные трубы и щелистые каркасы из стальных антикоррозийных металлов. Каркасно-стержневые и проволочные фильтры, выполненные из нержавеющей стали	Перфорированные трубы с антикоррозийным покрытием: щелевые фильтры из дерева, пластических масс, керамики со скважностью 20 - 25% и предельным размером проходных отверстий	Незначительная	Крупнозернистые и гравий		Длительный
	Перфорированные трубы из нержавеющей стали: каркасно-стержневые и щелевые из металлических стержней, выполненных из нержавеющей стали с максимальным процентом скважности и размером проходных отверстий	Большая			

Таблица 1.16

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; щебенистые и галечниковые с преобладающей крупностью частиц щебня 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 проволочной 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 круглом 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 проволочной спирали из нержавеющей стали, винипласта или при помощи подкладки сетки из винипласта	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, проволочными, 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 1.17

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.

1.5. Схемы оборудования водоприемной 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. 1.8 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. 1.8, 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 [11–13]. Однако рекомендации по созданиюгравийно-засыпных фильтров в зависимости от применяемой технологии вскрытия водоносного пласта бурением не систематизированы, что отрицательно сказывается на качестве гравийно-засыпных фильтров и применении оптимальных технологических приемов их осуществления.

Проведенный Г.П. Квашниным [7] анализ современного состояния технологии бурения буровых скважин позволил их классифицировать по способам вскрытия водоносных пластов (табл. 1.18). Как видно из табл. 1.18, созданиегравийно-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. 1.19 представлены основные преимущества, недостатки и рациональные области применения различных способов сооружения гравийных фильтров.

1.6. Классификация способов сооружениягравийных 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) [14] дана классификация фильтров по принципу их работы в контакте с грунтом илиравийной обсыпкой. Развивая подобный подход, Н.А. Карамбировым [15] была предложена классификация фильтров, дополненная Д. Н. Башкатовым [16].

В. М. Гаврилко (1968) классифицирует фильтры по конструктивному признаку на пять групп: щелевые и дырчатые из труб, из листовых материалов и стержней, из антикоррозионных материалов, сетчатые, гравийные и гравитационные [17].

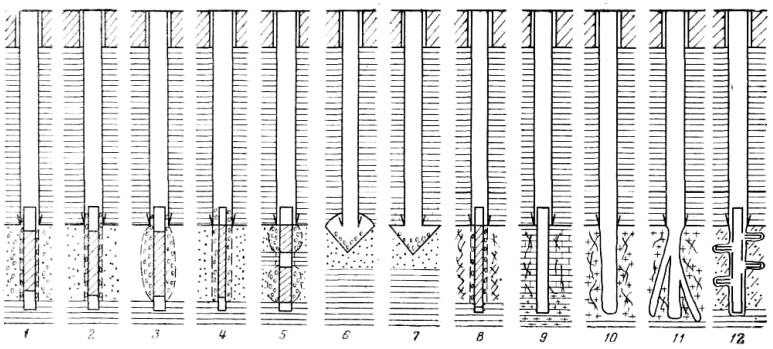


Рис. 1.8. Типовые схемы оборудования водоприемной части скважин:

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 уширенного контура 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 уширенного 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 (щелевым) 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 – многоствольные бесфильтровые .для водоносных пластов (В–И, II–а, б); 12 – водоприемная часть при вскрытии водоносного пласта лучевыми скважинами (Б–I, II–а, б)

Таблица 1.18

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					
			Глубина скважины	Параметры фильтра				Максимальный дебит, м³/ч
				Тип	диаметр, мм	длина, м	Наличие гравийной обсыпки, рекомендуемый тип конструкции водоприемной части (рис. 6)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ударно канатный	С опережением забоя вспомогательной колонной обсадных труб и последующим оголением фильтра	$\frac{А-I-а}{А-II-а}$	<100	Сетчатый, проволочный	219-325	<30	Гравийная обсыпка (возможно многослойная) тип 2,4	<100
	Под защитой текстропной рубашки	$\frac{А \quad I \quad а,г}{А-II-а,г}$	<150	Сетчатый	168-273	<50	Тип 1	<50
	Фильтровой колонной с дырчатым щелевым каркасом, проволочной обмоткой и конусным башмаком	А-III-в	<100	Проволочный, каркас без обмотки	273-426	<40	Без гравийной обсыпки Тип 1	<300
	Открытым забоем без крепления трубами	$\frac{Б-I-б}{Б-II-в}$	<150	Каркас, без фильтра, сетчатый проволочный	273-325	<50	Без гравийной обсыпки Тип10	<150
Вращательный с прямой промывкой	Технической водой	А-I-а, А-II, б Б-I-а,г В- II, III-г	<100 <600	Проволочный, каркас без обмотки, без фильтра	168-377 219-273	<80	Гравийная обсыпка уширеного контура от 500 до 900 мм; типы 3,5	<300
	Глинистыми растворами	$\frac{А-I, II-г}{А-II, \quad II-г}$	100 - 500 и более	Сетчатый проволочный. Дырчатый каркас	219-273 168-325 168-273	10 - 200	Без гравийной обсыпки тип 9,10	<200

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Аэрированными растворами	$\frac{Б-I-б}{Б-III-б}$	100 - 600	Каркас, без фильтра	168 - 273	<200	Без гравийной обсыпки тип 9,10	<150
	Меловыми растворами	$\frac{Б-II-г}{Б-I-б}$	100 - 600	Каркас без фильтра	168 - 219	<200	Без гравийной обсыпки тип 9,10	<100
	Спец растворами	А - I - а,г А - II - б,г иногда Б, В-I, II - а, б залегающие в условиях многолетней мерзлоты	100 - 600	Сетчатый проволочный	168 - 273	<200	Без гравийной обсыпки тип 1,8	<100
Вращательный с обратной промывкой	Тех. водой	$\frac{А-I-а}{А-II-б}$ А - III - в	<200 м и более	Сетчатый, проволочный каркас	325-426 325-426 <500	<100	Гравийная обсыпка диаметром до 1000 мм тип 2,3	<300 и более
	Глинистым раствором	В - II, III - б, в А - I, II III - г	<200	Сетчатый проволочный	325-426	<100	С гравийной обсыпкой диаметром до 1000 мм тип 3,5,2	<300
Вращательный с продувкой воздуха	С пневмоударником	В - I, II - а, б	<150	Каркас	168	<120	Без гравийной обсыпки тип 9,10	<50
	С прямой продувкой и бурением широким долотом	$\frac{Б-III-б}{Б-I,II}$ III - а, б, в	<200	Без фильтра	219	<120	То же 9,10	
Гидравлический фильтра	С гидравлическим расширителем	А - I - а	<50	Сетчатый	168-325	<20	С обсыпкой фильтра гравием, типы 3,5,2	<100
	С гидровсасывающей	А - II - а	<50	Проволочный	168-325	<20		<200
Разработка каверны для бесфильтровой скважины	С заполнением каверны гравием	А - I, II - а, б с неустойчивой кровли водоносного пласта	100 - 300	Без фильтра	-	<5	С заполнением гравием тип 6	<150
	Без заполнения каверн гравием	А - I - II - а,б с устойчивой кровлей водоносного пласта	100 - 300	Без фильтра	-	<5	С заполнением каверн гравием или без гравия	<150

Таблица 1.19

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
Гидровмыв 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 фильтрационной поверхности каркаса фильтра при гидровмыве, 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 обсыпки, рыхлое сложение частиц гравия в фильтре, 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

1	2	3	4	5
Сооружение гравийного фильтра при транспортировке гравия в интервал водоносного пласта через кольцевое пространство в восходящем потоке	Простота проведения технологических операций в скважинах, пробуренных вращательным способом с прямой промывкой, занижение требования к качеству гравийного материала с учетом его фракционирования в процессе скважине в процессе засыпки	Сложность обеспечения надежной доставки гравия в интервал формирования обсыпки. Возникновение в гравийном слое большого числа открытых каналов и пустот, повышения вероятность пескования скважины, невозможность оборудования гравийным фильтром нескольких интервалов нескольких водоносных пластов. Очень сильное расслоение гравия, особенно при ручной подаче в кольцевое пространство скважины	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, оказанный гравий	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 в нисходящем потоке	Простота выполнения технологических операций в скважинах, пробуренных вращательным способом с обратной промывкой и гидротранспортом керна	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 нескольких водоносных пластов. Сложность установки фильтровой колонны вплотай. Расслоение при больших глубинах скважины	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 гидротранспортом керна. Скважины, оборудованные фильтровой колонной, выведенной на поверхность	Перед закачкой скважину необходимо промыть при расходе, превышающем расход закачки гравийной смеси

1	2	3	4	5
Сооружение гравийного фильтра при транспортировке гравия в интервал водоносного пласта через вспомогательную колонну труб, опущенную в кольцевое пространство-скважины	Относительная простота выполнения технологических операций в скважинах, пробуренных с промывкой	Невозможность создания равномерной обсыпки со всех сторон каркаса фильтра, обрушение стенок скважины в интервале водоносного пласта, перемешивание песка с гравием, снижение качества фильтра	Закачка гравия в воронку бесфильтровой скважины	После намыва фильтра необходимо принудительно уплотнить гравий, выполнение с целью предотвращения обрушения стенок скважины целесообразно вести при больших репрессиях на пласт, создаваемых подливом воды в кольцевое пространство скважины или другими способами
Сооружение гравийного фильтра в скважине при транспортировке смеси при комбинированной циркуляции	Получение гравийного фильтра высокого качества при любых горно-геологических условиях проведения работ	Необходимость использования специального скважинного и поверхностного оборудования	Скважины глубиной более 50 м и другие условия, при которых получение гравийного фильтра удовлетворительного качества обычными методами затруднительно	
Сооружение гравийного фильтра блочного, корзинчатого и кожухового типа на поверхности с последующим их спуском в скважину	Получение фильтра высокого качества	Сложность сохранения фильтрационного слоя фильтра в процессе установки в скважину, малая водозахватная поверхность фильтра, необходимость увеличения диаметра бурения и крепления скважины	Скважины бо́льшего диаметра глубиной обычно до 50 - 100 м	При использовании фильтров, сооружаемых на поверхности, необходимо соблюдать дополнительные требования к транспортировке и установке фильтров, обеспечивающие сохранность фильтрационного слоя

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

В 1961 г. В.М. Гаврилко [11] была предпринята попытка классифицировать фильтры гравийного типа по месту их создания. Он разделил гравийные фильтры на два класса, создаваемых на дневной поверхности и на забое скважины.

В дальнейшем классификации, предложенные Д.Н. Башкатовым (рис. 1.9) [16], Ю.В. Пятикопом [18], А.В. Панковым [19], А.Д. Башкатовым [20] и др., содержали именно этот признак.

На современном этапе развития технологий фильтростроения предложена усовершенствованная классификация способов сооружения гравийных фильтров. За основу была взята классификация способов сооружения гравийных фильтров, предложенная А.Д. Башкатовым (рис. 1.10).

Использование наиболее отличительных признаков при анализе этих способов дало возможностьпредставить их в виде новой классификации (рис. 1.11) [21]. 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 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 нашей стране, так и за рубежом 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.

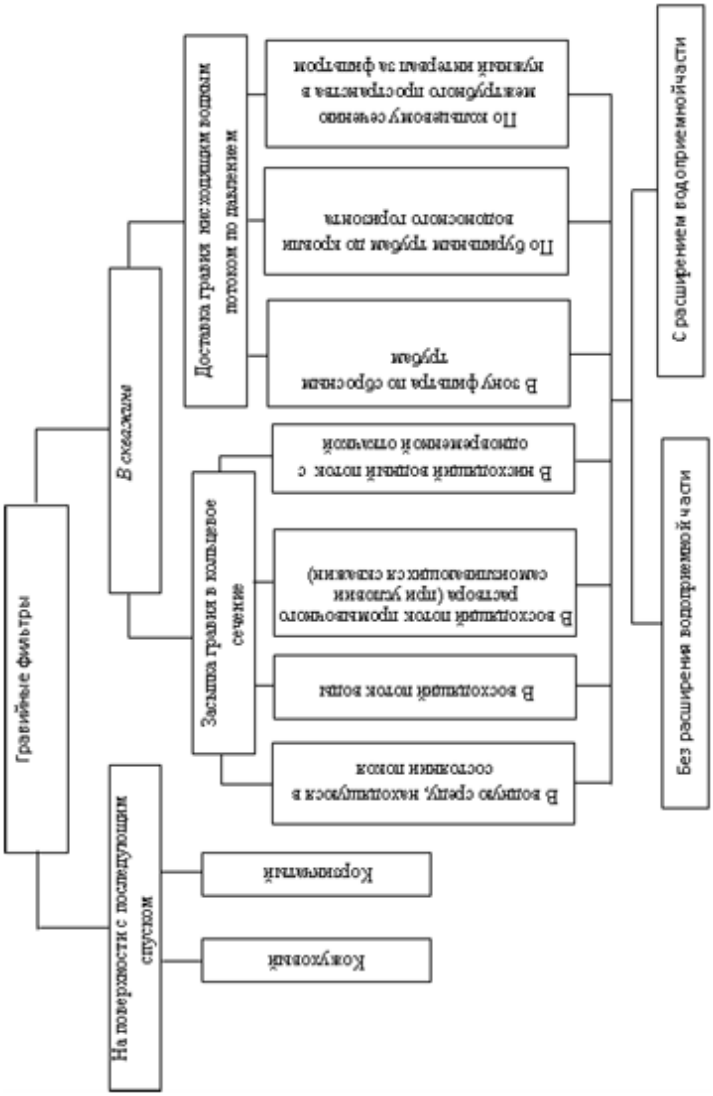
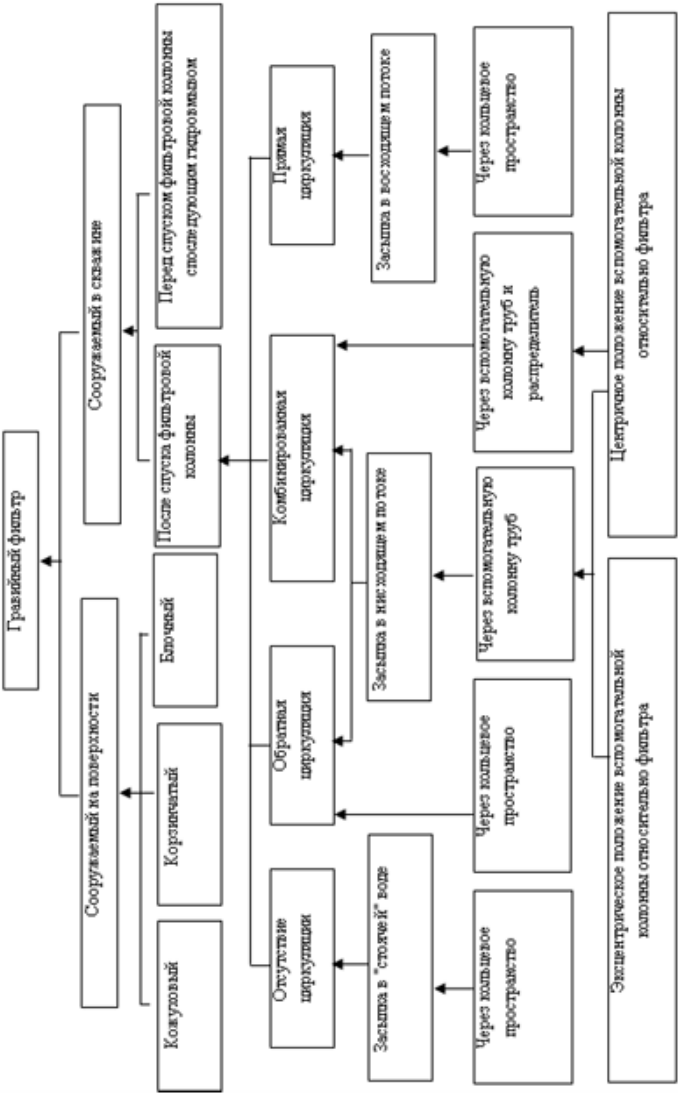


Рис. 1.9. Классификация способов создания гравийно-засыпных фильтров по Д.Н. Башкатову


Гравийный фильтр
Сооружаемый на поверхности
Сооружаемый в скважине
Кожуховый
Корзинчатый
Блочный
После спуска фильтровой колонны
Перед спуском фильтровой колонны
Отсутствие циркуляции
Обратная циркуляция
Комбинированная циркуляция
Прямая циркуляция
Засыпка в "столячей" воде
Засыпка в неподвижном потоке
Засыпка в восходящем потоке
Через кольцевое пространство
Через кольцевое пространство
Через вспомогательную колонну труб
Через вспомогательную колонну труб и распределитель
Через кольцевое пространство
Эксцентрическое положение вспомогательной колонны относительно фильтра
Центрическое положение вспомогательной колонны относительно фильтра

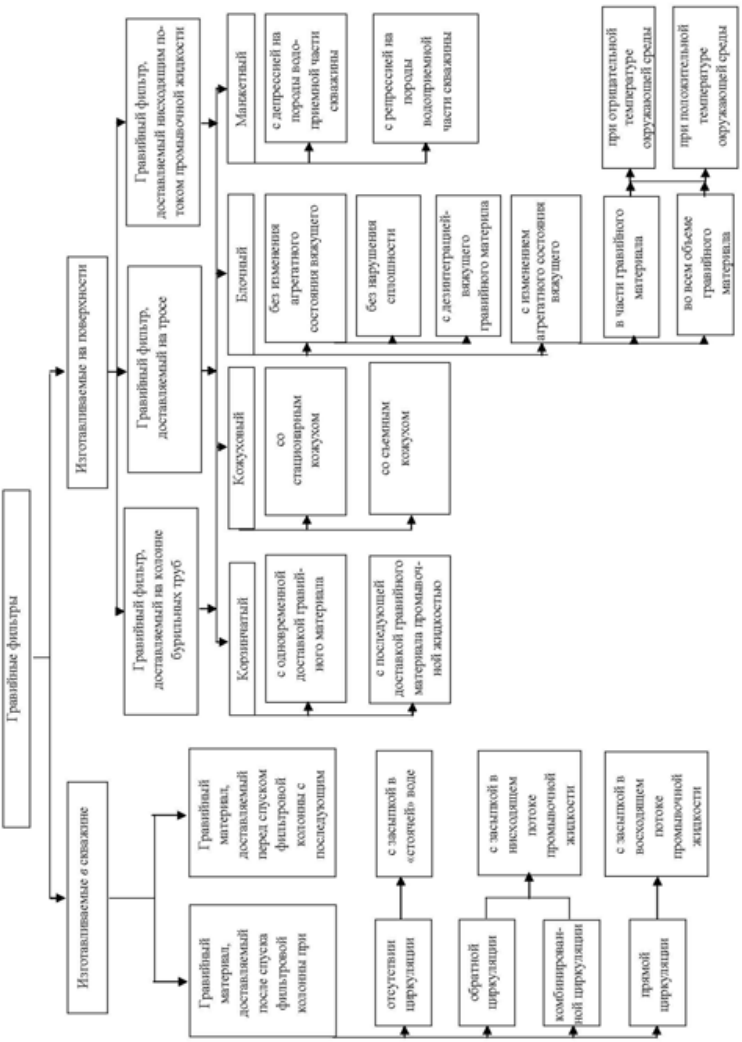


Рис. 1.11. Классификация способов создания гравийных фильтров

Корзинчатые фильтры рекомендуется применять для оборудования водоприемной части скважин в рыхлых породах при небольших водоотборах [18]. 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.

Предложена технология оборудования буровых скважин кожуховыми фильтрами, сооружаемыми на дневной поверхности с последующей доставкой и установкой в водоприемной части скважин [22–26]. 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; центрирование гравийного фильтра при установке в водоносном горизонте и т. д.

В целом, применение технологии оборудования гидрогеологических скважин гравийными фильтрами со съемным защитным кожухом позволит уменьшить расход гравийного мате-

риала 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.

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 качества вяжущих веществ применялись следующие материалы: клей БФ-2 и БФ-4, бакелитовый лак марки А, битум, цемент, резиновый клей, жидкое стекло [11]. В последнее время нашли применение гравийные фильтры блочного типа как отечественного, так и зарубежного производства, в которых 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, положена идеясоздания технологии изготовления элемента гравийного фильтра блочной конструкции с соедине-

нием гравийного материала в монолитный композит с помощью минераловяжущего 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 минераловяжущим 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 [27, 28].

Применение разрабатываемой технологии оборудования буровых скважин криогенно-гравийным фильтром позволяет:

- 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 гра вийной 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 непроизводственные затраты времени и средств при улучшении качества работ и долговечности скважины.

Предложена технология оборудования водоприемной части скважины манжетными фильтрами. При этом гравийная обсыпка в рыхлом состоянии удерживается манжетами, закрепленными на фильтровой колонне, доставляемой на колонне бурильных труб или тросе, или нисходящим потоком промывочной жидкости к водоприемной части скважины.

Глава 2. КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ГРАВИЙНО-ЗАСЫПНЫХ ФИЛЬТРОВ

Способ бурения, применяемый для вскрытия водоносного пласта, его технологические особенности практически предопределяют выбор технологии созданиягравийно-засыпных фильтров.

Технология созданиягравийно-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 созданиягравийно-засыпных фильтров должна позволять управлять процессом формирования водоприемной части водозаборной скважины, для чего нужны надежные источники информации о процессах, происходящих в призабойной зоне.

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 гидрогеологическими условиями 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. 2.1 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. 2.1 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, суглинков и песков.

При этом диаметры фильтровых и эксплуатационных колонн также уточняются в соответствии с проектным дебитом скважины от 10 до 250 $м^3$/ч. Водоприемная часть во всех скважинах 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 водоносною пласта до 100м;

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 требует 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.

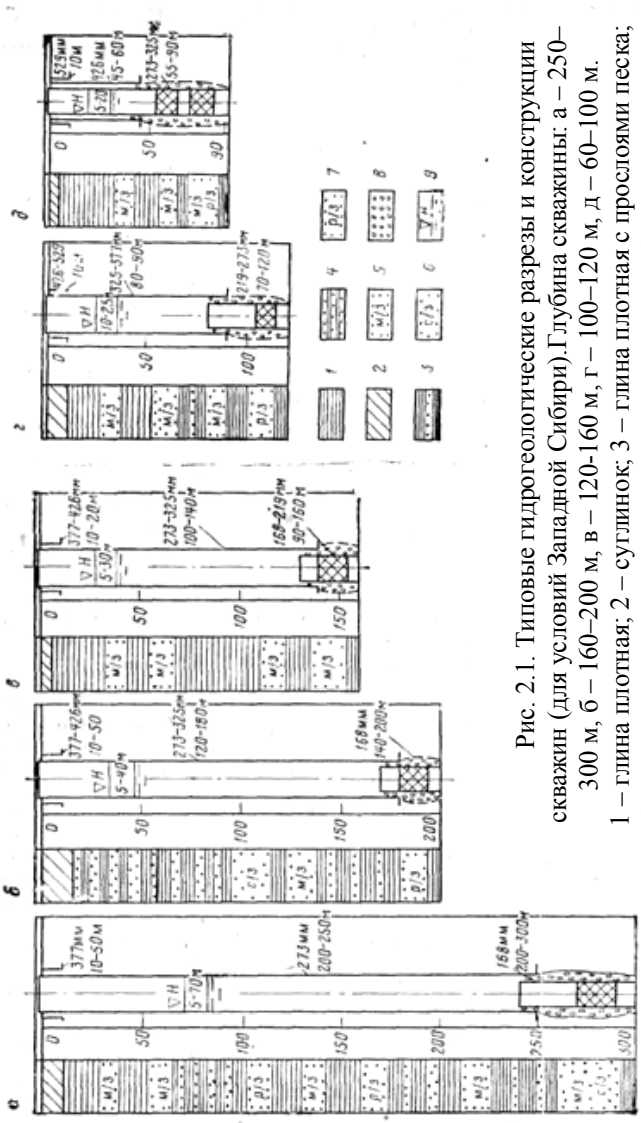


Рис. 2.1. Типовые гидрогеологические разрезы и конструкции скважин (для условий Западной Сибири). Глубина скважины: а – 250–300 м, б – 160–200 м, в – 120-160 м, г – 100–120 м, д – 60–100 м.
1 – глина плотная; 2 – суглинок; 3 – глина плотная с прослоями песка; 4 – песок мелкозернистый с прослоями глины; 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. 2.2.

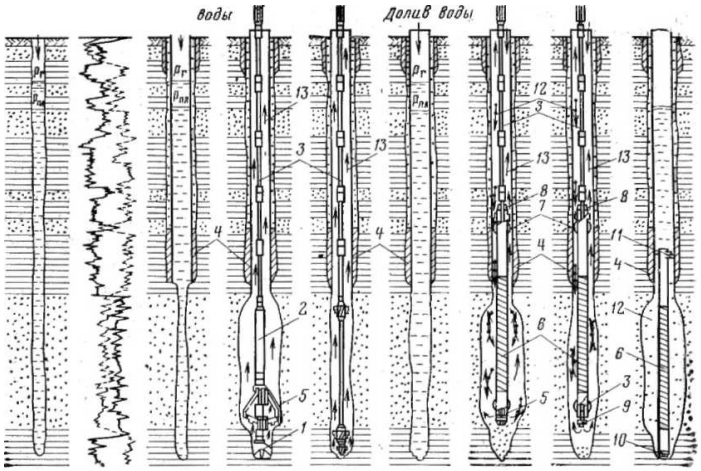


Рис. 2.2. Схемы последовательности технологических операций при вскрытии водоносных песков с прямой промывкой водой и создания гравийной обсыпки фильтра:

I – бурение разведочной скважины и каротаж; II – разбуривание и установка эксплуатационной колонны с цементированием; III – расширение ствола скважины механическим расширителем; III а – 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 и второй этапы выполняются при бурении разведочно-эксплуатационных скважин, когда интервал установки рабочей части фильтра нельзя определить по гидрогеологическим данным близлежащих скважин.

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

$$P_г > P_{пл} + 0{,}03 \text{ МПа}. \quad (2.1)$$

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. Эксплуатации колонну устанавливают и цементируют согласно проекту.

Третий этап включает следующие технологические операции:

1) разбуривание цементной пробки;

2) замену 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 (рис. 2.2 – этап IV).

По технологии, разработанной в тресте Востокбурвод, возможно совмещение операций по вскрытию водоносного пласта уширенным контуром с одновременной посадкой фильтровой

колонны (рис. 2.2 – 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. 2.2 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 *6* 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 расслое-

ния гравийной обсыпки [29]. При этом скорость восходящего потока должна быть и пределах 0,6–1,3 см/с, а интенсивность загрузки гравия 0,05–0,06 м^3/мин. Скорость восходящего потока в кольцевом пространстве рекомендуется определять по номограмме, разработанной М. Г. Оноприенко [29] (рис. 2.3).

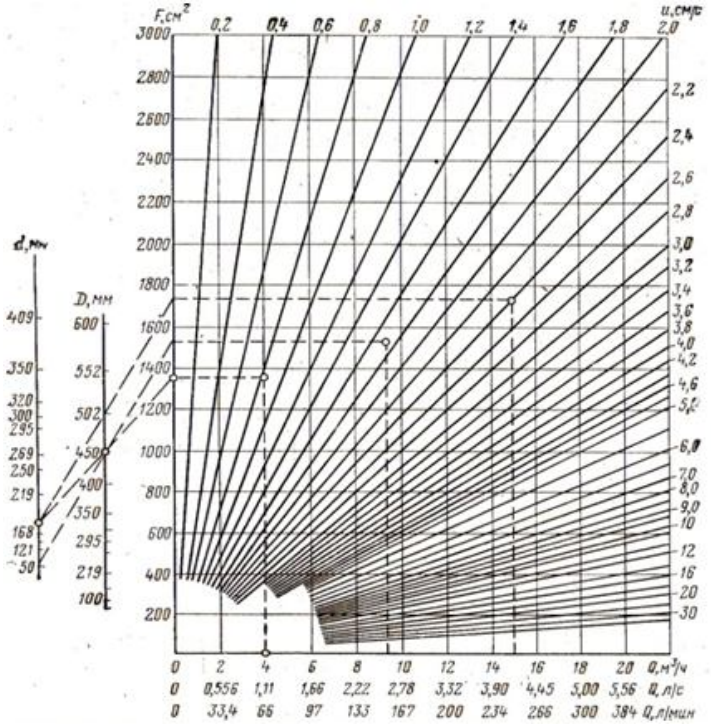


Рис. 2.3. Номограмма для определения средней скорости восходящего потока и в кольцевом пространстве, ограниченном цилиндрическими поверхностями *D* и *d* при расходе жидкости $Q \leq 22$м^3/ч (по М. Г. Оноприенко)

Пользование номограммой поясняется следующим примером: *D* = 450 мм – диаметр скважины; *d* = 168 мм – диаметр трубы; *u* = 0,8 см/с – заданная скорость восходящего потока. Через точки *d* = 168 мм и *D* = 450 мм на шкалах *d* и *D* (рис. 2.3) проводят прямую до пересечения с лучом скорости потока

u = 0,8 м/с. Полученную точку сносят на ось Q и определяют требуемый расход интенсивности промывки $Q = 4$ м^3/ч.

С целью равномерной обсыпки фильтра гравием фильтровую колонну в период засыпки рекомендуется слегка встряхивать, поднимая ее на 5–10 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 м.

После установки фильтровой колонны *6* на место (рис. 2.2. – этап V) и создания гравийной обсыпки фильтра бурильные трубы *3* отвинчивают с 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. 2.2 – этап V*I*).

На схеме (рис. 2.2 – 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 нарис. 2.2 – этап V.

Готовую скважину (рис. 2.2 – 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 [30].

Во время цементирования эксплуатационной колонны и схватывания цемента проводят следующие подготовительные работы [30]:

1) очистку отстойника, подготовку запасных емкостей под воду, обеспечение при необходимости отвода промывочной жидкости от скважины, минуя 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, обращая особое внимание на насос (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, осаждаясь во время перерыва в бурении, не позволят наращивать трубы нормальной длины.

Водоносный пласт находится в устойчивом состоянии при соблюдении условия устойчивости

$$P_г - P_{пл} \geq \Delta P \text{ при } +\Delta P = 0{,}03 \text{ до } 0{,}05 \text{ МПа}.$$

Устойчивость стенок скважины гарантируется наличием избыточного гидростатического давления воды в скважине над пластовым и отсутствием гидродинамических импульсных волновых колебаний, возникающих при неосторожном ведении спуско-подъемных 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 погло-

щения воды при вскрытии неустойчивых водоносных пластов с прямой промывкой водой в условиях Западной Сибири при проведении различных технологических операций в скважине приведена на рис. 2.4 [30].

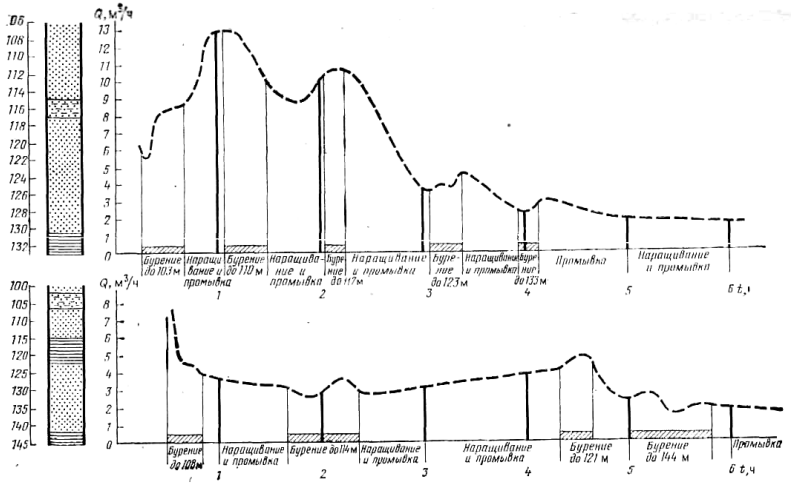


Рис. 2.4. График поглощения воды при различных технологических операциях при вскрытии пласта

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

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

$$Q=Q_в+Q_{гр}\,. \qquad (2.2)$$

где $Q_в$ – потребное количество воды для вскрытия, м^3; $Q_{гр}$ – потребное количество воды для созданиягравийно-засыпного фильтра, м^3.

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

$$Q_в = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \qquad (2.3)$$

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

Рассмотрим значение каждой из составляющих уравнение величин

$$Q_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} H_1 k_1, \qquad (2.4)$$

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±2);

$$Q_2 = \frac{\pi (D_2 \times k_2)^2}{4} H_2, \qquad (2.5)$$

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+1,3); H_2 – длина интервала от кровли пласта до забоя скважины, м:

$$Q_3 = Q_н T k, \qquad (2.6)$$

где $Q_н$ – подача бурового насоса, м^3/ч (при работе на выброс). При очистке обогащенной шламом воды и последующим ее использованием вводят понижающий коэффициент ($k_{цирк.}$ = 0,2...0,3); T – время вскрытия пласта, ч; k – коэффициент поглощения;

$$Q_4 = Q_н T_1 k, \qquad (2.7)$$

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 созданиягравийной обсыпки фильтра при одновременной промывке скважины, определяется выражением

$$Q_{гр}=Q_н T_{гр}\,, \tag{2.8}$$

где Q – подача бурового насоса при загрузке гравия, определяемая по номограмме (рис. 2.3) м^3/ч; $T_{гр}$ – время для созданиягравийной обсыпки, ч

$$T_{гр}=V_{гр}/u_{гр}, \tag{2.9}$$

где $V_{гр}$ – расчетный объем гравия для обсыпки фильтра, м^3; $u_{гр}$ – рекомендуемая интенсивность загрузки гравия, м^3/ч (по данным М.Г. Оноприенко [29] принимается равной 0,05–0,06 м^3/мин или 3–3,6 м^3/ч); $u_{гр}$ – 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

$$V_{гр}=0,785(D^2-d^2)l\alpha\,, \tag{2.10}$$

где $V_{гр}$ – требуемый объем гравия, м^3; D – диаметр скважины, м; d – наружный диаметр каркаса фильтра, м; l – длина фильтра, м; α – коэффициент растекания.

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: α=2 ÷ 3, что обусловливается повышенным кавернообразованием.

Размер зерен гравия для обсыпки рекомендуется рассчитывать по формуле

$$D_{гр}=(6 \div 10)d_n, \qquad (2.11)$$

где $D_{гр}$ – 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 обеспечивает наибольшую активную пористость обсыпки.

Ниже приведены данные В.И. Фоменко [31], характеризующие изменение активной пористости гравийной обсыпки при различных коэффициентах неоднородности.

Таблица 2.1

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 зафильтрового пространства водой следует учитывать, что скорость падения различных частиц гравия разная, что может привести к послойному формированию гравийной обсыпки. Ниже приведены данные о скорости и времени падения частиц гравия песка различных размеров (для ориентировочных расчетов без учета стесненных условий падения частиц и вращения бурильных труб в скважине).

По данным исследований М.Г. Оноприенко [29], 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 2.2

Скорости и времени 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 [29] установлено, что оптимальный режим интенсивности засыпки гравия в скважину в мелких песках должен составлять 1–2 г/(с–см^2). 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–см^2). При использовании для гравийной обсыпки разнозернистого 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 [29]

$$V_i = \Delta T_i \sum_{1}^{i} \mathrm{n_i F_i} / \mathrm{F_2} \left(1 - \mathrm{m}\right); \tag{2.12}$$

$$V = \sum_{1}^{i} \mathrm{V_i}, \tag{2.13}$$

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_i – объем загрузки частиц каждой фракции на единицу площади поперечного сечения кольцевого зазора, дм^3/с·см^2; $P_л$ – 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

$$s = \sum_{1}^{i} n_i / us_i \ , \tag{2.14}$$

где s – концентрация твердых частиц в единице объема воды; $\mathrm{us_i}$ – относительная скорость движения частиц в потоке воды, см/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 [32].

Принимаем следующую размерность обозначений: Q – подача бурового насоса, л/с (для, насоса 11Гр Q= 4,5 л/с); $Q_П$ – 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 г/см^3); γ_2 – плотность восходящего потока (1–1,2 г/см^3); c_x – коэффициент лобового сопротивления для частиц шлама; ω – средняя скорость восходящего потока, см/с ($\omega = (Q - Q_n/F)$) критическая скорость для данных частиц шлама.

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

$$\omega_{кр} \leq \omega; \tag{2.15}$$

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2gl}{c_x^n}\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} - 1\right)}; \tag{2.16}$$

$$c_x = 1{,}67\left(\frac{D - d}{l}\right)^{-0{,}18}, \tag{2.17}$$

откуда

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2gl}{1{,}67\left(\frac{D - d}{l}\right)^{-0{,}18}}\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} - 1\right)};$$

или

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2gl^{0{,}28}(D - d)^{0{,}18}}{1{,}67}\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} - 1\right)}. \tag{2.18}$$

Подставляя ω и $\omega_{кр}$ в неравенство (2.15) и решая полученное уравнение, находим предельное значение для l по формуле Шумилова

$$\omega = \sqrt{\frac{2gl^{0{,}28}(D - d)^{0{,}18}}{1{,}67\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} - 1\right)}}. \tag{2.19}$$

Для наших условий величина ω определяется выражением

$$\omega = \frac{Q - Q_n}{F} \tag{2.20}$$

Возведя обе части уравнения в квадрат, определим l

$$2gl^{0,28}\left(\mathrm{D}-\mathrm{d}\right)^{0,18}\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}-1\right)=\omega^2 1{,}76\ ,$$

или

$$l^{0,28}=\frac{\omega^2 1{,}76}{2g\left(\mathrm{D}-\mathrm{d}\right)^{0,18}\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}-1\right)}. \qquad (2.21)$$

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

$$\omega_{\text{кр}}=\mathrm{k}\sqrt{1\frac{\gamma_1-\gamma_2}{\gamma_2}}\ , \qquad (2.22)$$

где k – коэффициент, зависящий от формы частиц. Для частиц круглой формы k = 50, для частиц неправильной формы k = 25÷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 [32] 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 (кинетическая вязкость воды V= 0,01 м^2/с) в случае использования колонны бурильных труб диаметром 73 мм с частотой вращения около 100 об/мин, число Рейнольдса, определяемое выражением

$$Re=\omega r^2/\nu, \qquad (2.23)$$

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

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

$$\omega = \sqrt{\upsilon_{окр}^2 + c^2}. \qquad (2.24)$$

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

$$v_{окр} \approx 28(v/s)^{1/3},$$

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. $l_{пр}/l_{теор}=2\div3$ ($l_{пр}$ – размер частиц шлама, выносимых из скважины в момент вскрытия пласта с вращением бурильного вала; $l_{теор}$ – 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 прорабатывать ствол скважины при одновременном вращении колонны бурильных труб. Время проработки и промывки должно определяться по формуле

$$T=H/2(\omega - \omega_{кр}), \qquad (2.25)$$

где T – время проработки с промывкой, с; H – глубина интервала, см; $\omega_{кр}$ – расчетная скорость падения частиц шлама в жидко-

сти, 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. 2.4 видно, что удельное водопоглощение по приведенным скважинам составляет от 0,15 до 0,4 м^3 на 1 м пласта. Удельное водопоглощение (м^3/м·ч) определяется выражением

$$g=(Q_н - Q_{возв})/H, \qquad (2.26)$$

где $Q_н$ – количество воды, поданное буровым насосом, м^3/ч; $Q_{возв}$ – количество воды после циркуляции, м^3/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 [29]. 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, обусловливающие 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

$$\mathrm{u}_{\delta} = \frac{Q_{ï}}{2\pi \cdot r \cdot l \cdot n}, \qquad (2.27)$$

где r – радиус скважины в интервале пласта, м; l – длина участка интенсивного поглощения, м; n – активная пористостьводоносных пород.

Этот поток также воздействует на частицу шлама (песка), находящегося в интервале поглощения. При этом сила гидродинамического давления потока на частицу песка при инфильтрации можно определить выражением

$$p = c\frac{\pi d_{ч}^{2}}{4}\frac{\mathrm{u}_{ф}^{2}}{2\mathrm{g}}\gamma_{2}, \qquad (2.28)$$

где c – коэффициент лобового сопротивления (гидродинамическая характерстика), принимается для условий турбулентного

движения потока в скважине; $d_ч$ – условный диаметр частицы шлама (песка), м; g – ускорение свободного падениям /с^2; γ_2 – плотность потока воды в скважине, кг/м^3; $u_ф$ – 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 [33] максимальный диаметр выносимых частиц вычисляют по формуле

$$d = \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma_2} \sqrt{\upsilon_{îêð}^2 + u_â^2} \frac{u}{k^2}, \qquad (2.29)$$

где γ_1 – плотность частицы породы; γ_2 – плотность воды; $\upsilon_{окр}$ – скорость движения частицы под действием центробежных сил в турбулентном потоке; $u_в$ – скорость восходящего потока; $к$ – коэффициент, зависящий от формы частицы (для частиц с круглой формой k = 50, для частиц неправильной формы k = 25÷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 [29].

На рис. 2.5 приведена технологическая последовательность операции по вскрытию водоносного пласта, представленного песками, и создания гравийно-засыпного фильтра.

Первый этап (рис. 2.5, *II)* – бурение пилот-скважины диаметром 146 мм, электрокаротаж и выбор интервалов установки рабочей части фильтра.

Второй этап (рис. 2.5, 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. 2.5, *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. 2.5, *IV)* – испытание скважины, досыпка песчано-гравийной смесью 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. 2.5, *V*).

Процесс испытания скважины, оборудованной засыпным фильтром уширенного контура, и подготовка к сдаче ее в эксплуатацию показан на рис. 2.5, *VI*.

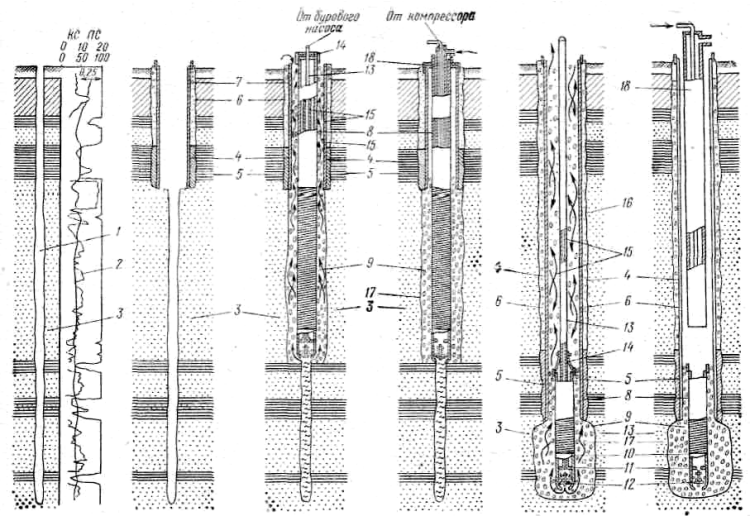


Рис. 2.5. Схемы технологических операций по вскрытию водоносного пласта и созданиюгравийной обсыпки фильтра с прямой промывкой водой (по М.Г. Ономриенко):

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 созданиюгравийно-обсыпных фильтров уширенного контура в водоносных песках. Последовательность проведения технологических операций, по данным С.Л. Драхлиса [34], приведена на рис. 2.6.

Вначале скважину бурят с промывкой глинистым раствором до проектной глубины заданным диаметром (рис. 2.6, I).

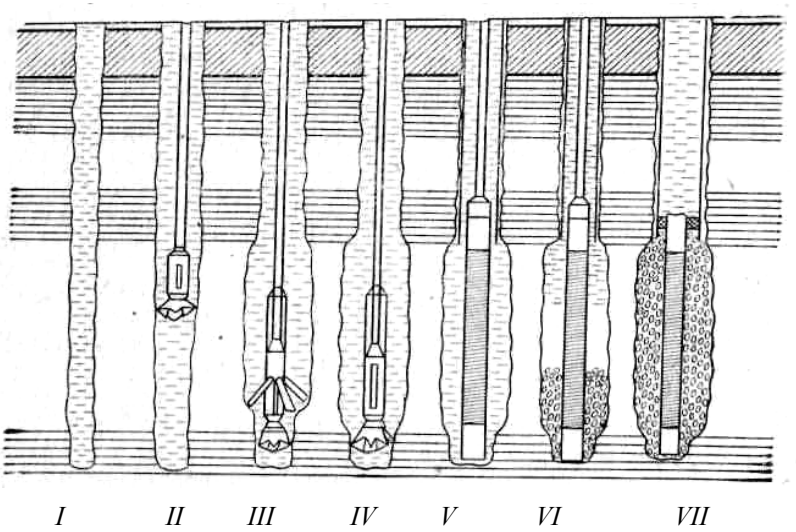


Рис. 2.6. Схема создания гравийного фильтра уширенного контура (опыт треста Промбурвод):
I – ствол скважины после окончания бурения; II – спуск расширителя; III – расширение ствола скважины; IV – подъем расширителя; V – спуск фильтровой колонны; VI – создание гравийно-засыпного фильтра; VII – заканчивание скважины

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. 2.6, *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. Драхлиса [34], при расширении скважины в мелких песках удельное водопоглощение составляет 0,0013 $м^3$/мин.

Как отмечает А.Д. Башкатов [39], 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 превышают размер частиц песка не более чем в шесть раз, в соответствии с рекомендациями [65], 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 2.7). 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, осажденных 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 [67, 68]. Некоторые частицы не выносятся на поверхность даже при форсированных режимах промывки [69]. Часть частиц твердой фазы налипает 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 образование 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.

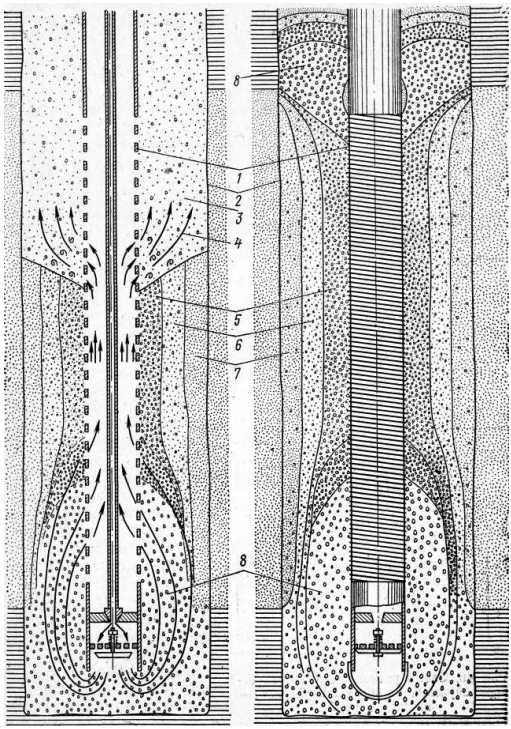


Рис. 2.7. Формирование структуры гравийно-обсыпного фильтра в восходящем потоке воды:
1 – фильтровый каркас; 2 – стенки скважины;3 – зафильтровое пространство; 4 – направление движения воды в процессе осаждения гравия; 5 – внутренний контур обсыпки; 5 – средний контур обсыпки; 7 – наружный контур обсыпки; 8 – участки максимальной крупности частиц

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 оборудования 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 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.

Вскрытие рыхлых водоносных пластов с промывкой водой имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими способами, когда используются различные растворы (глинистые, меловые, аэрированные 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.

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 с диаметром 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. 2.3. [5]

Таблица 2.3

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

$$Q = \frac{4\pi kmp_{г.изб}}{24ln\frac{2,45at}{r_0^2}}, \qquad (2.30)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут; m – мощность вскрываемой части водоносного пласта (интервала поглощения), м; $p_{г.изб}$ – избыточное гидростатическое давление на пласт мощностью не менее 4–5 м; a – коэффициент пьезопроводности, м^2/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 зафильтровое пространство с одновременной эрлифтной откачкой. Технологическая последовательность всех операций приведена на рис. 2.8.

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. Спуско-подъемные операции проводят без рывков, плавно, не более чем на II скорости для установок УРБ - 3АМ и 1БА - 15В.

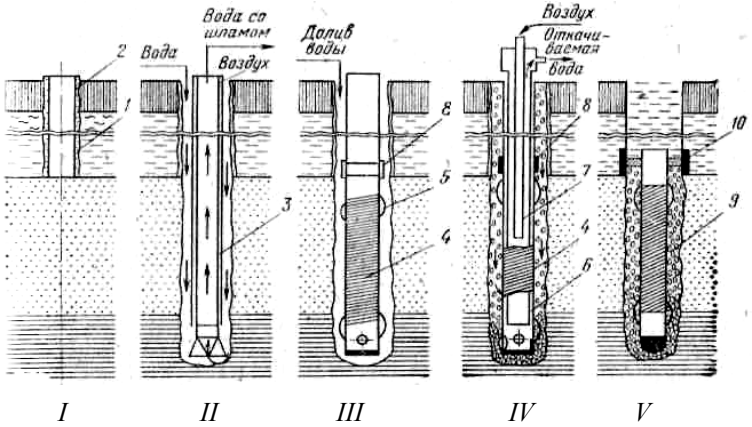


Рис. 2.8. Схемы технологических операций по созданию гравийной обсыпки при вскрытии водоносного пласта с обратной циркуляцией промывочной жидкости:
I – *бурение до кровли водоносного пласта;* II – *вскрытие водоносного пласта;* III – *установка фильтра;* IV – *формирование гравийной обсыпки;* V – *заканчивание 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 эрлиф-

том. 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. Самоуплотняющий 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. 2.8, *V*).

При вскрытии водоносных песков с обратной циркуляцией 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. 2.9.

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. 2.9, I).

После этого желательно вскрывать водоносный пласт с промывкой водой (рис. 2.9, 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. 2.9, III), а разрушенная порода удаляется эрлифтом: при этом в двойную колонну бурильных труб для обратной промывки спущена труба *10* с форсункой для подачи воздуха.

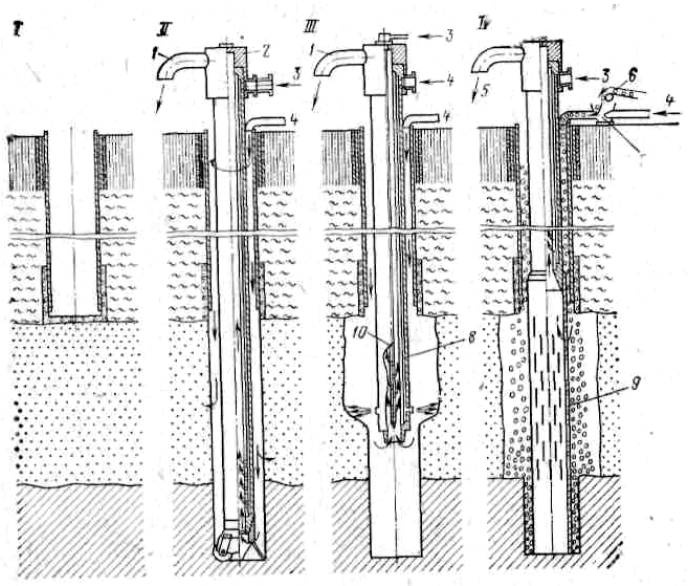


Рис. 2.9. Схема создания гравийно-засыпных фильтров по В.М. Гаврилко:
1 – выброс шлама; 2 – вертлюг специальный; 3 – подача воздуха; 4 – подача воды в скважину; *5 – сброс воды; 6 – подача гравия; 7 – гидросмесительный агрегат; 8 – двойные трубы; 9 – фильтр; 10 – эрлифтные трубы*

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. 2.9, IV) и в кольцевой зазор засыпают гравий с водой с одновременной откачкой через двойной снаряд для обратной промывки. Данный способ созданиягравийной обсыпки фильтров также весьма эффективен и его следует рекомендовать к широкому внедрению в производство. Технология загрузки гравия аналогична ранее приведенной.

Вторая схема создания гравийно-засыпного фильтра с уширенным контуром при обратной промывке широко применяется в тресте Укрбурвод. Она основана на расширении ствола скважины спомощью механического расширителя. Н.В. Гудзенко, Н.А. Зайченко [5] 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. 2.10.

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. 2.10, I) с последующим ее цементированием. Далее глинистый раствор рекомендуется заменять технической водой. В скважину спускают снаряд для обратной промывки (рис. 2.10, 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. 2.10, 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. 2.10, IV*)*.

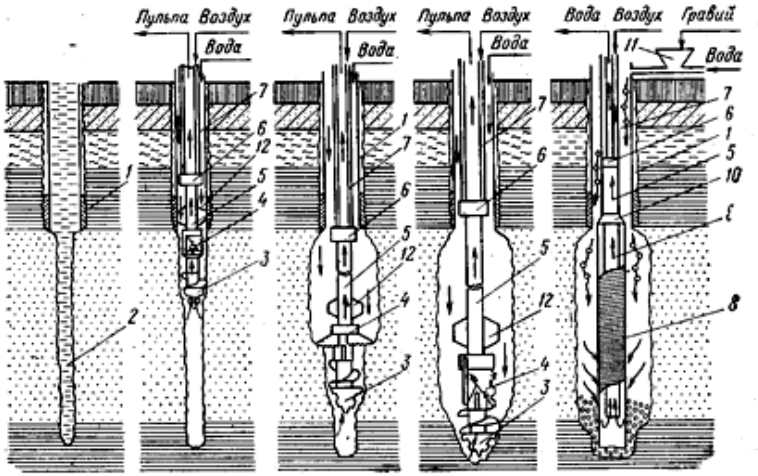


Рис. 2.10. Схема создания гравийно-засыпных фильтров:
1 – зацементированная обсадная колонна; *2 – ствол разведочной скважины; 3 – лопастное долото-пилот; 4 – механический расширитель; 5 – бурильные трубы; 6 – вихревой насос;* 7 *– ведущая двойная бурильная труба; 8 – фильтровая колонна; 9 – водоподъемная колонна; 10 – муфтовый переводник с левой резьбой; 11 – гравиепитатель; 12 – центратор*

Фильтровую колонну спускают в скважину на ведущей бурильной трубе *7* (рис. 2.10, 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* извле-

кают 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 положительные результаты.

При вскрытии водоносного пласта с обратной промывкой гравийно-обсыпной фильтр можно создавать с нормальной толщиной гравийной обсыпки [36]. В этом случае гравийную смесь подают в скважину путем закачки смеси с водой в зафильтровое 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 [66].

Вертикальное расслоение гравия при закачке в нисходящем потоке через кольцевое пространство устранить не удается 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 [67] 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 [70] 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. Основным недостатком указанной технологии является кольматация продуктивного горизонта вследствие закачки в него инородной жидкости и 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 [69]. 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. 2.11).

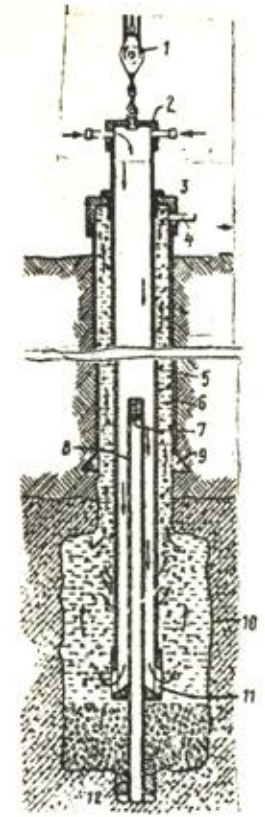


Рис. 2.11. Закачка гравия через вспомогательную центрированную колонну труб:
1 – элеватор, 2 – нагнетательная магистраль, 3 – герметизатор устья, 4 – сливная магистраль, 5 – скважина, 6 – вспомогательная колонна, 7 – заглушка, 8 – фильтр, 9 – башмак обсадной колонны, 10 – приемная каверна, 11 – выпускные отверстия вспомогательной колонны, 12 – башмак фильтра

В этом случае гравий вокруг каркаса фильтра осаждается 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 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 – он 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.

2.3. Технология создания гравийно-засыпныхфильтров 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 [37], 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 [38].

Сущность этого способа показана на рис. 2.12 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 $l_ф$**.** При этом делается допущение, что пески водоносного горизонта несвязные.

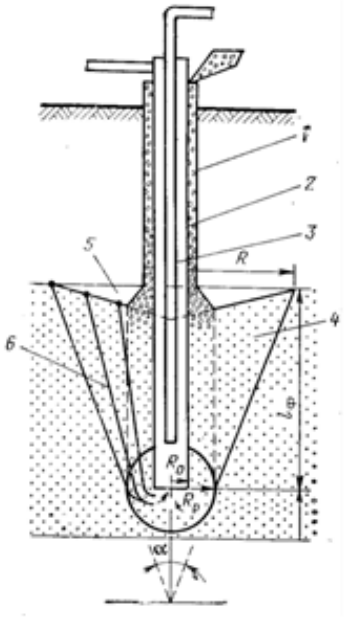


Рис. 2.12. Схема замещения песка гравием с удалением продуктов обрушения через башмак водоподъемной колонны

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.

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.

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 1950-х годов [63] предложена принципиально новая технология подачи гравия в зону фильтра, согласно которой вспомогательная колонна труб располагается внутри фильтровой колонны (рис. 2.13).

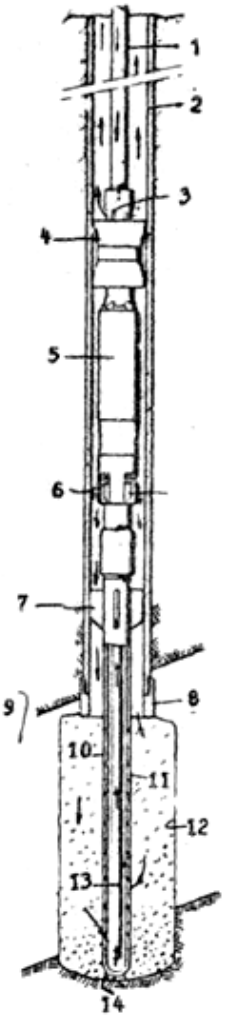


Рис. 2.13. Закачка гравия через вспомогательную колонну труб и распределитель при создании обратной призабойной циркуляции:
1 – вспомогательная колонна; 2 – обсадная колонна; 3 – выходные отверстия распределительного узла; 4 – пакер; 5 – распределитель; 6 – выпускные отверстия распределительного узла; 7 – стабилизаторы-центраторы; 8 – башмак обсадной колонны; 9 – коллектор; 10 – фильтр; 11 – отверстия фильтра; 12 – приемная каверна; 13 – водоподъемная колонна; 14 – башмак фильтра

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 распреде-

лителем, 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.

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 [62]. Равномерному распределению гравия вокруг фильтра способствуют четыре стабилизатора потока, установленные между фильтром и распределителем. Стабилизаторы выполняют также функцию центаторов.

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. 2.14) [64].

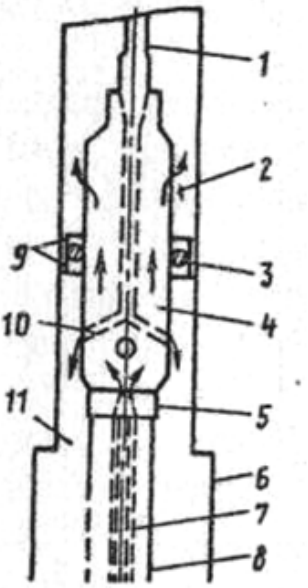


Рис. 2.14. Устройство для закачки гравия:
1 – вспомогательная колонна; 2 – выходные отверстия распределительного узла; 3 – резиновое кольцо; 4 – распределительный узел; 5 – переходник с левой резьбой; 6 – приемная каверна; 7 – водоподъемная колонна; 8 – фильтр; 9 – металлические диски; 10 – выпускные отверстия распределительного узла; 11 – обсадная колонна

Продуктивный горизонт был представлен тонкозернистыми песками однородного гранулометрического состава, мощностью 30–40 м, залегавшего на глубинах от 380 до 450 м.

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 верх-

ней 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 за уровнем 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 [39] 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 достав-

ка 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 кольматант 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 м 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 [39].

При установке фильтровой колонны впотай следует применять устройство для сооружения гравийного фильтра в скважине УГФ модификации II, при сооружении многосекционного гравийного фильтра – модификации М. Вели 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. 2.15.

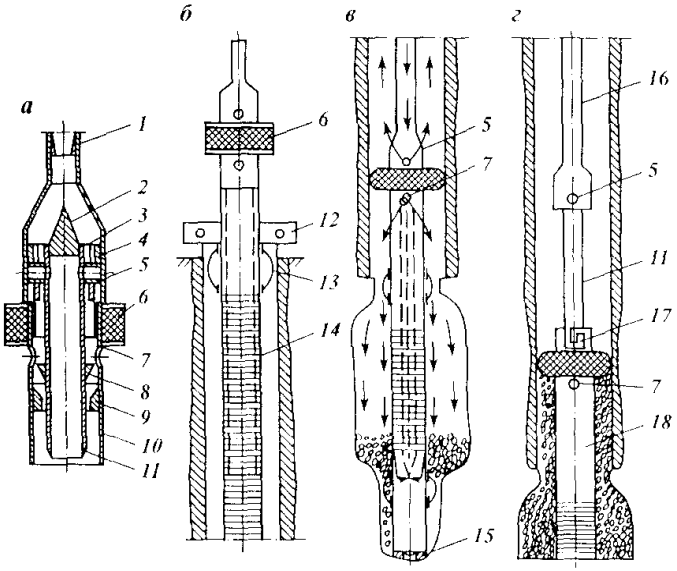


Рис. 2.15. Сооружения гравийного фильтра в скважине с установкой впотай фильтровой колонной:
1 – верхний торец УГФ-П; 2 – пробка; 3 – герметезирующая втулка; 4 – направляющая втулка; 5 – опорные патрубки; 6 – пакер; 7 – выпускные отверстия; 8 – конус; 9 – седло; 10 – переходник; 11 – вспомогательная трубка; 12 – хомут; 13 – центраторы; 14 – фильтровая колонна; 15 – отстойник с обратным клапаном; 16 – бурильная колонна; 17 – замковое седло; 18 – надфильтровая труба

В скважину спускают отстойник с обратным клапаном, рабочую часть фильтровой и надфильтровую колонну расчетной длины. Инструмент фиксируют на устье с помощью хомута. На нижний торец УГФ-П наворачивают бурильные трубы длиной, соответствующей длине фильтровой колонны. Внутрь фильтровой колонны спускают бурильные трубы и УГФ-П, которые соединяют с верхним торцом надфильтровой трубы (рис. 2.15, *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 распакеровкой герметизируется кольцевое пространство между фильтровой и вспомогательной колоннами ниже закачных отверстий устройства (рис. 2.15, *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. 2.15, *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. 2.15, *г*). 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. 2.16. 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 УГФ2, после чего продолжают спуск фильтровой колонны *18*, укомплектованной центраторами. Кольцевое пространство скважины между фильтровой колонной и кондуктором на устье герметизируют.

Внутрь 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 УГФ4 с присоединенной к его нижнему торцу вспомогательной колонной, представленной бурильными трубами, спускают внутрь фильтровой колонны на бурильных трубах *14*. Спуск осуществляют плавно (рис. 2.16, *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. 2.16, *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. 2.16, *г*). Допускается совместно с фильтровой колонной спускать распределительный узел УГФ с вспомогательной колонной. Для этого распределительный узел и вспомогательную колонну фиксируют внутри закачной муфты УГФ на поверхности. После спуска фильтровой колонны внутрь ее 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 2.17.

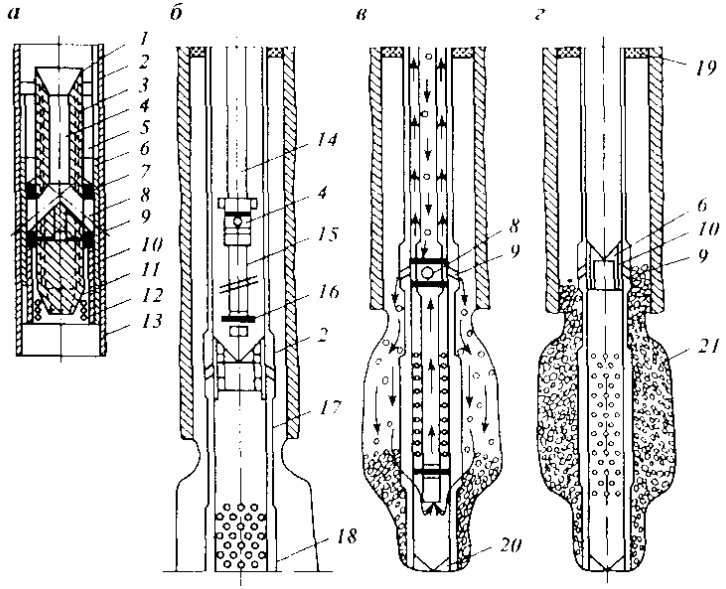


Рис. 2.17. Сооружения гравийного фильтра в скважине с выведенной на поверхность фильтровой колонной:

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 колона; 19 – герметизатор; 20 – отстойник с обратным клапаном; 21 – гравийный фильтр

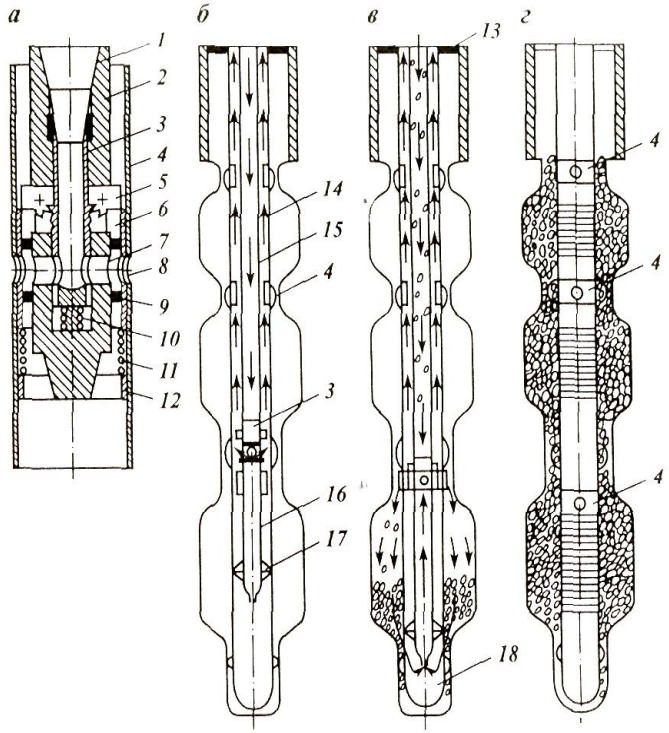


Рис. 2.17. Сооружение многосекционных гравийных фильтров в скважине:

а – инструмент для сооружения многосекционных гравийных фильтров в скважине УГФ-М; б –спуск распределительного узла, промывка и выдвижение 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 бурильной 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 – бурильная колонна; 16 – вспомогательная колонна; 17 – сваб; 18 – отстойник с обратным клапаном

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. Внутрь 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.

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. 2.17, *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.

Происходит фиксация распределительного узла внутри закачной муфты УГФ-М, о чем свидетельствует скачок давления в нагнетательной магистрали.

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-гравием (рис. 2.17, *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 ил скважины (см. рис. 2.17, *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. 2.18.

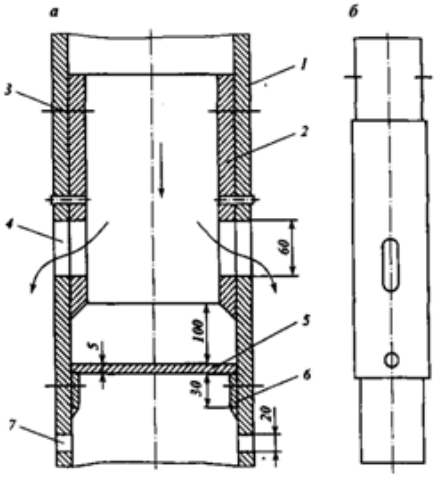


Рис. 2.18. Схема (а) и общий вид (б) распределительного клапана:
1 – нагнетательная колонна; 2 – кольцо; 3 – шпонки; 4 – отверстия; 5 – перемычка стеклянная; 6 – упоры; 7 – окна

Засыпку гравия осуществляют через клапан и спущенную внутрь эксплуатационной колонны ПВХ НКТ, оборудованную в нижней части специальным приспособлением для фиксации и намыва смеси (рис. 2.19).

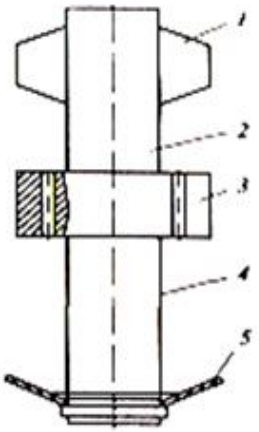


Рис. 2.19. Компоновка низа колонны:
1 – направляющий фонарь (центратор); 2 – бурильная труба; 3 – ударная муфта; 4 – бурильная труба (нижняя часть); 5 – отражатель резиновый

Схема засыпки гравия с помощью эжектора и дополнительной емкости показана на рис. 2.20.

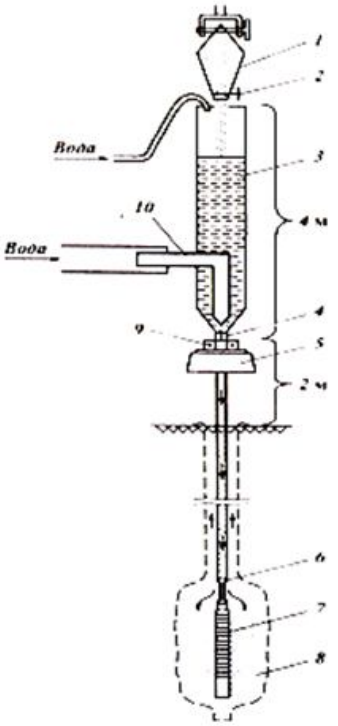


Рис. 2.20. Схема засыпки гравия с помощью эжектора и дополнительной емкости с водогравийной смесью:
1 – емкость с гравием; 2 –дозатор; 3 – емкость для приготовления водогравийной смеси; 4 – устройство для герметизации; 5 – ротор; 6 – циркуляционный клапан; 7 – фильтр;8 – гравийная обсыпка; 9 – хомут; 10 – эжекторное устройство

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. 2.21.

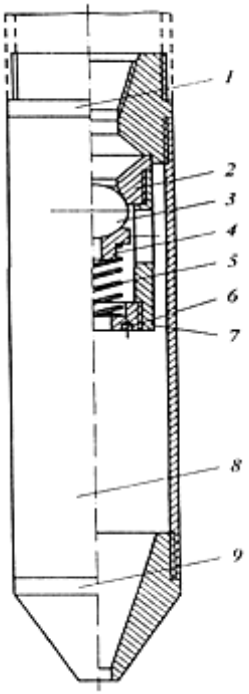


Рис. 2.21. Схема конструкции обратного клапана:
1 – переходник; 2 – крышка; 3 – шарик; 4 – седло; 5 – пружина; 6 – гайка; 7 – корпус; 8 – труба диаметром 108 м; 9 – насадка

S. Shryock [61] 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.

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 плывунного 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 раздельных операциях вскрытия пласта, установки фильтра и гравийной обсыпки не всегда удается удержать стенки скважины в устойчивом состоянии, т. е. не соблюдаются условия, сформулированные уравнением:

$$t_{усе} \geq t_{вскр} + t_{п} + t_{ф} + t_{гр}, \qquad (2.31)$$

где $t_{усе}$ – время устойчивости пласта от начала вскрытия; $t_{вскр}$ – время, потребное для вскрытия водоносного пласта; $1_{а}$ – время, потребное для подъема инструмента из скважины; $t_{ф}$ – время, потребное для установки фильтра в скважину; $t_{гр}$ – время, потребное для производства песчано-гравийной обсыпки.

Инженерно-техническими работниками треста «Востокбурвод» предложена проверенная практикой конструкция устройства для вскрытия водоносных пластов плывунного 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. 2.22**.**

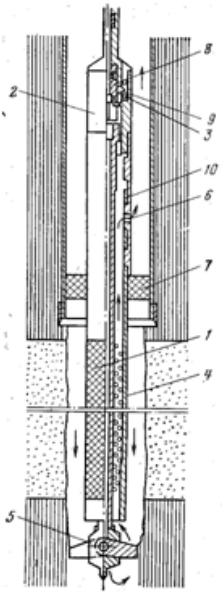


Рис. 2.22. Схема вскрытия плывунных песков с промывкой водой и одновременной посадкой фильтра

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. 2.23) 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. 2.24) 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*.

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. 2.22). Кроме того, она может быть вынесена и по зафильтровому пространству. В этом случае специальные окна не нужны и сальник *7* (рис. 2.24) 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. 2.23) 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.

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. 2.22).

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.

Лопасти 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 лопасти долота заклинивают стопорное кольцо в механическом отсоединителе, и при правом вращении бурильных труб и натяжении вверх устройство отсоединяется от фильтровой колонны.

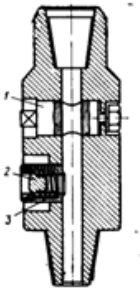


Рис. 2.23. Специальный замок с двухходовым краном

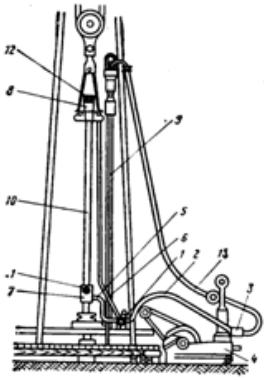


Рис. 2.24. Схема технологической последовательности работ по вскрытию пласта с промывкой водой и одновременной посадкой фильтра

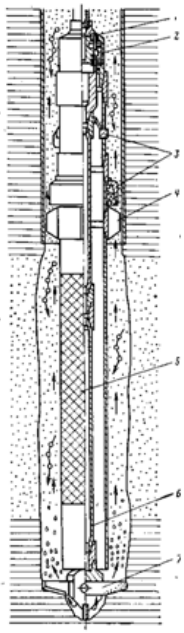


Рис. 2.25. Создание гравийной обсыпки при вскрытии водоносного пласта с одновременной посадкой фильтровой колонны и промывкой водой:
1 – гидравлический отсоединитель;
2 – фиксатор гидравлического отсоединителя;
3 – механический отсоединитель;
4 – центратор;
5 – фильтровая колонна; 6 – бурильные трубы;
7 – расширитель

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 водыдля подготовки ствола скважины под гравийную обсыпку. Один из таких способов показан на рис. 2.26.

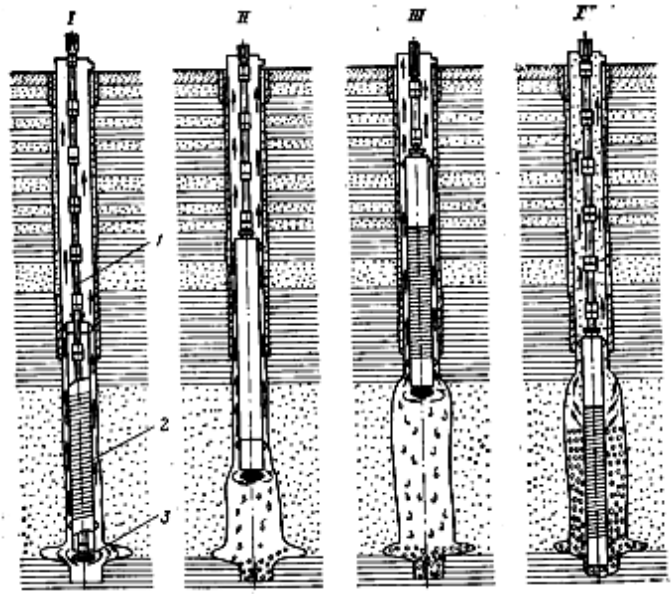


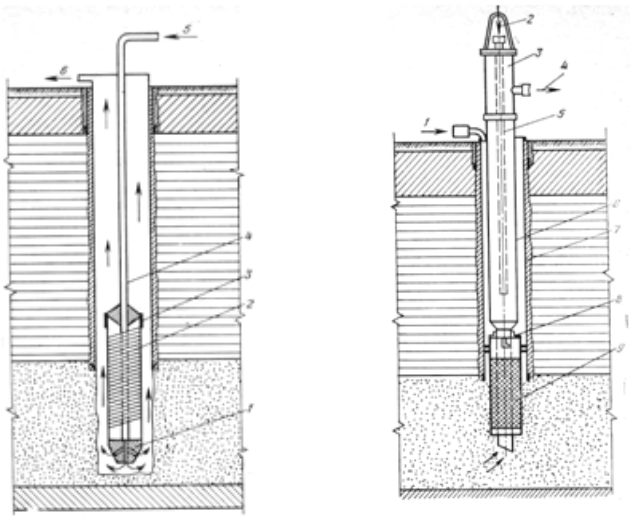
Рис. 2.26. Технологическая схема расширения ствола под гравийную обсыпку с одновременным опусканием фильтра по схеме снизу-вверх:
I – *спуск фильтровой колонны до подошвы водоносного пласта, запуск гидротурбинного расширителя*; II, III – *расширение ствола снизу вверх;* IV – *гравийная обсыпка*

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 превышают 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. 2.27): с применением неизвлекаемых и извлекаемых из скважины насадок. В первом случае для вскрытия водоносного пласта применяют фильтровую колонну, в нижней части которая оборудованы насадками, во втором – эрлифт.

В случае отсутствия сведений о мощности и механическом составе водоносного пласта его сначала вскрывают малым диаметром (пилот-скважиною) 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. 2.27, *а*).



а б

Рис. 2.27. 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 – воздухо-проводная колонна; 6 – водоподъемная колонна; 7 – эксплуатационная колонна; 8 – Т-образный ключ; 9 – фильтр

Скорость выхода струн из сопла насадки должна быть не менее 40 м/с, при этом достигается необходимый эффект для вмыва фильтра. Расчет параметров струйных аппаратов приведен у Д.Н. Башкатова [36].

Если в разрезе отсутствуют линзы и пропластки глин, а водоносный пласт представлен чистыми песками, можно применять способ посадки фильтров с помощью эрлифтов (рис. 2.27, *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 скорость спуска колонн в скважину, которая не должна превышать рекомендуемых [36], 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.

2.6. Технология создания гравийно-засыпных фильтров в гидрогеологических 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. 2.28.



Рис. 2.28. Типичный геологический разрез и конструкция глубокой водозаборной скважины

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 нержа-

веющей 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 разглинизации методами поинтервальной промывки, взрывов ТДШ, импульсным режимом откачки и др.

Процесс освоения сопровождается интенсивным выносом мелкого, пылеватого песка, и продолжительность его 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. 2.29) [40].

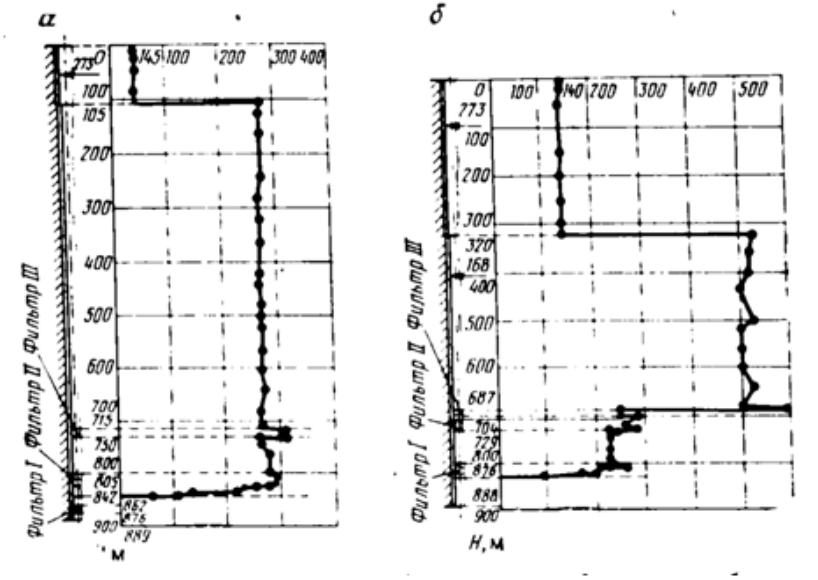


Рис. 2.29. Расходограммы работы фильтров в глубоких водозаборных скважинах

Водоносные горизонты в первой и второй скважинах представлены мелкозернистыми песками. Температура воды на поверхности около 27 °С. Первая скважина (рис. 2.29, *а*) работала на самоизлив с дебитом 72 $м^3$/ч. Результаты расходометрии показали, что нижний фильтр, расположенный в интервале 862–876 м, является безводным. Дебит среднего фильтра в интервале 805–842 м составлял около 65 $м^3$/ч, а дебит верхнего в интервале 715–730 м–7 $м^3$/ч.

Вторая скважина (рис. 2.29, *б*)глубиной 888 м работала с самоизливом 121 $м^3$/ч. Результаты расходометрии показали, что в. скважине работали все три фильтра, причем дебит нижнего фильтра, расположенного в интервале 800–828 м, составлял 55 $м^3$/ч, дебит верхнего в интервале 687–697 м – 60 $м^3$/ч, а дебит среднего фильтра в интервале 704–729 м – 6 $м^3$/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, исключающих 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. 2.29). 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 обусловливает 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 γ_p=1,05 г/см^3, в каждом отдельном: случае ее следует рассчитывать по формуле

$$\gamma_p = \left(p_{пл}/H\right)k\,, \qquad (2.31)$$

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 г/см^3. При этом» 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 соответствий с рекомендациями, приведенными в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Количество соли NaCl, добавляемой в водогипановые растворы

Содержание соли (концентрация), %	Количество сухой соли на1 м^3 воды, кг	Средняя плотность раствора при 15° С, кг/л	Температура замерзания раствора, ^{0}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, т. к. температура замерзания водогипановых растворов также ниже таковой для воды на 1,5–4,5 °С в зависимости от концентрации в воде гипана (1–5%).

Вязкость такого раствора (вода 96 % – гипан 4% –NaCl 4%) будет равна 26 с по СПВ-5, а плотность – 1,05 г/см^3.

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 – глубокозалегающих водоносных пластов, представленных песками или слабосцементированными песчаниками, при-

ведена на рис. 2.30. Первоначально скважину бурят до глубины 300–350 м и обсаживают эксплуатационной колонной с последующим ее цементированием (рис. 2.30, I). После этого глинистый раствор заменяют водогипановым с добавками NaC1 по приведенным выше рекомендациям и вскрывают весь комплекс пород с помощью лопастных долот *5* и комплекта расширителей *4*. По данным электрокаротажа определяют перспективные участки установки рабочей части фильтра.

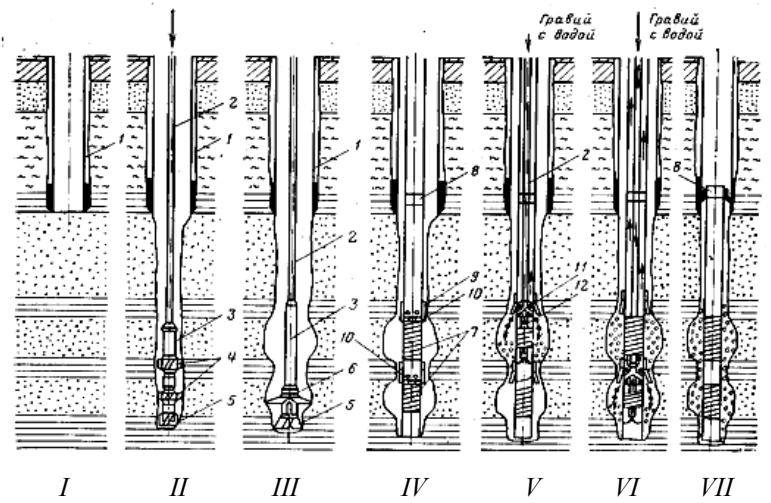


Рис. 2.30. Технологическая последовательность операций по вскрытию пласта и гравийной обсыпке фильтров в глубоких водозаборных скважинах

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 фиксирующие стоп-кольца *10* из хрупкого чугуна, над которым в фильтровой колонне имеются специальные отверстия для пропуска гравия. Эти отверстия при спуске фильтровой колонны перекрываются клапаном *9*.

Вфильтровую колонну на бурильных трубах спускают гравиераспределитель и через специальные отверстия в надфильтровой части каждого фильтра с помощью гравиераспределителя и перепускного устройства гравий нагнетают в интервал уширения смеси с чистой водой или водогипановым раствором. Сначала набивают верхний фильтр, а затем нижний (рис. 2.30, IV*)*.

После окончания набивки гравием верхнего фильтра фиксирующее чугунное стоп-кольцо *10* над верхним фильтром разбивают и гравиераспределитель с перепускным устройством спускают на нижнее фиксирующее стоп кольцо второго фильтра (рис. 2.31).

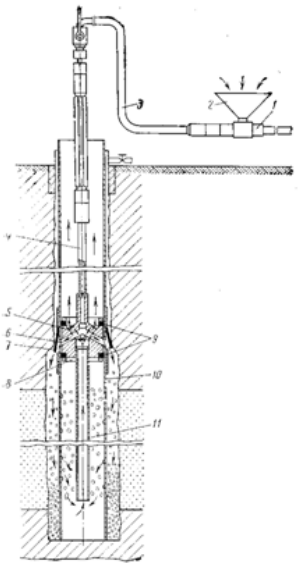


Рис. 2.31. Схема работы гравиерасприделителя с перепускнымустройством

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 гравиераспределителя – в кольцевой зазор между надфильтровой трубой и бурильными трубами.

Заканчивание скважины заключается в замене водогипанового раствора водой, извлечении гравиераспределителя на бурильных трубах из скважины, отвинчивании надфильтровых труб с муфтового переводника *8* с левой резьбой и установке сальника (рис. 2.30).

Скважину испытывают эрлифтной откачкой.

Подробная схема набивки гравием с помощью гравиераспределителя показана на рис. 2.31. По этой схеме гравиераспределитель *5* спускают (для условий глубоких скважин) на бурильных трубах *4* и устанавливают над фильтром на фиксирующее стоп-кольцо *8*. По наружному диаметру гравиераспределителя *5* установлены резиновые манжеты *9*. Гравиераспределитель устанавливают на фиксирующее стоп-кольцо *8* так, что отверстия гравиераспределителя 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 гравиераспределителю; 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 гравиераспределителя поступает в кольцевой зазор между бурильными и надфильтровыми трубами и выходит через устье скважины.

По аналогичной схеме на гравиераспределителе можно спускать фильтровую колонну впотай без вспомогательной надфильтровой трубы при условии оборудования надфильтровой части сальником, изолирующим кольцевой зазор между надфильтровой и эксплуатационной колоннами.

В приведенных схемах гравиераспределитель, 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 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 зафильтровое пространство и служит рабочим агентом для транспортировки гравия.

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. 2.32, *а*).

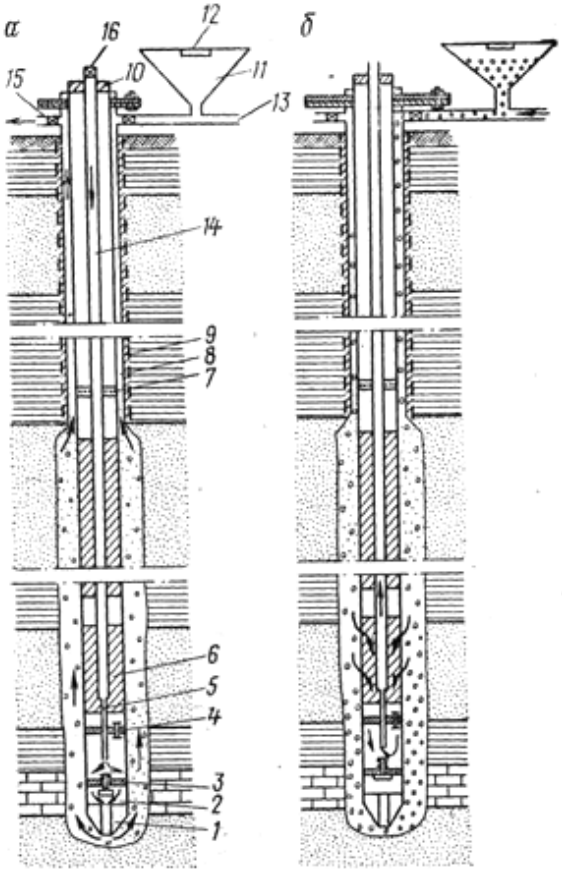


Рис. 2.32. Схема создания гравийного фильтра методом гидромеханической укладки:

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 – герметезирующее устройство; 11 – бункер; 12 – люк для загрузки гравия; 13 – нагнетательный трубопровод; 14 – бурильные трубы; 15 – выпускной кран; 16 – впускной кран

Разглинизацию осуществляют с помощью прямой и обратной промывки водой. Гидромеханическую укладку гравия осуществляют в нисходящем потоке (рис. 2.32, *б*). Оптимальный режим подачи гравия – 2– 2,3 м^3/ч.

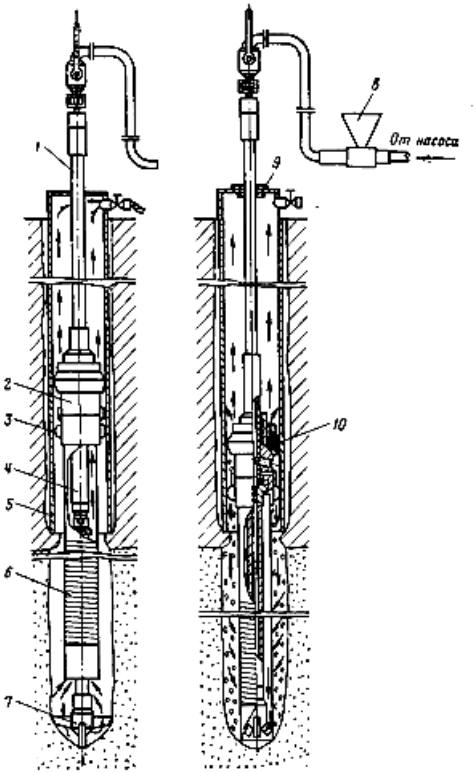


Рис. 2.33. Технологическая схема выполнения гравийнозасыпных фильтров с применением универсального устройства

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 разглинизацией водоносного пласта, не гарантирующей качественного освоения скважины.

Г.П. Квашниным вместе с Г.А. Кохановым [5] была разработана технология созданиягравийно-засыпных 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 спуско-подъема инструмента. Все операции по вскрытию и освоению можно проводить с прямой промывкой водой и водогипановыми растворами с добавлением NaC1.

Последовательность проведения всех операций показана на рис. 2.33.

Скважину бурят до кровли водоносного пласта, закрепляют обсадными трубами *5* и цементируют. Затем в скважину спускают фильтровую колонну *6,* оголовок которой на хомутах или элеваторе укрепляют на устье скважины. 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, гравиераспределитель, 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 гравиераспределителя соединяются с бурильными трубами *1*. Гравий в смеси с водой через гравиепитатель *8* поступает через бурильные трубы к гравиераспределителю 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 зафильтрового пространства универсальное устройство *2* отсоединяют с левой резьбы муфтового переводника надфильтровых труб и извлекают вместе с бурильными трубами *1* и *4* ирасширителем *7* из скважины. Процесс заканчивания скважины осуществляется по обычной технологии.

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 колонны с последующим их извлечением, что не представляет собой сложности (рис. 2.34, *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 сопро-

вождаться соответствующей подсыпкой гравия в затрубное пространство между фильтром и обсадной колонной (рис. 2.34, *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.

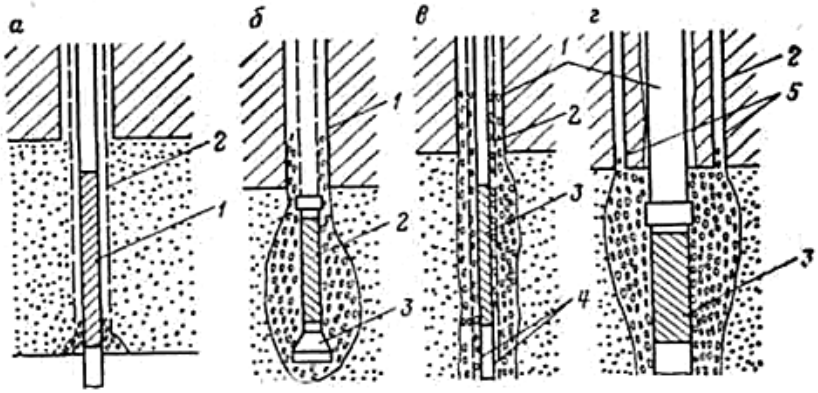


Рис. 2.34. Схемы созданиягравийной обсыпки при ударно-канатномбурении:
1 – фильтровая колонна; 2 – рабочая колонна;3 – конический башмак; 4 – вспомогательная колонна; 5 – вспомогательные скважины

При создании гравийной обсыпки с использованием отверстий в нижней части вспомогательной обсадной колонны (рис. 2.34, *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. Каж-

дый 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. 2.34, *г)* 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 плывунного 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 созданиягравийных фильтров с многослойной обсыпкой:

1) образование многослойных – гравийных обсыпок при помощи вспомогательных колонн; 2) образование двухслойной гравийной обсыпки при одновременном вскрытии водоносного пласта эрлифтом.

На рис. 2.35 приведена схема создания многослойной гравийной обсыпки с помощью вспомогательных колонн *2* и *3*.

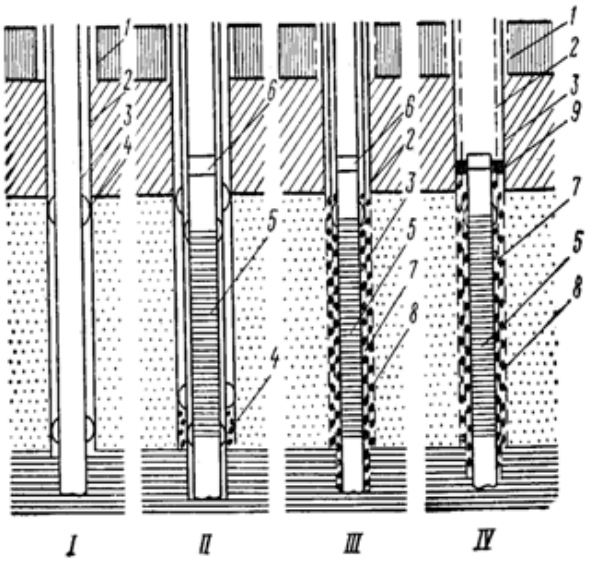


Рис. 2.35. Технологическая схема операций по многослойной гравийной обсыпке с вспомогательными колоннами:
I – бурение и спуск вспомогательных колонн, II – спуск фильтровой колонны и засыпка основного слоя гравия, III – обнажение фильтра с одновременной засыпкой первого и второго слоев гравия, IV – заканчивание 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 [11] (рис. 2.36).

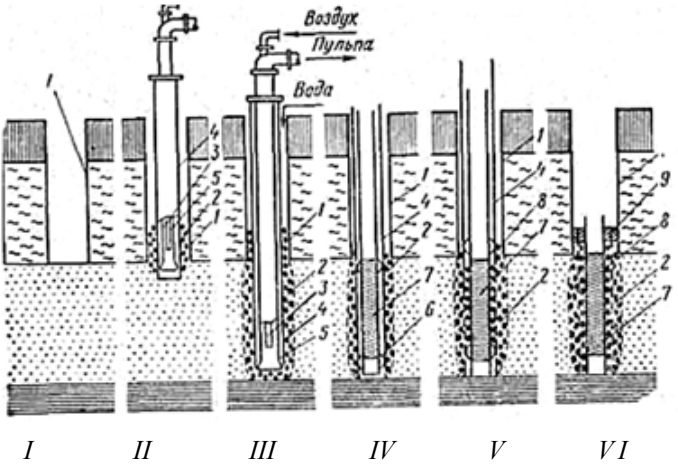


Рис. 2.36. Технологическая схема операций по созданию двухслойной гравийной обсыпки фильтра с вскрытием водоносного пласта:
I – бурение скважины с обсадкой трубами до кровли водоносного пласта; II – спуск в скважину вспомогательной колонны с эрлифтом; III – вскрытие водоносного пласта с эрлифтной откачкой 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 – водоподъемная колонна эрлифта; 4 – вспомогательная обсадная колонна; 5 – воздушные трубы; 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 некото-

рым 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. 2.36, V).

Для создания гравийно-обсыпного фильтра уширенного контура можно использовать способ скользящего эрлифта, предложенный В.М. Гаврилко (рис. 2.37).

Первый этап работы (рис. 2.37, I) заключается в бурении скважины до подошвы водоносного пласта с креплением ее вспомогательной колонной обсадных труб *2*.

Второй этап (рис. 2.37, II) включает спуск фильтровой колонны *3* с вмонтированным 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. 2.37, 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 выносится 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.

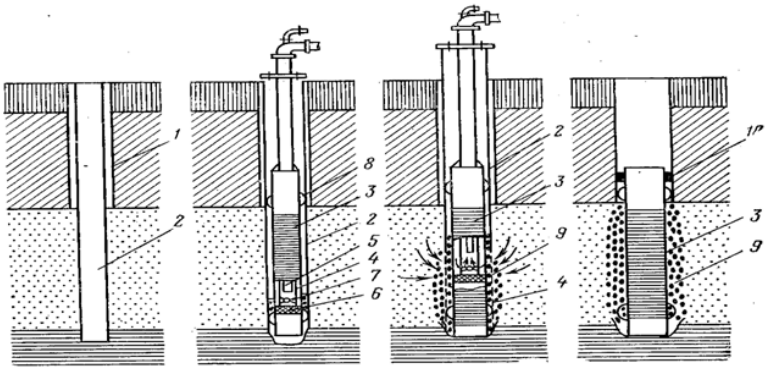


Рис. 2.37. Технологическая схема процессов при оборудовании гравийно-засыпного фильтра способом скользящего эрлифта:
I – бурение с вскрытием водоносного пласта вспомогательной колонной; II – спуск в скважину фильтровой колонны с эрлифтом и пакером; III – процесс гравийной обсыпки уширенным контуром; 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

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 фильровой 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.

2.8. Технология создания гравийно-засыпных фильтров в скважинах подземных газохранилищ газа

Технология сооружения гравийных фильтров способом обратнойциркуляции заключается в следующем [41, 42]. Производится бурение скважины до кровли пласта-коллектора. После спуска и цементирования эксплуатационной колонны ствол скважины углубляется на мощность пласта, который затем расширяется до диаметра 250…320 мм. Интервал и диаметр расширки контролируется каверномером для подсчета необходимого количества гравия. Работы по углублению скважины и расширению пласта-коллектора ведутся с применением глинистых утяжеленных растворов.

На бурильных или насосно-компрессорных трубах спускается забойное оборудование (рис. 2.38), состоящие из фильтра-каркаса *9*, клапанной системы *12*, промывочных труб *6*, надфильтровой трубы *7* и циркуляционной муфты с левым переводником *6.* Фильтр-каркас (труба с щелями шириной 0,8…1,5 мм) устанавливается против пласта-коллектора.

После спуска забойного оборудования устье скважины герметизируется превентором *2*, обеспечивающим работу при высоких давлениях. Глинистый раствор в скважине заменяется технической водой, закачиваемой по рабочим трубам *4*.

Намыв гравия осуществляется следующим способом (рис. 2.38). Техническая вода подается агрегатом *14* в бункер-смеситель *13,* в котором находится заданный объем гравия, откуда вместе с гравием поступает в затрубное пространство. Гравийно-жидкостная смесь закачивается до забоя скважины, где гравий осаждается в кольцевом пространстве между фильтром-каркасом и стенками пласта, а вода, пройдя через щели фильтра-каркаса, клапанную систему и промывочные трубы, поступает в рабочие трубы и выходит на поверхность. Окончание намыва определяется по значительному повышению рабочего давления, что свидетельствует о заполнении гравием призабойной зоны. В целях предотвращения газапроявления используется способ штуцирования на устье выходящего раствора (воды) для создания противодавления на газовый пласт, имеющий обычно аномально-высокие давления. Содержание гравия в воде составляет 40…80 кг/м^3.

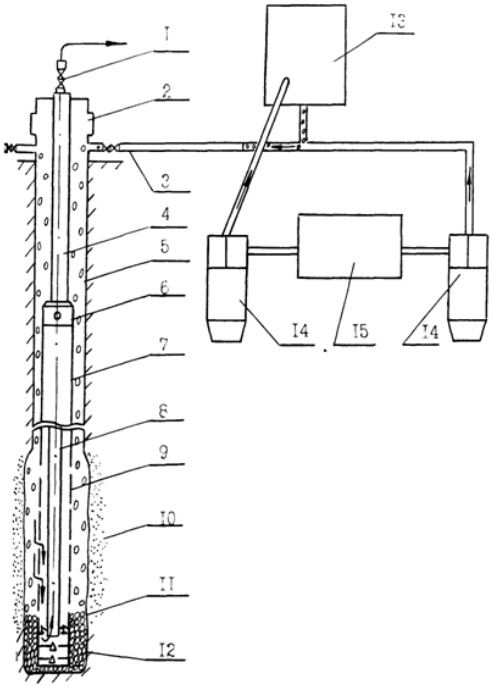


Рис. 2.38. Намыв гравийного фильтра способом обратной циркуляции по ранее применяемой технологии:
1 – патрубок с задвижками;2 – превентор;
3 – отвод; 4 – рабочие трубы; 5 – эксплуатационная колонна;
6 – циркуляционная муфта с левым переводником; 7 – надфильтровая труба; 8 – промывочные трубы; 9 – фильтр-каркас;
10 – пласт-коллектор; 11 – гравий; 12 – система клапанов;
13 – бункер – смеситель; 14 – насосный агрегат; 15 – емкость

После окончания намыва гравия в рабочие трубы *4* бросается шарик, который при создании давления сдвигает вниз втулку, открывающую промывочные отверстия. Излишки гравия, находящиеся в затрубном пространстве, вымывается потоком глинистого раствора, закачиваемого для смены воды в скважине. Затем рабочие трубы вращением вправо отворачиваются и вместе с циркуляционной муфтой извлекается из скважины.

Данная технология имеет ряд существенных недостатков, заключающихся в следующем:

- вскрытие и расширка пласта-коллектора производится на глинистом растворе, который оказывается кольматирующее воздействие на призабойную зону скважины и ухудшает фильтрационную характеристику созданного гравийного фильтра;

- при обратной циркуляции с большим содержанием гравия в жидкости-носителе в местах соединения бурильных труб замками иногда образуются висячие гравийные пробки, приводящие к прихвату бурильных труб и неполному экранированию гравием забойного фильтра;

- отсутствие обоснования методики подбора размера зерен гравия в зависимости от фракционного состава пласта-коллектора газовых скважин, что приводит к заилению гравийного массива или невозможности удержания пластового песка гравием, т. е. гравийный фильтр не выполняет свои функцыи;

- в качестве жидкости-гравиеносителя применяется техническая вода, обладающая низкой гравиеудерживающей способностью, поэтому гравийный массив формируется неоднородным по фракционному составу по высоте. Внизу фильтра формируется массив из крупных зерен гравия, вверху более мягких, что отрицательно сказывается на пескоудерживающей способности гравийного фильтра;

- отсутствие контроля за процессом намыва гравия, т. е. невозможно определить текущую концентрацию гравия в жидкости-носителе, расход гравия, окончание закачки гравия;

- промысловыми наблюдениями установлено, что менее качественным является гравийный фильтр, сооруженный в скважине при наличии давления газа в пласте-коллекторе выше гидростатического. Это, в частности, подтверждается практикой эксплуатации скважин на Щелковском подземном газохранилище, где срок службы гравийного фильтра, установленного до закачки газа в пласт значительно больше, чем при перенамыве или намыве во время эксплуатации ПХГ, т. е. после закачки газа в пласт. Низкое качество гравийного фильтра объясняется следующим: после спуска фильтра при смене глинистого раствора на воду противодавление на пласт-коллектор снижается до гидростатического, что вызывает приток газа. Одновременно при

циркуляции водой частично смывается глинистая корка со стеной скважины в интервале залегания пласта-коллектора, что способствует обрушению неустойчивых пород. В месте с пластовым газом в циркулирующую воду поступает песок, который находится во взвешенном состоянии в стволе скважины. Во время остановки циркуляции при подготовке к процессу закачки гравия по межтрубному пространству песок оседает в воде на забой скважины. Следовательно, на забое скважины в пространстве между фильтром и стенкой скважины образуется песчаный массив. Необходимо также добавить, что находящийся в стволе скважины неосевший песок смывается с закачиваемым гравием, ухудшая его фильтрационную характеристику;

- невозможность изготовления щелевых фильтров с конусоидальным выходом и шириной щели менее 0,8 мм.

Учитывая вышесказанное, разработана и внедрена на скважинах Щелковского, Касимовского и Краснодарского ПХГ технология сооружения гравийных фильтров способом обратной циркуляции, имеющая ряд преимуществ по сравнению с существующей:

- вскрытие и расширение пласта-коллектора осуществляется на безглинистой промывочной жидкости;

- подбор фракционного состава гравия производится в зависимости от гранулометрического состава породы пласта-коллектора;

- используется в качестве фильтра-каркаса сварной промывочный фильтр с необходимой шириной щели;

- применяется пескосмесительный агрегат УСП –для образования гравийно-жидкостной смеси;

- применяется растворы ССБ или КМЦ в качестве жидкости – носителя гравия;

-применяется контрольный фильтр для определения времени окончания продавливания гравийно-жидкостной смеси;

- применяется реагент ГС для очистки колонны и призабойной зоны пласта от глинистой корки;

- вводятся центраторы в компоновку призабойного узла фильтра.

Подбор фракционного состава гравия производится в зависимости от гранулометрического состава пород.

В качестве фильтра-каркаса применяется проволочный фильтр с проволокой трапецеидального сечения.

Применение агрегата УСП-50 совместно с насосным агрегатом типа 4АН-700 или ЦА-320М для получения и закачки гравийно-жидкостной смеси позволило регулировать содержание гравия в жидкости-носителе и контролировать расход гравия и жидкости-носителя.

Контрольный фильтр (рис. 2.39) служит для определения времени окончания продавливания гравийно-жидкостной смеси и составить между рабочими трубами и циркуляционной муфтой с левым переводником. Длина фильтра берется равной 0,5…1,0 м, ширина щели подбирается по тому же принципу, что и у основного фильтра каркаса.

Определения времени окончания намыва гравия с помощью контрольного фильтра осуществляется следующим образом. На рис. 2.40 показано изменение давления, регулируемое на затрубном пространстве скважины, при намыве гравийного фильтра по существующей технологии (кривая 1 – фактическое давление) и по разработанной технологии (кривая 2 – рассчитана по методикам [5, 43]).

При закачке гравия по разработанной Б.В. Арестовым [44] технологии в момент перекрытия фильтра-каркаса гравием происходит резкое увеличение давления закачки (участок ГЕ кривой 1, рис. 2.40) и приступает к следующей операции: вымывание излишков гравия [45]. Закачку гравия за надфильтровой трубой невозможно проконтролировать в данном случае.

По предлагаемой технологии после перекрытия гравием фильтра-каркаса (рис. 2.40, точка Г кривая 2) жидкость-носитель проходит через отверстия контрольного фильтра, а гравий оседает между надфильтровой трубой и обсадной колонной. В момент начала перекрытия гравием контрольного фильтра (рис. 2.40, точка Д кривая 2) начинается рост давления, что свидетельствует о заполнении гравием кольцевого пространства

между фильтром-каркасом и контрольным фильтром. Таким образом, при наличии контрольного фильтра можно четко определить окончание процесса намыва гравия.

Из сравнения кривых 1 и 2 рис. 2.40 видно, что предлагаемый процесс по времени выполнения короче существующего и требует меньшего количества (почти в два раза) закачиваемых технологических жидкостей.

Применение центраторов на фильтре-каркасе и надфильтровой трубе с интервалом установки 3...4 м позволит избежать образования гравийных пробок и получить качественную гравийную набивку без нарушения ее сплошности.

Сооружение гравийного фильтра способом обратной циркуляции по предложенной технологии заключается в следующем (рис. 2.39). Разработано два варианта.

В первом варианте применяется в качестве промывочных жидкостей для вскрытия пласта безглинистый растворов.
В спускаемую забойную компоновку не включается циркуляционная муфта *5*. Во втором варианте при использовании глинистых утяжеленных жидкостей в забойную компоновку включается циркуляционная муфта *5*, чтобы предотвратить эрозионный износ каркаса фильтра потоком жидкости. При выполнении остальных этапов работы по сооружению гравийных фильтров оба варианта идентичны.

После подготовки скважины (спуска эксплуатационной колонны, вскрытия пласта-коллектора, растирки ПЗП и геофизических работ) спускается компоновка, включающая (снизу вверх): заглушку или циркуляционную муфту *5*, проволочный фильтр-каркас *7* с центраторами, надфильтровые трубы *9*, промывочное устройство *10,* соединенное с надфильтровой трубой; контрольный фильтр *11* и рабочие трубы *12* (насосно-компрессорные или бурильные). Спущенная компоновка устанавливается в скважине с таким расчетом, что фильтр-каркас находился против пласта-коллектора.

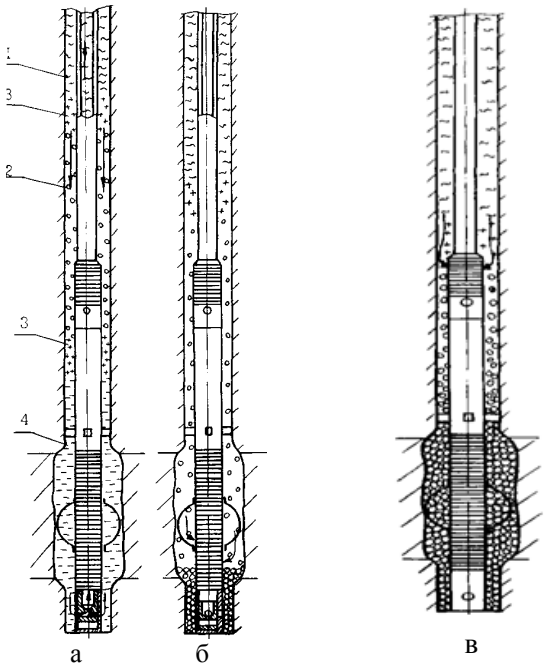


Рис. 2.39. Сооружение гравийного фильтра способом обратной циркуляции:
а – последовательность закачки технологических жидкостей, б – намыв гравия; в – перекрытие гравием контрольногофильтра (окончание намыва гравия); г – удаление излишков гравия;1 – промывочная жидкость;2 – гравийно-жидкостная смесь; 3 – буферная жидкость; 4 – раствор ГС; 5 – циркуляционная муфта; 6 – пласт-коллектор; 7 – фильтр-каркас; 8 – гравийный массив; 9 – надфильтровая труба; 10 – промывочное устройство; 11 – контр. фильтр; 12 – НКТ;13 – эксплуатационная колонна

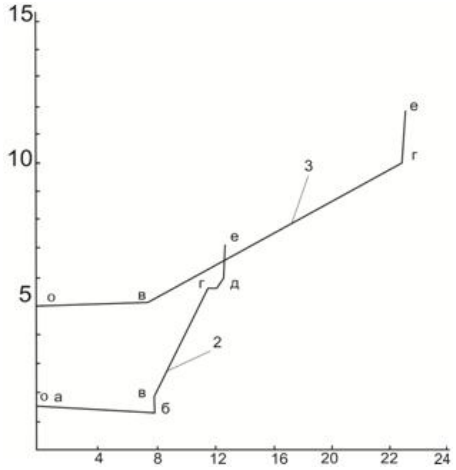


Рис. 2.40. Изменение давления при намыве гравийного фильтра способом обратной циркуляции:
1 – по существующей технологии;
2 – по разработанной технологии;
оа – закачка реагента ГС и буферной жидкости;
аб – закачка и продавка гравийно-жидкостной смеси;
бв – закрытие отверстий в циркуляционной муфте;
вг – заполнение гравием пространства вокруг фильтра- каркаса;
гд – заполнение гравием пространства за надфильтровой трубой (между фильтром-каркасом и контрольным фильтром);
де – перекрытие гравием контрольного фильтра

В скважину по затрубному пространству закачивают технологические жидкости в следующей последовательности (рис. 2.39): раствор ГС (2...3 м^3) для очистки стенок труб и ПЗП от глинистой корки; буферная жидкость (1...2 м^3), в качестве которой применяется жидкость-носитель; гравийно-жидкостная смесь; буферная жидкость (жидкость-носитель) в объеме 0,5...1 м^3 и промывочная жидкость.

Наземное оборудование, необходимое для приготовления и закачки технологических жидкостей, обвязано с устьем скважины по схеме, изображенной на рис. 2.41. Раствор с реагентом ГС готовится в емкости насосного агрегата *9*, жидкость-носитель приготавливается в емкости *3*. Гравийно-жидкостная смесь получается следующим образом: насосный агрегат *8* по-

дает жидкость-носитель в установку *4* типа УСИ-500, где происходит смешивание гравия с жидкостью-носителем в определенных соотношениях и подача полученной смеси в насосный агрегат *9*, который закачивает ее в затрубное пространство скважины.

Продавка закаченных жидкостей производится буровым раствором (участока *б* кривой *2* рис. 2.40), а вытесняемый из затрубного пространства раствор проходит через щели фильтра и отверстия циркуляционной муфты *5* (рис. 2.39) при наличии ее в компоновке.

В момент заполнения ПЗП раствором реагента ГС останавливают циркуляцию и производят выдержку в течение 0,5 часа для взаимодействия реагента с глинистой коркой. При наличии в забойном оборудовании циркуляционной муфты бросают шарик в бурильные трубы и создают в них импульс давления в 4...5 МПа для перекрытия отверстий, что фиксируется повышением давления при возобновлении обратной циркуляции (участок *бв* кривой *2* рис. 2.40).

Дальнейшая циркуляция идет с возрастанием давления (участок *вг* кривой 2 рис. 2.40), т. к. гравий, откладываясь в ПЗН, перекрывает отверстия фильтра-каркаса. Стабилизация давления циркуляции (участок *гд* кривой 2 рис. 2.40) свидетельствует о заполнении гравием кольцевого пространства между фильтром-каркасом и контрольным фильтром (рис. 2.40, *в*). Резкое повышение давления фиксирует момент прекращения продавки гравийной суспензии, так как гравий начинает перекрывать щели контрольного фильтра.

Циркуляция прекращается, бросается шарик, который при создании давления сдвигает вниз втулку, открывающую промывочные отверстия (рис. 2.39, *г*). Излишки гравия, находящиеся в затрубном пространстве, вымывается потоком промывонной жидкости, подаваемого в рабочие трубы по линии *12* насосным агрегатом *8* (рис. 2.41). Затем рабочие трубы *12* вращением вправо отворачиваются в левом переводнике и вместе с контрольным фильтром и промывочным устройством *10* извлекаются из скважины. На этом процесс сооружения гравийного фильтра заканчивается, а скважина оборудуется забойным эксплуатационным оборудованием с пакером для отбора и закачки газа.

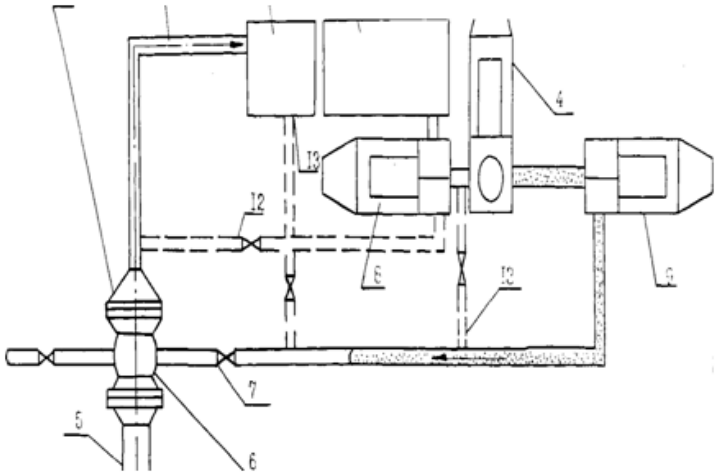


Рис. 2.41. Размещение наземного оборудования при намыве гравия способом обратной циркуляции:
1 – фланец; 2,11,13,13 – обвязка; 3 – емкость для жидкости носителя гравия; 4 – пескосмесительный агрегат; 5 – обсадная колонна; 6 – колонная головка; 7 – задвижка; 8,9 – цементировочный агрегат; 10 – емкость

Оборудование скважин с перфорированной эксплуатационной колонной в интервале залегания пласта-коллектора производится аналогично описанному.

Способ перепуска.

Технология сооружения гравийных фильтров способом перепуска и технические средства для ее осуществления разработаны впервые в нашей стране для газовых скважин подземных хранилищ Б.М. Арестовым [44]. Данный способ предусматривает транспортировку гравия по насосно-компрессорным трубам с последующим его перепуском в зафильтровое пространство с помощью специального устройства. Гравий откладывается вокруг фильтра-каркаса, в то время как жидкость-носитель, пройдя через его отверстия, поступает внутрь промывочной трубки и по перепускному устройству попадает в кольцевое пространство. Над перепускным устройством ставится пакер, изолирующий кольцевое пространство от зоны фильтра.

Разработанная Б.М. Арестовым технология и технические средства имеют ряд преимуществ по сравнению со способом обратной циркуляции:

- отсутствует загрязнение гравия продуктами коррозионного и эрозионного износа обсадной колонны, особенно эксплуатируемой длительное время;
- сокращается объем используемой жидкости-носителя гравия за счет его повышенного содержания (до 2000 кг/м^3);
- исключается возможность образования висячих гравийных пробок между НКТ и обсадной колонной;
- достигается необходимая уплотненность гравийного массива за счет применения вязкой жидкости-носителя;
- упрощается технология работ и количество операций;
- исключается необходимость прокачки больших объемов (>10 м^3) промывочных жидкостей со значительным содержанием твердой фазы в виде глины, барита или гематита через отверстия фильтра-каркаса, приводящая к преждевременному его износу.

Способ намыва гравия показан на рис. 2.42. После подготовки скважины спускается забойный узел: заглушка *4*, каркас фильтра *5* с центраторами, надфильтровая труба *6*, контрольный фильтр *7*, перепускное устройство *10*, пакер *9*. Если вскрытие пласта и уширением проводились на глинистом растворе, то в ПЗП закачивается вязкая жидкость до спуска забойного узла. Каркас фильтра устанавливается против пласта-коллектора и производится пакеровка для разобщения зоны фильтра от остальной части скважины.

Затем спускается специальный инструмент *8* на НКТ, соединяемый с перепускным устройством для намыва гравия и разобщения потоков гравийно-жидкостной смеси и жидкости-носителя, освободившейся от гравия.

Намыв гравия осуществляется следующим образом. В рабочие трубы закачивается смесь жидкости-носителя с гравием, которая перепускается с помощью устройства *10* в кольцевое пространство между каркасом фильтра и стенками колонны *3* и ПЗП 2. Гравий задерживается снаружи каркаса фильтра *5*, т. к. диаметр зерен гравия больше ширины щелей фильтра. Свободная от гравия жидкость-носитель, пройдя через щели каркаса

фильтра, поднимается по промывочным трубкам *12* и перепускается в специальном инструменте *8* в кольцевое пространство между рабочими трубами *14* и эксплуатационной колонной *3* и возвращается по нему на поверхность. Контрольный фильтр *7* служит для определения времени окончания намыва гравия. Излишки гравия удаляются обратной промывкой после подъема на некоторую высоту рабочих труб *14* со специальным инструментом *8*.

В такой же последовательности и объеме, как и при намыве гравия способом обратной циркуляции, закачиваются буферные жидкости и раствор реагента ГС.

После окончания намыва гравия рабочие трубы *14* вместе со специальным инструментом *8* извлекаются. Пакер *7* используется в дальнейшем в качестве эксплуатационного.

Контроль качества гравийной набивки фильтра

Существующие методы создания гравийных набивок на забое скважин не гарантирует получения требуемых структур поровых пространств набивок и равномерного распределения проницаемости по высоте в них. Это является следствием неравномерного регулирования темпа ввода гранулированного материала в кольцевое пространство между фильтром и стенкой скважины или профилированной обсадной колонны и непостоянной вязкости жидкости-носителя. Учитывая вышесказанное, необходимо применять специальные методы контроля эффективности намыва гравийного фильтра.

Применяется метод определения качества намыва гравийного фильтра в нефтяной скважине и продолжительность его работы путем ввода радиоактивных гранул в намываемый гравий и последующей регистрацией местоположения этих гранул с помощью геофизической аппаратуры во время эксплуатации скважины через некоторые интервалы времени.

И.В. Халамейзером разработан способ, позволяющий достоверно определить высоту гравийного слоя над фильтром путем измерения плотностных характеристик обсадной колонны, насосно-компрессорных труб, противопесочного фильтра и гравийного слоя между колоннами насосно-компрессорных и обсадных труб методом гамма- гамма каротажа (ГТК).

Б.В. Арестовым предложено использовать метод ГГК, осуществляемый малогабаритным (наружный диаметр 48 мм)

прибором "Кура-2”. По данным ГГК строится кривая частоты импульсов по высоте забойного узла гравийного фильтра. Изменение (увеличение) частоты импульсов будет свидетельствовать о нарушении сплошности гравийной набивки. Высота гравийной набивки определяется по резкому изменению (увеличению) частоты импульсов, регистрируемых прибором ”Кура-2".

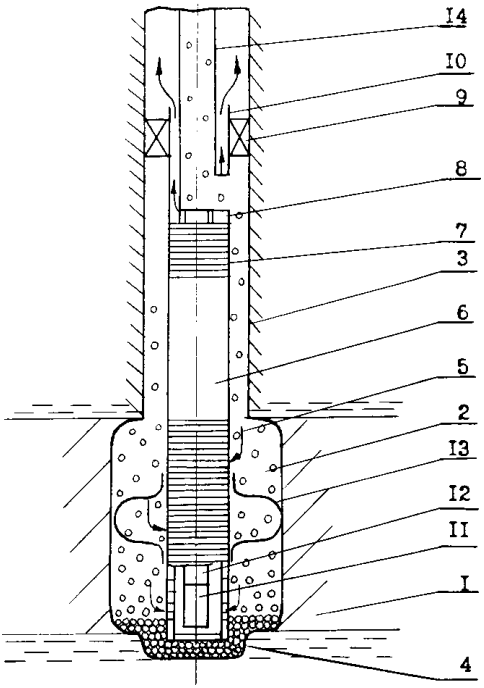


Рис. 2.42. Схема намыва гравия способом перепуска:

1 – пласт-коллектор;
2 – расширенная призабойная зона; 3 – эксплуатационная колонна;4 – заглушка;
5 – каркас фильтра;
6 – надфильтровая труба;
7 – контрольный фильтр;
8 – специальный инструмент; 9 – пакер;
10 – перепускное устройство;11 – вибратор;
12 – промывочные трубки;
13 – центратор;
14 – рабочие трубы

2.9. Технология создания гравийно-засыпных фильтров при сооружении эксплуатационных скважин на нефть

При заканчивании (освоении) и особенно при эксплуатации скважин, продуктивные коллекторы которых представлены слабосцементированными породами, часто наблюдается вынос песка. В скважине образуются песчаные пробки. По М. Маскету, при образовании песчаных пробок, проницаемость которых в 200 раз больше проницаемости пласта, дебит нефти тем не менее снижается на 34 %. Этот песок содержит до 5 % нефти, и при его удалении возникают проблемы – загрязняется окружающая среда; песок отлагается в трубопроводах, наземном оборудовании; идет его эрозия. Этот вид осложнений почти повсеместен. Только на месторождениях Азербайджана ежегодно проводят около 100 тыс. ремонтов и более 200 скважин ежегодно выводится из действующего фонда. По зарубежным публикациям, вынос песка является важной проблемой, особенно в таких нефтедобывающих регионах, как Калифорния, северная часть Мексиканского залива (США), Россия, Канада, Венесуэла, Тринидад, Западная Африка, Индонезия и др. [46–52].

Эта проблема существует и в Украине, а при разработке месторождений на заключительной стадии она приобретает первостепенное значение.

Вынос песка – причина образования каверн и смятия колонн.

Особую актуальность эта проблема приобрела с развитием термических методов добычи высоковязких нефтей, так как снижается вязкость нефти и повышается ее текучесть. В этом случае рыхлые коллекторы теряют цементирующее связующее вещество – вязкую нефть. При плановых и аварийных остановках, когда нагнетание теплоносителя прекращается, обратный поток теплоносителя поступает в нагнетательные скважины и выносит механические примеси. Это также приводит к образованию песчаных пробок в скважинах и препятствует нормальной закачке теплоносителя.

Существующие методы эксплуатации скважин, осложненных пескопроявлениями, можно условно разделить на две группы: эксплуатация скважин с выносом песка из пласта; предотвращение выноса песка из пласта.

В первой группе разработаны способы ликвидации песчаных пробок, а также мероприятия по обеспечению выноса поступающих из пласта частиц на поверхность: применение полых штанг, спуск хвостовиков в пределы продуктивной зоны, подлив жидкости и т. п. Для борьбы с абразивным износом подземного оборудования созданы всевозможные конструкции сепаратов, якорей и других защитных устройств. Основной недостаток метода – разрушение призабойной зоны пласта.

Более эффективны методы борьбы с пескопроявлениями, в основе которых лежит принцип предотвращения выноса песка в скважину.

Наиболее простым является способ ограничения отборов жидкости из скважины, позволяющий уменьшить поступление песка в скважинах, однако при этом резко сокращаются дебиты нефти.

Более рациональным представляется крепление пород пласта в призабойной зоне скважин, для чего применяют химические, физико-химические и механические методы и их комбинации.

Химические методы основаны на искусственном закреплении горных пород вяжущими и цементирующими веществами; смолами, цементом с соответствующими наполнителями, пластмассами и т. д. Их эффективность определяется обеспечением после крепления достаточной устойчивости пород без значительного ухудшения их коллекторских свойств.

К физико-химическим относятся методы закрепления коллекторов путем коксования нефти в призабойной зоне. Эти методы особенно эффективны при добыче тяжелых высоковязких нефтей.

Наиболее простыми и доступными методами являются механические, получившие наибольшее распространение. К ним относится оборудование нефтяных скважин противопесочными фильтрами различной конструкции.

Гравийные набивки в вертикальных скважинах

Существует три основных направления в технологии оборудования скважин фильтрами (механический метод) [44, 46].

1. Оборудование обсаженных добывающих скважин вставными фильтрами. Фильтр, как правило, устанавливают на забое скважины в интервале перфорации с пакером, находящимся выше верхних отверстий интервала перфорации. Разновидностью данной технологии является вариант поднасосной установки противопесочного фильтра. В этом случае достигается защита глубинно-насосного оборудования, но не предотвращается вынос механических примесей из призабойной зоны.

2. Создание гравийных фильтров в процессе заканчивания скважин бурением. Скважина работает с открытым стволом, в расширенном интервале которого установлен противопесочный фильтр. Между фильтром и пластом закачивают гравий, который состоит из крупнозернистого отсортированного кварцевого песка.

3. Предотвращение пескопроявлений в паронагнетательных скважинах. Здесь конструкция фильтров имеет отличия, связанные с особенностями работы паронагнетательных (пароциклических) скважин.

Во всех приведенных технологиях основным звеном является фильтр-каркас.

Анализ работы противопесочных фильтров, выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью и используемых в нефтепромысловой практике, показал, что они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обладать необходимой механической прочностью и достаточной устойчивостью против коррозии и эрозионного воздействия;
- обеспечивать создание надежной гидродинамической связи с пластом и суффозийную устойчивость пород в призабойной зоне;
- позволять проводить механическую или химическую очистку фильтра (регенерацию) без извлечения его из скважины.

Применяют различные конструкции фильтров: блочного типа; с круглыми и щелевыми отверстиями, расположенными в вертикальных и горизонтальных плоскостях; с фильтрующей поверхностью из сеток.

Наиболее эффективными считаются каркасные фильтры с горизонтальными щелями, у которых меньше сопротивление и влияние интерференции отверстий.

Основными параметрами фильтра, определяющими размер выносимых частиц, являются, при прочих равных условиях, размер и форма фильтрационных отверстий и геометрия элементов фильтрующей оболочки. Размеры проходных отверстий зависят от фракционного состава песка и формы отверстий фильтра. Единого мнения в выборе размера отверстий (щелей) пока не существует.

Однако можно сделать следующие выводы [46].

1. При подборе противопесочных фильтров для скважин с обсаженным стволом необходимо ориентироваться не только на фракционный состав пластового песка с целью определения оптимального размера щели, но и также для формирования естественной набивки из пластового песка с высокой проницаемостью в системе пласт-перфоканал требуется учитывать значение кольцевого зазора между фильтром и обсадной колонной.

2. Сравнительный анализ проволочных фильтров с круглым и трапецеидальным профилем фильтрующей обмотки показал, что гидродинамические параметры лучше у фильтров с круглым профилем проволоки, а пескоудерживающие характеристики, в т. ч. сводообразование, – у фильтров с трапецеидальным профилем проволоки.

Противопесочные фильтры с титановыми фильтроэлементами показали хорошие результаты в условиях, имитирующих пласты с содержанием глинистых частиц не более 10 %.

Фильтры с элементами из металлорезины рекомендованы к использованию в паронагнетательных скважинах и при пароциклической обработке скважин.

Наиболее эффективным и перспективным механическим способом предотвращения пескопроявлений является создание гравийных фильтров в процессе заканчивания скважин бурением. Сущность технологии заключается в следующем. Скважина бурится и крепится до кровли продуктивного горизонта, после чего продуктивный пласт вскрывается долотом меньшего диаметра. После этого проводятся расширение ствола скважины в продуктивном интервале, спуск фильтра с учетом перекрытия

продуктивного интервала и закачка гравия (крупнозернистого отсортированного кварцевого песка) в расширенный интервал между пластом и фильтром.

За рубежом для этого способа имеются различные технологии намыва гравия, разработаны жидкости, не снижающие продуктивности пласта, выпускается серийное оборудование для расширения продуктивных интервалов пластов и регенерации фильтров без извлечения их на поверхность, дающее возможность заменять гравий в случае необходимости. Выпускают высококачественные сварные фильтры из нержавеющей профилированной проволоки трапецеидального сечения, которые могут быть использованы как самостоятельно в качестве вставных фильтров, так и в качестве каркасов гравийных фильтров.

Наибольших успехов в создании техники и технологии предотвращения пескопроявлений с помощью гравийных фильтров за рубежом достигли фирмы “Тип Петролеум”, "Лайенс”, "Локомэтик" (США), “Нагаока" (Япония), “Шлюмберже" (США – Франция) и др.

Фирмой “Бритиш Петролеум"(ВР) были проведены работы по оборудование 14 скважин месторождения Сан-Арго (округ Монтеррей, штат Калифорния) гравийными фильтрами. В результате возросли темпы отбора нефти, которые до установки гравийных фильтров из-за выноса песка были ограниченными. Данные свидетельствуют об увеличении среднесуточной добычи нефти и жидкости. Общий прирост среднесуточной добычи нефти и суммарных темпов отбора нефти (после создания гравийных фильтров) соответственно составил 46 и 72 %. Стоимость ремонтов, связанных с пескопроявлениями, снизилась на 49 %.

Опыт создания гравийного намывного фильтра с использованием оборудования фирмы "Лайенс” в промысловых условиях был осуществлен на скв. 22 Южно-Бугундырского участка, Россия.

Затем были проведены испытания оборудования по созданию противопесчаных гравийных намывных фильтров на месторождении Хорасаны (Азербайджан) в скв. 32, 3416, 3527.

В скв. 32 эксплуатационная колонна диаметром 168 мм была спущена на глубину 275,5 м, затем до глубины 317 м скважину бурили долотом диаметром 140 мм. После этого была проведена установка гравийного фильтра, включая следующие работы:

- расширение диаметра ствола скважины до 240 мм в продук-

тивном интервале 277,5–283,6 и 284–302 м, причем в качестве бурового раствора использовали нефть средней вязкости 125 мПа·с;

- установка фильтра-каркаса на глубине 277,5–302,9 м;
- намыв гравия в количестве 1550 кг.

В процессе проведения работ выявилось, что расширитель при использовании нефти в качестве бурового раствора работает хорошо. Расширитель снабжен сменными лапами с шарошками для грунта средней твердости, поэтому интервал пласта 283,6–284,0 м с породами большей твердости расширить не удалось. Зубья шарошек оказались очень изношенными. В остальном интервале процесс расширения прошел нормально.

Намыв гравия производился с использованием керосина. Оборудование работало хорошо, степень уплотнения гравия высокая. В скважине в начале намыва гравия происходило поглощение керосина, и намыв проводился без циркуляции. Оборудование не было приспособлено к работе в этих условиях: в смесителе невозможно было поддержать нормальную концентрацию гравия – 100 г на 1 л жидкости, а при большей концентрации забивался гравием кроссовер, что дважды произошло в процессе намыва на скв. 32.

Особенностью технологии является намыв гравия по затрубному пространству. При этом гравий засыпается в емкость смесителя *2* (рис. 2.43), насосом подается жидкость намыва, гравийно-жидкостная смесь под давлением поступает в затрубное пространство через устьевую головку 1 (рис. 2.44). На каркасе фильтра *9* (рис. 2.43) гравий отфильтровывается и остается на забое, а жидкость по трубам возвращается на поверхность через вертлюг *4* (рис. 2.44) и по трубопроводу *5* поступает в емкость *6* и далее на прием насоса. В отличие от технологии намыва по трубам в этом случае отсутствует такое оборудование, как комбинированный инструмент и циркуляционная муфта. Устраняется опасность прихвата комбинированного инструмента в циркуляционной муфте при закачке гравия.

При установке компоновки фильтра в расширенном интервале применена более простая конструкция пакера, позволяющая работать в скважинах с различной толщиной стенки обсадной колонны.

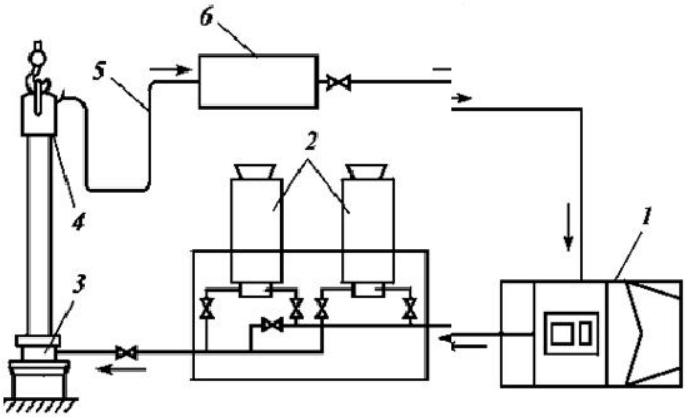


Рис. 2.43. Схема обвязки наземного оборудования:
1 – цементировочный агрегат ЦА-320; 2 – смесительная установка; 3 – промывочная устьевая головка;4 – вертлюг; 5 – шланг; 6 – емкость

Один из основных показателей качества выполненной гравийной набивки – ее плотность. Обычно уплотнение набивки осуществляется путем вибрационного воздействия на хвостовик фильтра, что связано с повышением трудоемкости работ. Существенной особенностью разработанной технологии является гидродинамическое уплотнение гравийной набивки, осуществляемое путем прокачки жидкости через слой гравия. При этом внутри секций фильтра *9* (рис. 2.44) до заглушки-башмака *13* спускается труба *10.*

Жидкость, отфильтрованная от гравия, проходит по кольцевому пространству между трубой *10* и внутренней поверхностью секции фильтра *9* (рис. 2.44). Площадь поперечного сечения его очень мала, поэтому часть жидкости проходит по слою гравия и уплотняет набивку.

Технологией предусматривается создание резерва закачиваемого гравия не менее 10 % его расчетного количества. Резерв предназначен для предотвращения нарушения сплошности гравийной набивки в результате уплотнения гравия и выноса части пластового песка в процессе освоения скважин.

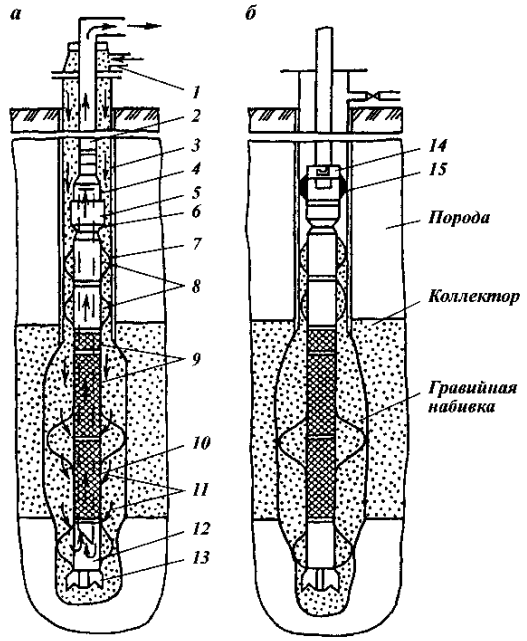


Рис. 2.44. Схемы оборудования скважины при намыве гравийного фильтра без пакера (а) и с пакером (а):
1 – промывочная устьевая головка; 2 – НКТ или бурильные трубы; 3 – обсадная колонна диаметром 168 мм; 4 – переводник с левой резьбой; 5 – ниппель-переводник пакера; 6 – переводник; 7 – центратор пружинный; 8, 12 – НКТ диаметром 89 мм; 9 – секция фильтра; 10 – НКТ диаметром 48 мм; 11 – зона гидродинамического уплотнения гравия; 13 – башмак-заглушка; 14 – захватное приспособление; 15 – пакер

По данной технологии были оборудованы 15 добывающих скважин месторождения Каражанбас и две скважины месторождения Кенкияк, которые работают устойчиво, со значительным сокращением выноса механических примесей по сравнению со скважинами, не оборудованными гравийным фильтром. Результаты работы некоторых скважин приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Результаты применения новой технологии по борьбе с пескопроявлениями

Номер скважины	Средний Дебит скважин, т/сут	Количество механических примесей*, %	Обводненность, %	Число ремонтов, связанных с пескованием	Месторождение
2016	5,8	0,01	68,0	Нет	Кенкияк
2018	10,1	0,01	12,5	“	“
487	3,0	Следы	0,56	“	Каражанбас
450	5,0	“	0,28	“	“
433	4,8	“	0	“	“
377	5,8	0,07	0	“	“
714	2,4	0,02	-	“	“
379	2,7	0,08	-	“	“
537	2,1	Следы	0	“	“
3527	1-1,5	“	-	“	Хорасаны

* Вынос механических примесей по скважинам-аналогам, не оборудованным гравийными фильтрами, составил по месторождениям: Кенкияк – 0,4 %; Каражанбас – 0,3–0,4 %; Хорасаны – 0,6 %

Компания “Би энд Дабл Ю” (США) разработала способ гравийной набивки и наземное и внутрискважинное оборудование (рис. 2.45). Для создания такого фильтра проводят следующие операции.

В скважину, ствол которой расположен в зоне продуктивного пласта, спускают перфорированный хвостовик*8* со щелями размером, подобранным в зависимости от размеров частиц гравия и песка. Хвостовик оснащают центраторами *6* и устанавливают в скважине концентрично. На бурильных трубах *1* закреплены пакерующий элемент *3* с парными подшипниками, специальная подвеска *4* и полый вал *5* с вибраторами *7*, располагаемыми в хвостовике через каждые 18 м, начиная от низа колонны.

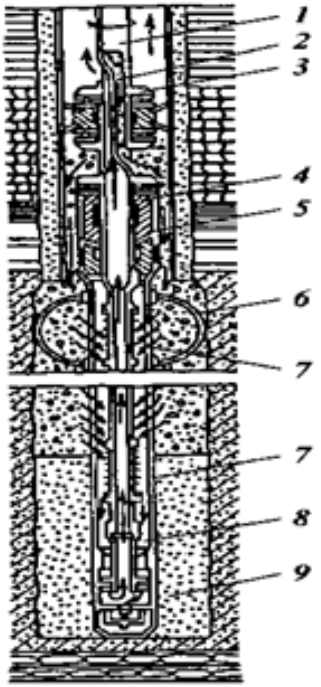


Рис. 2.45. Схема создания гравийного фильтра
по способу фирмы “Би энд Дабл Ю”

Благодаря пакерующему элементу достигается герметизация кольцевого пространства при вращении бурильных труб и вала с вибраторами. В пределах пакера внутренняя полость бурильных труб разделена так, чтобы можно было направить поток жидкости с гравием за потайной колонной. Гравий *9* осаждается, а жидкость-носитель через щели фильтра поступает в вал с вибраторами, поднимается вверх и через отверстие *2* над пакером выходит в кольцевое пространство. Вибраторы способствуют уплотнению гравия за хвостовиком.

Окончание заполнения затрубного пространства отмечается повышением давления в стояке. После этого снижают давление в пакере, промывают скважины и удаляют излишки гравия. Из скважины извлекают бурильный инструмент с пакером, подвес-

кой и вибраторами. По данным фирмы, способ создания гравийного фильтра в отдельных случаях способствует увеличению дебита скважин в 30 раз и предотвращает вынос песка с размером частиц более 25 мкм.

Эффективность работы гравийного фильтра зависит от соотношения между размерами гравия и зерен пластового песка. Ранее считалось, что максимальный размер гравия должен быть в 10 раз больше размера зерен пластового песка, соответствующего 10%-ному остатку при ситовом анализе.

В дальнейшем пришли к выводу, что минимальный размер гравия должен быть в 4 раза, а максимальный – в 6 раз больше размера зерен пластового песка, соответствующего 10%-ному остатку при ситовом анализе.

При соотношении средних размеров гравия и зерен песка более 14 песок проходит через фильтр, не задерживаясь. Эрозия внутрискважинного оборудования в этом случае резко возрастает. Снижение проницаемости гравийной набивки наблюдается при соотношении указанных размеров в пределах 6–14, поэтому данное соотношение рекомендуется принимать равным 5–6. Гравий должен не менее чем на 95 % состоять из кварца и силикатных минералов.

Основные этапы создания гравийного фильтра в открытом стволе – расширение ствола, спуск и подвеска потайной колонны, намыв гравия.

Ствол расширяют для создания гравийного фильтра толщиной 75–100 мм.

При этом необходимо применять буровые растворы, не загрязняющие пласт. При установке гравийных фильтров только в интервале залегания продуктивных пластов намыв гравия должен предшествовать цементированию непродуктивных зон. Такая последовательность операций подсказана промысловой практикой.

Конструкция забоя скважины предусматривает спуск до забоя и перфорацию обсадной колонны. Существующие методы перфорации способствуют деформированию как собственно колонны, так и окружающих ее горных пород. Это создает условия для возникновения и развития процесса пескопроявления.

При перфорации ударные воздействия на колонну в кумулятивной струе, по зарубежным данным, достигают 2800 МПа, поэтому возможны деформация фильтровой части скважины и нарушение целостности призабойной зоны. Такие же нагрузки испытывает колонна и при пулевой залповой перфорации.

Влияние этой операции на деформирование эксплуатационной колонны исследовалось в ряде работ, в которых показано, что нарушение колонны имеет вид сквозных трещин, а цементная оболочка способствует сохранению целостности обсадной колонны, принимая на себя 23 % всей энергии расширяющихся газов;

Рассматривая работу колонны во взаимосвязи с цементным кольцом и окружающими горными породами, приходим к выводу, что перфорация обсадной колонны приводит к разрушению приствольной зоны. Поэтому применение такой конструкции забоя в скважинах со слабосцементированными коллекторами всегда сопряжено с пескопроявлением.

Басарыгиным Ю.М. предложен способ установки гравийного фильтра в скважине (рис. 2.46) [55], включающий закачку гравийной смеси на заданную глубину и необходимую высоту, отличающийся тем, что закачку гравийной смеси осуществляют поинтервально, причем гравийные фракции подают отдельными порциями дифференцированно с последовательным уменьшением их размерности в каждый закачиваемый интервал, а высота каждого отдельного интервала составляет 0,5–1,5 м в зависимости от геологического состава продуктивного пласта.

На рис. 2.46 изображена принципиальная схема компоновки оборудования для сооружения гравийного фильтра в скважине способом обратной циркуляции жидкости, которая включает в себя рабочие трубы *1*, циркуляционную муфту с левым проводником *2*, промывочную трубу *3*, скважинный фильтр *4*, состоящий из надфильтровой трубы *5*, фильтра-каркаса *6* и клапанной системы *7*.

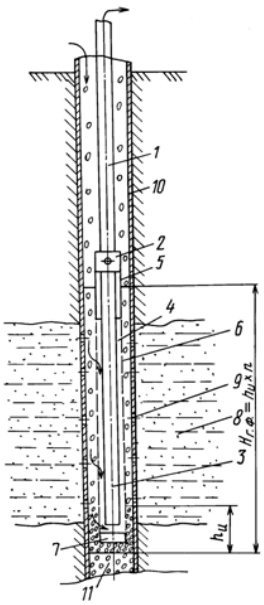


Рис. 2.46. Принципиальная схема компоновки оборудования для сооружения гравийного фильтра в скважине способом обратной циркуляции жидкости

Климовцом В.Н. предложен способ создания гравийного фильтра в скважине [54], включающий вскрытие продуктивного пласта перфорированной обсадной колонной (рис. 2.47), намыв гравия в пространство обсадной колонны в интервале перфорации и в пространство каверн за обсадной колонной с гидроуплотнением призабойной зоны пласта (ПЗП), для устранения нарушения компактности структуры песка в ПЗП с образованием каверны вокруг ствола скважины за счет оттеснения от ствола скважины пластового песка с последующим образованием в ПЗП уплотненной структуры в начале под давлением на пласт прокачивают высоковязкую жидкость – сшитый гель, а затем в образованную каверну и в ствол скважины под давлением намывают гравийную засыпку из высокопроницаемой намывочной фракции, служащей противопесочным экраном для пластового песка при работе скважины, из полимерно-покрытого материала с плотностью, превышающей плотность пластового песка, по меньшей мере, в 3,5 раза, при этом одновременно выполняют условие по составу гравийного фильтра в зависимости от гранулометрического состава пластового песка в соответст-

вии с критерием Сосье, согласно которому медианный диаметр частиц фракции фильтра-экрана должен быть больше медианного диаметра пластового песка в 5–6 раз, уплотненное состояние противопесочного фильтра-экрана обеспечивают созданием с расчетным усилием на заданный период времени колонной заливочных труб через закрепленную на конце колонны пяты из эластичного материала на намытый гравийной засыпкой стакан, размещенный в стволе скважины от искусственного забоя до глубины на 2–5 м выше верхних отверстий перфорации, образование каверны вокруг ствола скважины в призабойной зоне пласта, введение гравийной засыпки из высокоплотной фракции фильтра и в ствол скважины, создание давления на стакан гравийной засыпки в стволе скважины, а также окончательную промывку скважины от мехпримесей выполняют за одну спуско-подъемную операцию.

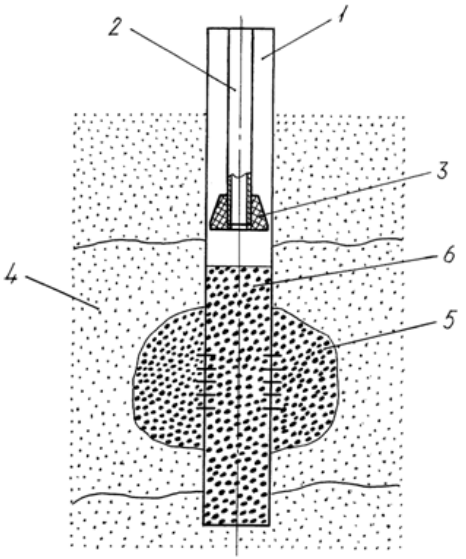


Рис. 2.47. Конструкция скважинного фильтра:
1 – скважина; 2 – колонна заливочных труб; 3 – пята из эластичного материала; 4 – пласт; 5 – противопесочный фильтр-экран в каверне вокруг ствола скважины 1;
6 – стакан гравийной засыпки в стволе скважины

Способ осуществляют следующим образом. В скважину *1,* заполненную рабочей жидкостью, уравновешивающей пластовое давление, спускают колонну заливочных труб *2*, затем под давлением на пласт прокачивают высоковязкую жидкость – сшитый гель, который для устранения нарушения компактности структуры песка в ПЗП оттесняет от ствола скважины пластовый песок с образованием каверны вокруг ствола скважины и в последующем – уплотненную структуру в ПЗП. Затем в образованную каверну *5* и в ствол скважины под давлением намывают гравийную засыпку из высокопроницаемой намывочной фракции, служащей противопесочным экраном для пластового песка при работе скважины. Намывочная фракция состоит из полимерно-покрытого материала с плотностью, превышающей плотность пластового песка, по меньшей мере, в 3,5 раза. При этом должно выполнятся условие по составу гравийного фильтра в зависимости от гранулометрического состава пластового песка в соответствии с критерием Соосье, при котором медианный диаметр частиц фракции фильтра-экрана должен быть больше медианного диаметра пластового песка в 5–6 раз.

После окончания намыва производят уплотнение стакана из гравийной засыпки в стволе скважины, расположенный на высоте от искусственного забоя до глубины на 2–5 м выше верхних отверстий перфорации. Для этого создают давление с расчетным усилием на стакан колонной заливочных труб *2* через закрепленную на конце колонны пяты *3* из эластичного материала, выдерживают в течение заданного времени, после чего нагрузку освобождают. Затем окончательно скважину промывают от мехпримесей.

После окончания работ осуществляют подъем заливочных труб и запускают скважину в эксплуатацию.

Таким образом, способ имеет значительные преимущества, по сравнению с другими способами, по уменьшению затрат на операцию, требующими дорогостоящего оборудования, нескольких спуско-подъемных операций, значительного времени и других затрат. Технология использования фильтра-экрана надежно перекрывает пути пескопроявления; компактная структура пластового песка в ПЗП и намытая фракция являются надежным барьером против пескопроявления пласта.

Для повышение эффективности создания гравийной набивки и обеспечения возможности извлечения щелевого фильтра для ревизии фильтровой компоновки, очистки призабойной зоны скважины в ООО "Кубаньгазпром" предложен способ оборудования гравийных фильтров вертикальных и наклонных скважин и устройство для его осуществления [54].

Сущность способа заключается в том, что в известном способе оборудования гравийными фильтрами вертикальных и наклонных скважин, включающем подготовку скважины, закачку гравия в скважину и установку фильтровой колонны, согласно изобретению, перед спуском фильтровую колонну оснащают технологической компоновкой с промывочной трубкой, а установку фильтровой колонны ведут путем спуска ее до уровня гравия, размыва гравия под фильтровой колонной со скоростью, обеспечивающей поддержание гравия во взвешенном состоянии, при этом спуск и погружение фильтровой колонны в гравий ведут под ее собственным весом до забоя скважины, затем выдерживают скважину в течение времени, необходимого для уплотнения гравия, извлекают технологическую компоновку с промывочной трубкой и стыкуют фильтровую компоновку с лифтовой компоновкой.

При этом перед закачкой гравия в пласт закачивают фракцию песка с размерами частиц 1,0–3,2 мм.

Причем фракцию песка закачивают в пласт в количестве 1–3 $м^3$ на 1 м перфорации.

Кроме того, в качестве гравия используют кислоторастворимый гравийный материал, например ракушечник, известняк или мраморную крошку.

Способ осуществляют следующим образом.

Скважину вертикальную или наклонную при ее ремонте вначале промывают до забоя. Затем в пласт закачивают фракцию песка с размерами частиц 1,0–3,2 мм в объеме 1–3 $м^3$ на 1 м перфорации, в случае если скважина выносила породу (песок). Закачку песка проводят на жидкости-песконосителе, удерживающей песок во взвешенном состоянии, при этом давление закачки не должно превышать давление гидроразрыва пласта. Затем скважину промывают до забоя для извлечения остатков песка и закачивают на забой скважины расчетное количество

кислоторастворимого гравийного материала, например известняка, ракушечника или мраморной крошки, соответствующих размеров. Проводят подготовку, сборку и спуск фильтровой компоновки до уровня на 0,5–0,8 м выше уровня закачанного в скважину гравия. Затем включают прямую промывку со скоростью в затрубном пространстве, обеспечивающей поддержание гравия во взвешенном состоянии. При последующей одновременной разгрузке фильтровой колонны последняя погружается под ее собственным весом в слой гравия, находящегося во взвешенном состоянии. По достижении фильтровой колонной забоя прекращают промывку скважины и разгружают компоновку на забой скважины. При этом устанавливают пакер, разобщают затрубное пространство от пласта. Затем скважину останавливают на 4–6 час для усадки и уплотнения гравийного материала. Вращением на устье колонны труб вправо на 10–12 оборотов отсоединяют технологическую компоновку от фильтровой компоновки, поднимают ее на уровень на 0,5–1 м выше соединителя. Промывают скважину 1,5–2 цикла и извлекают технологическую компоновку из скважины полностью. Собирают и спускают в скважину лифтовую компоновку, содержащую герметизатор, пакер и циркуляционную муфту. После стыковки лифтовой компоновки с фильтровой компоновкой готовят устье скважины к освоению.

Устройство [54] для оборудования гравийными фильтрами вертикальных и наклонных скважин, включающее фильтровую компоновку, содержащую фильтровые секции, надфильтровую трубу и обратный клапан, согласно изобретению, дополнительно содержит технологическую компоновку, включающую промывочную трубку, циркуляционную муфту и втулку, фильтровая компоновка дополнительно содержит штуцирующий узел, установленный в нижней части устройства, корпус, расположенный ниже фильтровых секций соосно со штуцирующим узлом и соединенный с ним, центраторы, установленные над верхней и под нижней фильтровыми секциями, и соединитель, при этом промывочная трубка расположена внутри фильтровых

секций и надфильтровой трубы, кольцевое пространство в верхней части надфильтровой трубы в месте выхода промывочной трубки из надфильтровой трубы герметизировано соединителем, нижний конец промывочной трубки герметично закреплен в корпусе, а обратный клапан установлен над штуцирующим узлом, причем после спуска фильтровой компоновки производят замену технологической компоновки на лифтовую компоновку, содержащую насосно-компрессорные трубы, циркуляционную муфту, герметизатор и пакер.

Причем фильтровая компоновка дополнительно содержит компенсаторы перемещений, установленные между фильтровыми секциями.

Использование в устройстве промывочной трубки позволяет осуществлять циркуляцию промывочной жидкости через промывочную трубку, а не через фильтровые секции, что предотвращает закупорку и загрязнение фильтров.

Установленные на фильтровой колонне центраторы обеспечивают соосное расположение фильтровых секций в наклонных и вертикальных скважинах, предотвращают прилегание их к стенкам скважины, что обеспечивает надежность и долговечность фильтров.

На рис. 2.48 представлено заявляемое устройство в разрезе.

На рис. 2.49 представлена фильтровая компоновка с присоединенной к ней лифтовой компоновкой, в разрезе.

Устройство содержит технологическую компоновку, содержащую штуцирующий узел *1*, установленный в нижней части устройства, обратный клапан *2,* установленный над штуцирующим узлом *1*, установленные соосно друг над другом и соединенные между собой патрубок *3*, корпус *4*, фильтровые секции *5*, компенсаторы перемещений *7*, установленные между фильтровыми секциями *5* надфильтровую трубу *8,* соединитель *9*, выполненный в виде патрубка с кольцевым выступом на его внутренней поверхности, и центраторы *16*, установленные над верхней и под нижней фильтровыми секциями *5*, и технологическую компоновку, содержащую промывочную трубку *6*,

установленную внутри фильтровых секций *5* и надфильтровой трубы *8,* втулку *10,* выполненную в виде соединенных между собой двух патрубков разных диаметров и установленную патрубком меньшего диаметра внутрь соединителя *9*, и опирающуюся торцевой поверхностью на кольцевой выступ соединителя *9*, резиновое кольцо *11*, установленное в патрубке большего диаметра втулки *10*, прижимную гайку *12,* уплотняющую резиновое кольцо *11*, переходник *13*, соединяющий промывочную трубку *6* с циркуляционной муфтой *14*, и уплотнительные кольца *15*, при этом нижний конец промывочной трубки *6* находится под нижней фильтровой секцией *5* и закреплен в корпусе *4,* а верхний ее конец соединен с циркуляционной муфтой *14*, соединитель установлен на верхнем конце надфильтровой трубы *8* и герметизирует кольцевое пространство между верхним концом надфильтровой трубы *8* и наружной поверхностью трубки *6,* длину технологического патрубка *3* регулируют в зависимости от расстояния от забоя до нижних перфорационных отверстий.

После спуска фильтровой компоновки производят замену технологической компоновки на лифтовую компоновку, содержащую насосно-компрессорные трубы *19,* циркуляционную муфту *14*, герметизатор *17* и пакер *18*.

Устройство работает следующим образом.

После подготовки скважины к работе и закачке на забой скважины расчетного количества кислоторастворимого гравийного материала, с учетом технико-геологических данных скважин производят подбор фильтровой компоновки, размера щелей фильтра, количества фильтровых секций, компенсаторов перемещений, свинчивают фильтровую компоновку вместе с фильтровой компоновкой и спускают устройство в скважину до уровня на 0,5–0,8 м выше уровня закачанного в скважину гравия.

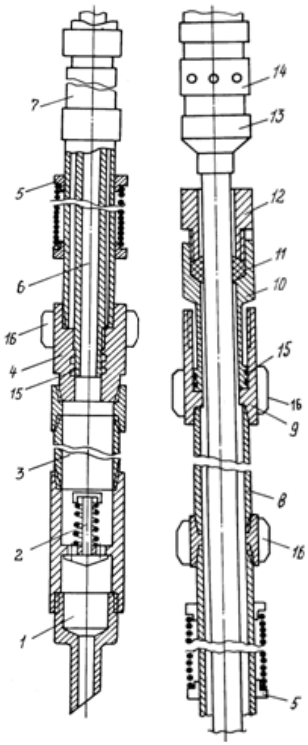


Рис. 2.48. Устройство в разрезе

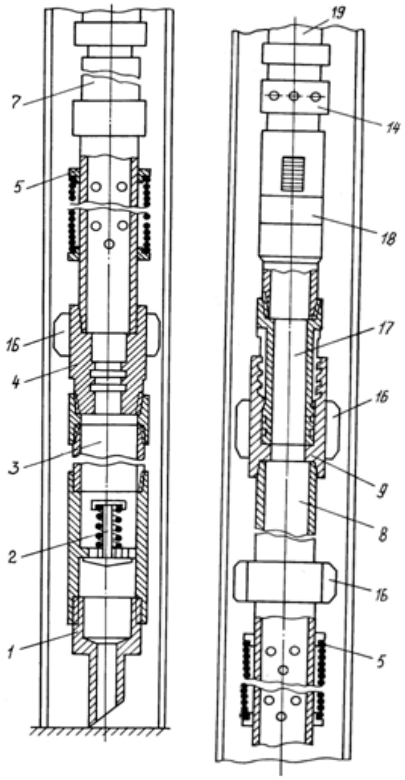


Рис. 2.49. Фильтровая компоновка с присоединенной к ней лифтовой компоновкой

Закачивают промывочную жидкость, не содержащую твердых частиц, со скоростью 0,5–1,0 м/с. Промывочная жидкость поступает через муфту *14*, промывочную трубку *6*, корпус *4*, патрубок *3,* через обратный клапан *2* в штуцирующий узел *1* и на забой скважины. Скорость закачки промывочной жидкости регулируют таким образом, чтобы гравийный материал поддерживался во взвешенном состоянии, и не было выноса гравия на поверхность, и плавно спускают устройство вниз под его собственным весом. При этом поток промывочной жидкости вымыва-

ет из гравийного материала мелкие частицы породы в верхнюю часть гравийного материала. После спуска устройства до забоя скважины и погружения фильтровой компоновки в гравийный материал отключают закачку промывочной жидкости. При этом частицы гравия начинают оседать, и поскольку мелкие частицы оседают с меньшей скоростью, то фильтрующая часть гравия будет состоять из частиц крупного и среднего размера, а мелкие частицы горных пород и шлам будут располагаться выше фильтровых секций *5* в зоне надфильтровой трубы *8*.

Затем скважину выдерживают в покое в течение не менее 4–6 часов и вращением по часовой стрелке осуществляют отсоединение технологической компоновки от фильтровой компоновки, при этом промывочная трубка *6* отсоединяется от корпуса *4*, и технологическую компоновку, включающую промывочную трубку *6*, втулку *10*, резиновое кольцо *11*, прижимную гайку *12*, переводник *13*, циркуляционную муфту *14* и уплотнительное кольцо *15*, поднимают до уровня, при котором нижний конец промывочной трубки 6 находится над соединителем *9* на расстоянии 0,5–1,0 м. Включают промывку и осуществляют очистку входа в соединитель *9* от излишков гравия. Извлекают технологическую компоновку из скважины.

Затем опускают лифтовую компоновку, включающую насосно-компрессорные трубы *19*, циркуляционную муфту *14*, герметизатор *17* и пакер *18*. Распакеровывают пакер *18*, разобщая фильтровую колонну от затрубного пространства скважины.

Созданием циркуляции жидкостью соответствующей плотности через затрубное пространство, циркуляционную муфту *14* осуществляют освоение скважины.

При ремонтных работах для осуществления ревизии скважины, для извлечения фильтровой компоновки снимают пакер *18*, извлекают лифтовую компоновку (рис. 2.48) и постепенно с остановкой через промывочную трубку *6* закачивают через фильтровые секции *5* соляную кислоту в зону кислоторастворимого гравийного материала. При взаимодействии соляной кислоты с кислоторастворимым гравийным материалом (напри-

мер, известняком, ракушечником или мраморной крошкой) происходит его растворение и освобождение фильтровых секций *5*. Затем извлекают технологическую компоновку из скважины, спускают бурильные трубы, которые соединяют с фильтровой компоновкой, расхаживают фильтровую компоновку и извлекают фильтр-каркас из скважины.

Предлагаемое изобретение позволяет повысить эффективность способа создания гравийного фильтра, обеспечивает возможность извлечения фильтра для ревизии и очистки призабойной зоны, а также позволяет повысить надежность в работе и долговечность фильтра.

С целью повышение надежности очистки от бурового шлама и пластового песка при формировании естественного фильтра А.Д. Башкатовым [56] предложен способ сооружения фильтровой скважины.

Способ для сооружения фильтровой скважины, включает спуск в скважину скважинного фильтра на промывочной трубе с промывочной муфтой, намыв гравийной набивки и вынос вымытых частиц, промывочную муфту снабжают телескопическим клапаном с радиальными каналами и перекрытым центральным каналом в нижней части, вынос вымытых частиц и предэксплуатационную откачку производят через прискважинную камеру, соответственно, в верхнем положении клапана с сообщенными радиальными каналами клапана и промывочной муфты с кольцевой полостью скважины и нижнем положении клапана с сообщенными радиальными каналами клапана со скважинным фильтром.

Кроме того, откачиваемую жидкость сбрасывают в скважину и используют в качестве продавочной.

Инструмент (рис. 2.50) по способу включает скважинный фильтр *1*, промывочную муфту *2*, промывочную трубу *3*.Промывочная муфта *2* снабжена клапаном *4*.

Клапан *4* телескопически установлен в промывочной муфте *2* и выполнен с приводным узлом *5* в виде шлицевого или шпоночного соединения с промывочной муфтой *2* и снабжен опорной гайкой *6*.

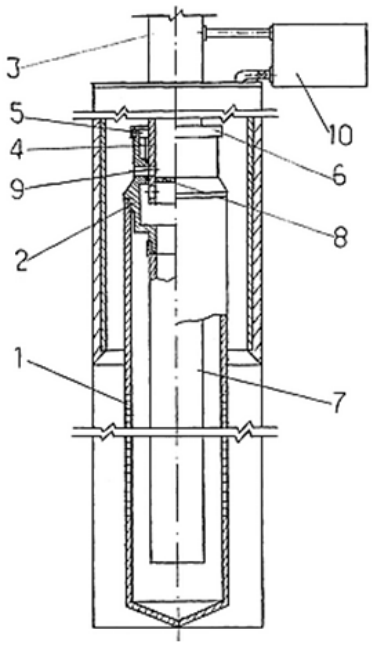


Рис. 2.50. Способ сооружения фильтровой скважины

Промывочная муфта *2* снабжена дополнительной промывочной трубой *7*, а промывочная труба *3* выполнена двойной в верхней части.

Клапан *4* выполнен с перекрытым центральным каналом в нижней части заглушкой *8* и радиальными каналами *9*, сообщенными с затрубной полостью скважины через промывочную муфту *2* и со скважинным фильтром через дополнительную и промывочную трубу *7* соответственно в верхнем и нижнем положениях клапана *4*. Промывочная труба *3* соединена с прискважинной камерой *10* гибким рукавом.

Промывочная муфта *2* соединена со скважинным фильтром *1* левым переводником. Прискважинная камера *10* выполнена с двумя отсеками для очистки откачиваемой жидкости.

Работа инструмента по способу заключается в следующем.

Скважинный фильтр *1* спускают в скважину, устанавливают на забое и переводят клапан *4* в нижнее положение, когда

радиальные каналы *9* сообщены через дополнительную промывочную трубу *7* с внутренней полостью скважинного фильтра *1*.

Производят подачу промывочной жидкости и засыпку гравийной набивки в восходящем потоке промывочной жидкости.

При этом мелкие фракции гравийной набивки и буровой шлам вместе с пластовым песком вымываются из фильтровой зоны, и фильтровая набивка оседает в кольцевую полость, образуя естественный фильтр, а вымытые частицы выносятся из фильтровой зоны обратной промывкой через промывочную трубу *3* при переводе клапана *4* в верхнее положение и сообщения с кольцевой полостью радиальных каналов *9*, клапана *4* через промывочную муфту *2*, в прискважинную камеру *10*, а из нее в скважину.

Процесс засыпки гравийной набивки производят порциями с последовательным выносом вымытых частиц обратной промывкой, включением эрлифтной откачки. Предэксплуатационную откачку производят через прискважинную камеру *10* со сбросом в скважину, откачиваемую жидкость используют в качестве продавочной жидкости.

После окончания технологических процессов инструмент раскрепляется от скважинного фильтра и выносится из скважины.

А.Д. Башкатовым [57] предложен инструмент для сооружения фильтровой скважины, который обеспечивает оптимальное распределение гравия по всей прифильтровой зоне и надежную полную очистку от бурового шлама и пластового песка и обеспечивает формирование естественного фильтра больших формаций гравийной набивки.

Инструмент (рис. 2.51) для сооружения фильтровой скважины, включающий фильтровую колонну с гравийной набивкой, промывочную трубу с блокирующими средствами и обратным клапаном, согласно настоящему изобретению, инструмент снабжен, по меньшей мере, двумя струйными устройствами, установленными между блокирующими средствами, установленными на корпусе, закрепленном к промывочной трубе и выполненном с радиальными каналами, перекрытыми подпружиненным радиальным клапаном, связанным шарнирно верхней частью с обратным клапаном.

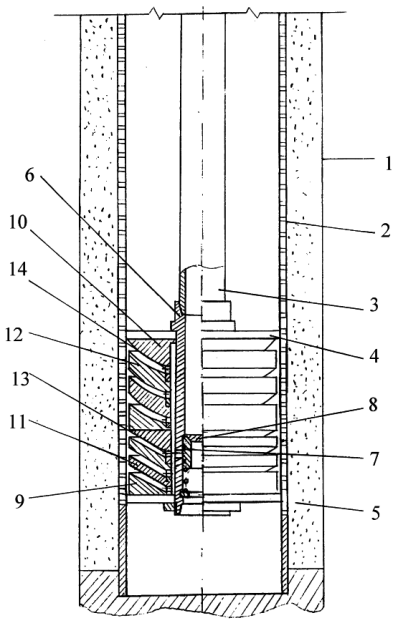


Рис. 2.51. Инструмент для сооружения фильтровой скважины с гравийной набивкой

Кроме того, струйные устройства выполнены в виде комплектов кольцевых сопел, образованных коническими кольцами с углом конусности, соответствующим углу естественного откоса гравийной набивки в пластовой жидкости для нижнего струйного устройства и сферическими кольцами, величины радиусов кривизны которых взяты из расчета перекрытия струями сечения кольцевой полости между стенками ствола скважины и фильтровой колонны, а центры – на оси фильтровой колонны, причем конические и сферические кольца снабжены цилиндрическими опорными участками, верхние из которых выполнены с радиальными каналами.

Алфеевым В.Н. [58] для повышения срока службы нефтяных и газовых скважин за счет обеспечения надежности эксплуатации фильтрдренажной системы путем обеспечения жесткой связи между частицами гравия без нарушения газопрони-

цаемости гравийного упрочняющего состава предложен способ создания скважинного гравийного фильтра.

Указанный технический результат достигается тем, что при реализации способа создания скважинного гравийного фильтра с помощью бурового оборудования вскрывают продуктивный пласт, устанавливают обсадную трубу до свода продуктивного пласта, устанавливают трубу с фильтром, доставляют гравийный состав в пространство ниже свода продуктивного пласта, при этом внутри обсадной колонны устанавливают цементную колонну, внутри последней устанавливают указанную трубу с фильтром, причем указанная труба является насосно-компрессорной, фильтр располагают в зоне продуктивного пласта ниже его свода, гравийный состав представляет собой раствор из воды, цемента и гравия, а уплотнение этого гравийного состава производят механическим путем до момента превращения его в единый перфорированный монолит рис. 3.10.

На рис. 2.52, *а* изображен общий вид восстанавливаемой технологической скважины с расположением перфорированного гравийного монолита между перфорированной частью цементной и обсадной труб. На рис. 2.52, *б* – то же, что и на рис 2.52, *а* – с установленными насосно-компрессорными трубами. На рис. 2.52, *в* – технологическая скважина с гравийныммонолитом, внедренным в продуктивный пласт. На рис. 2.52, *г* – то же, что и на рис. 2.52, *в* – с установленными насосно-компрессорными трубами.

В одном из вариантов реализации способа доставляют указанный гравийный состав в зону перфорации обсадной колонны и производят его уплотнение с обеспечением жесткого сцепления с торцевой частью цементной колонны и перфорированной частью обсадной колонны.

Возможен также вариант выполнения способа, при котором производят уплотнение гравийного состава с обеспечением жесткого сцепления его с торцевой частью цементной колонны, а также с обеспечением заполнения пространства каверн продуктивного пласта.

Уплотнение гравийного состава осуществляют с помощью бурового оборудования.

Подачу гравийного состава в зону продуктивного пласта осуществляют после очистки перфорационного участка скважины.

Поперечный размер частиц используемого гравия в гравийном составе находится в пределах 3 мм.

Анализ конструктивных особенностей забоев скважин других типов показывает, что все они имеют искусственно созданный фильтрационный массив, который контактирует с продуктивным пластом и, следовательно, подвержен воздействию сил горного давления и суффозионных процессов, которые обусловливают кольматацию или эрозионное разрушение призабойной зоны.

Искусственный фильтр должен находиться в эксплуатации длительное время, тогда совершенно очевидно, что его устойчивость во времени связана с проявлениями таких факторов, как действие сил горного давления в приствольной зоне, изменение прочностных характеристик горных пород продуктивного пласта, деформация и разрушение его при извлечении флюида. Все это определяет рабочие нагрузки на элементы конструкции фильтра.

Гравийные набивки в горизонтальных и наклонных скважинах

Положительные результаты применения способов регулирования пластового давления в скважинах с большими искривлениями приобрели большое значение по мере увеличения числа таких законченных скважин. Здесь рассматривается современная технология жидкостных, гравийных и фильтровых уплотнений и предлагаются практические методы и направления для будущих исследований.

Правильно подобранные гравийные набивки более эффективны по сравнению с простым размещением гравия в кольцевом пространстве перфорированной обсадной трубы. Следует внимательно следить за тем, чтобы причинить минимальный ущерб породе во время бурения, цементирования, перфорации и расширения ствола скважины. Многие параметры, которые неизвестны или не могут быть известны в стволе, могут иметь большое значение для успешного заканчивания скважин. Некоторые неизвестные параметры могут быть получены на основании модельных исследований и лабораторных испытаний. Важно, чтобы такая информация получалась с использованием

представительных условий, с уточнением на основании результатов полевых испытаний.

Существуют противоречивые сведения о лучших способах гравийных уплотнений в имеющих большой угол наклона (более 60°) скважинах, в которых интервалы заканчивания превышают по длине 30 м. Модельные исследования могут пролить некоторый свет на проблемы транспорта гравия при таком типе заканчивания; однако относительно короткие модели, которые недостаточно моделируют утечку жидкости, не помогли при решении какой-либо важной проблемы.

Правильно подобранные гравийные уплотнения должны включать гравийные уплотнения, измеренные с необходимой точностью, – гравий, плотно уложенный по всему интервалу заканчивания и удерживаемый на месте фильтром для прекращения поступления из пласта песка.

Гравийные уплотнения в обсаженных стволах должны иметь достаточное количество гравия вне обсадной трубы для того чтобы обеспечить такое положение, когда все перфорационные отверстия заполнены гравием. Размеры и число перфорационных отверстий должны быть достаточными для сведения к минимуму ограничения потока жидкости через перфорированные проходы, заполненные гравием. Стоимость гравийного уплотнения должна быть возмещена в течение приемлемого времени добычи, причем движение песка породы необходимо регулировать в течение всего периода эксплуатации коллектора.

Если эти условия не выполняются, то результаты получатся ниже оптимальных. Многие гравийные уплотнения экономически оправданы, однако если они не смогут контролировать поступление песка в течение длительного времени или ограничить темп его движения, то перспективные экономические результаты будут далеки от желаемых. Поскольку горизонтальные и наклонные (более 60°) скважины, имеющие протяженные интервалы заканчивания, являются более дорогостоящими с точки зрения бурения и заканчивания (по сравнению с более короткими вертикальными скважинами), то при определении успешности бурения предпочтение следует отдавать экономическому фактору.

Можно точно следовать указаниям по механической конструкции гравийного уплотнения и, однако, не добиться успеха вследствие неправильного размещения и технологии выполнения уплотнения. Если гравий не уплотнен по всему продуктивному интервалу, то в уплотнении могут появиться изъяны или песок из породы может попасть в пространство, окружающее фильтр до укладки на него гравия, что приводит к выходу устройства из строя.

Водяные сальники и уплотнения из соляного раствора. Обычные методы гравийного уплотнения с использованием воды были взяты из практики строительства водяных колодцев. Гравий добавляют к воде и закачивают в кольцевое пространство перфорированной обсадной трубы; скорость закачивания обычно составляет от 17 до 56 $м^3$/ч.

Вода недостаточно эффективно доставляет гравий в кольцевое пространство и через перфорационные каналы в длинных и пробуренных под углом более 60° скважинах из-за ее низкой вязкости. Кроме правильно подобранных конструкций труб и фильтров необходимо, чтобы скорость жидкости была достаточно высокой для переноса гравия через рабочую колонну труб в кольцевое пространство перфорированной обсадной трубы и для вытеснения песка в виде "дюн", образующихся под воздействием силы тяжести, по направлению к концу фильтра, а также для выноса гравия через перфорации для заполнения пустот за обсадной колонной.

Исследования с использованием моделей длиной 3,6 и 30 м показали, что гравий может быть уплотнен в кольцевом пространстве обсадной трубы при использовании воды, если потери жидкости в фильтр ограничить с помощью удлиненной хвостовой трубы или перегородки. Этот эффект может быть усилен путем использования фильтра селективного отделения и уплотнения внутреннего кольцевого пространства, являющегося основой перфорированной трубы с фильтрующей сеткой. Однако переток жидкости к пласту будет также мешать переносу гравия.

Полученные при решении этого уравнения значения скоростей падения идеально сферического гравия в воде являются приблизительными. Не относящиеся к сферичности воздействия могут быть включены путем умножения этих значений скоро-

стей на сферичность измеренного гравия. Например, скорость падения гравия, имеющего сферичность 0,8, составляет приблизительно 80 % идеальной сферы.

Значения критических скоростей переноса в воде гравия были получены в результате использования приведенного уравнения, причем было сделано предположение, что сферичность гравия равна 0,8. При увеличении вязкости жидкости или плотности или при уменьшении плотности гравия от 2680 кг/м^3 снижается критическая скорость и улучшается уплотнение перфорационных отверстий верхней стороны трубы.

Рассмотрены приблизительные параметры жидкости при ее прохождении через перфорационные отверстия диаметром 20,3 мм при различных скоростях истечения, когда жидкость проходит одинаково через 12 отверстий на участке длиной 30 мм. При этом могут быть продемонстрированы бесполезность попыток уплотнить гравий у перфорационных отверстий на верхнем стороне, расположенных на больших расстояниях одна от другой, используя воду, а также преимущества гравия с малой плотностью и вязких соляных растворов.

На интервалах максимальной длины при различных темпах потери жидкости, расположенные на верхней стороне перфорационные отверстия могут быть успешно набиты гравием. Можно ожидать, что только имеющий низкую плотность гравий при использовании соляного раствора с вязкостью 60 мПа·с сможет уплотнить такие перфорационные отверстия на интервалах, превышающих 30 м. Если потери жидкости в породу составляют 0,16–0,32 м^3/мин, то скорость потока в заколонном пространстве может оказаться недостаточно высокой для переноса гравия к концу интервала закачивания. Далее, если потери жидкости составляют только 1 л/мин на 30 см перфорационных отверстий, как было в случаях исследования процесса на моделях, вся жидкость может быть потеряна на участке 25 м при ее закачивании насосом при скорости 0,32 м^3/мин. Подача насоса должна быть существенно увеличена для того чтобы переместить гравий через заколонное пространство.

Уплотнение из жидкости с цементным раствором и гелем, имеющей высокую вязкость. При этом используют вязкие жидкости, которые могут перемещать высокие концентрации гравия при меньшей подаче насосов по сравнению с менее вязкими во-

дой или солевыми растворами. Жидкости с более высокой вязкостью снижают скорости утечки и способствуют транспорту гравия в стволах, пробуренных под углом, близким к горизонтальному. Это также уменьшает общий объем жидкости, необходимый для уплотнения скважины, и способствует уменьшению до минимума потенциального ущерба, который может быть нанесен пласту.

Фирма “Юнион Ойл Компани оф Калифорния” опубликовала результаты исследований с использованием моделей гравийной набивки в скважинах, пробуренных под большим углом (более 60° по отношению к вертикали).

Результаты показали, что гравий не может полностью уплотнить ствол, наклоненный под углом более 60° к вертикали, однако гибкие перегородки-глушители, установленные на концевых трубах, могут содействовать полному уплотнению гравием ствола, даже при его отклонении на 105° от вертикали.
Эта модель не учитывала потерю жидкости и уход ее в пласт.

Фирма “Бритиш Инт. Сэвисэз" представила результаты исследований. Перфорационные отверстия и заколонное пространство были последовательно уплотнены в модели с углом наклона 70°, причем концентрация гравийного раствора составляла 7,5 кг на 3,8–10^{-3} $м^3$ воды, заглушенной гидроксиэтиловой целлюлозой (ГЭЦ). Исследования показали, что жидкость, несущая вязкие вещества, существенно уменьшила возможность перемешивания гравия с песком пласта, поскольку гравий уходит через перфорационные отверстия, однако отверстия на верхней стороне были полностью уплотнены.

Фирма “Экскон” представила результаты исследований своей модели, которые свидетельствовали об улучшении гравийной набивки с использованием воды в горизонтальных и наклонных скважинах в результате увеличения участка концевая труба-фильтр. С целью ограничения объема жидкости, проходящей из заколонного пространства в фильтр, были использованы модели длиной 3,0–6,0 м, которые не имитировали потерю жидкости вследствие ее ухода в пласт.

Фирма "Доуэлл" представила результаты модельных исследований в 1982 г., когда был использован фильтр длиной 4,2 м. Были получены успешные результаты по уплотнению гравия с

применением воды в заколонном пространстве фильтра и обсадных труб, при этом значение радиального зазора составляло 33 см, соотношение на участке хвостовик- фильтр составило 0,78, а угол наклона ствола равнялся 85°. К сожалению, не был подтвержден факт проникновения жидкости в пласт в используемой короткой модели.

Фирма “Шеврон Ойл Филд Ресеч" сообщила о результатах своих научных поисков с использованием модели вертикальной гравийной набивки, а также об исследованиях модели наклонной скважины.

В ходе исследований вертикальных стволов было отмечено значительное забивание фильтра и хвостовика со щелевидными отверстиями, когда гравий циркулировал вместе с водой и закачивался серийными трехцилиндровыми насосами. Во время исследований было также подтверждено, что жидкости, загущенные ГЭЦ, сильно уплотняют гравий даже в смоделированных скважинах при необсаженном забое, кроме того, такие жидкости забивают фильтр гораздо меньше. Загущенные ГЭЦ жидкости полностью уплотняют гравием модель и перфорационные отверстия, несмотря на размер заколонного пространства в 76 мм вокруг фильтра и обсадной колонны. Эта модель наиболее близко имитировала законченную скважину с необсаженным забоем и с расширенным стволом ниже башмака обсадной колонны по сравнению с заканчиванием обсаженного ствола.

Проведенные фирмой “Шеврон Ойл Филд Ресеч" исследования на модели с углом наклона 80° подтвердили, что конструкция фильтра шламовой трубы давала возможность провести полное уплотнение модели длиной 18 м, в которой гравий переносился водой, однако в этом случае не было отмечено полноты уплотнения перфораций на верхней стороне. Кроме того, было еще раз подтверждено, что вода с гравием вызывает большую закупорку фильтров, чем вода, загущенная ГЭЦ. Во время испытания по перемещению гравия было показано, что вода не переносит гравий достаточно эффективно через рабочую колонну диаметром 60,3 мм при угле ее наклона 80°.

Исследования и эксперименты с вязкими жидкостями показали, что осаждение гравия после уплотнения вместе с водой, загущенной ГЭЦ вязкостью 600–700 мПа·с, привело к некоторому

обнажению фильтра, однако перфорационные отверстия по верхней стороне были полностью уплотнены. Осаждение гравия после уплотнения дало, возможно, более отрицательные результаты при использовании концентраций гравия около 2,0 кг на 1 л по сравнению с концентрациями от 7,5 до 10,0 кг на 1 л.

Результаты испытаний, проведенных фирмой “Шеврон Ойл Филд Ресеч” с горизонтальной моделью, когда использовали воду, загущенную ГЭЦ, подтвердили, что важнейшее значение имеет соотношение диаметров концевой трубы и фильтра, высокая подача насосов повышает эффективность набивки и что различия, которые были отмечены и явились результатом увеличения вязкости жидкости после добавления геля, а также разница в концентрациях гравийного раствора были минимальными.

Результаты проведенных фирмой “Шеврон Ойл Филд Ресеч" испытаний с использованием загущенной при помощи ГЭЦ воды в модели скважины, имеющей наклон 100°, были несколько лучшими по сравнению с результатами, полученными при испытании модели ствола, наклоненного под углом 90°.

Специалисты фирмы “Шеврон Ойл Филд Ресеч” провели несколько экспериментов с утяжеленным буровым раствором, который имел вязкость 6,0 мПа·с, и с использованием заменителя гравия, имевшего низкую плотность (1650 г/м^3). Эти более легкие частицы полностью уплотнили перфорационные каналы на верхней стороне и все заколонное пространство в месте соединения фильтра с обсадной колонной.

Фирма “Маратон Ойл" представила результаты проведенных в 1987 г. испытаний гравийных уплотнений в моделидлиной около 30 м; соотношение диаметров между концевой трубой и фильтром составляло 0,77, а плотность гравия в воде, вязкость которой была увеличена за счет добавления в нее карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и ГЭЦ, составила 1800 кг/м^3. Эти результаты подтвердили важность циркулирования раствора и его доступа к фильтру герметизированного нижнего датчика (устройства сигнализации) до того, как пропустить гравий через перфорационные отверстия. Подача насоса не имела сколько-нибудь существенного влияния на эффективность уплотнения; лучше всего уплотнялись первое и последнее перфорационные отверстия.

Перфорационные отверстия, которые использовались при исследованиях, имели ограниченные размеры и могли пропускать только $0,1–10^{-2}$ м^3 гравия на 0,3 м, а вязкость жидкости (500 мПа·с) была выше обычно рекомендуемой для набивки гравия у перфорационных отверстий.

Фирма “Экскон" сообщила дополнительную информацию после проведения исследований на модели длиной 66 м. Некоторые из результатов приводятся ниже:

- перфорационные отверстия с уплотнением из гравия с не загущенной гелем водой не вызывают смешения гравия с песком породы, и поэтому гравий надежно уплотняет зону перфорации даже при низких значениях подачи жидкости;

- подтверждена эффективность гравийного уплотнения с применением не загущенной гелем воды при наклоне ствола на угол до 110° и при использовании удлиненного хвостовика. Скорость истечения, равная 30 см/с в заколонном пространстве на участке системы фильтр-обсадная колонна, дает возможность осуществить полное уплотнение гравия и поэтому может быть рекомендована;

- гравий уплотняется более компактно при использовании воды, не загущенной гелем, чем при применении загущенной гелем воды;

- гравий лучше всего набивается в первое и последнее перфорационные отверстия длинных, наклонных под острым углом стволов, при использовании вязких жидкостей;

- осаждение гравия после набивки из перфорационных отверстий, расположенных на верхней стороне, происходит при использовании вязких жидкостей, которые применяют для набивки гравия;

- высокие концентрации гравия в загущенной гелем воде не выявили каких-либо преимуществ по сравнению с низкими концентрациями гравия при завершении скважин, пробуренных под пологим углом.

Хотя настоящая информация представляла ценность, но она противоречит сведениям из других источников.

Может оказаться нецелесообразным проведение исследований модели гравийной набивки при бурении на сверхдлинные расстояния, но попытки решить проблему уже предпринимают-

ся при помощи компьютеризованных моделей. Однако даже они могут не дать правильной картины профиля утечки, что может привести к преждевременному гравийному перекрытию через зону поглощения бурового раствора или через трещины. Вертикальная трещина в зоне полного угла, которая заполняется гравием, может отвести гравий и жидкость от ствола и воспрепятствовать полному покрытию фильтра.

Важнейшим параметром также является объем незаполненных пустот за обсадной колонной.

Идеальная модель. Опытные модели законченных обсаженных стволов будут более точно имитировать условия ствола, если такие модели сконструированы с наличием перфорационных каналов диаметром 19,05–20,3 мм при 8–12 перфорационных отверстиях на участке длиной 30 см.

Радиальные утечки через перфорационные отверстия могут быть смоделированы путем объединения каждого патрубка длиной 30 см с перфорационными отверстиями с целью имитации пустот (фирма “Экскон”).

Идеальная модель должна быть 150 м или более в длину и иметь, как минимум, перфорационные отверстия на участке длиной 30 м; внутренний диаметр обсадной трубы должен быть не менее чем на 5 мм больше внешнего диаметра проволочной обмотки фильтра.

Такая модель должна давать более точную информацию о влиянии скорости движения на транспорт гравия и легких частиц гравия в жидкостях, отличающихся различными вязкостями и плотностями.

Гравийная набивка в пологих стволах. Стволы скважины большой протяженности, пробуренные под пологим углом или горизонтально, должны заканчиваться в виде нерасширенных стволов, не закрепленных обсадными трубами, при проходке достаточно твердых пород, которые остаются открытыми при их бурении с помощью не загрязняющих пласт буровых растворов.

Некоторые породы, требующие гравийного уплотнения в вертикальных скважинах, могут обойтись без гравийной набивки в горизонтальных скважинах большой длины, поскольку снижение давления и полученные скорости истечения жидкости могут оказаться достаточно низкими, благодаря чему можно из-

бежать проблем с выносом песка. Однако если необходимо контролировать вынос песка, может быть использована добавка, растворимая в воде и препятствующая потере жидкости. Такая добавка используется в буровых растворах; кроме этого могут применяться обычные фильтры или фильтры с предварительным уплотнением, оснащенные тонким растворимым защитным покрытием. Большое внимание следует уделять чистоте жидкости, а также совместимости указанной добавки и распределению частиц по размерам с целью свести к минимуму проникновение твердых веществ в пласт.

Фильтр может, по-видимому, успешно использоваться в зонах длиной до 30 м в зависимости от угла к потоку фильтрации; однако там, где полная набивка вызывает сомнение, должны применяться предварительно уплотненный фильтр или двойной обернутый фильтр, защищенный растворимым покрытием. Рекомендуется использовать конструкцию фильтра с селективной изоляцией, что будет содействовать удалению растворимого покрытия вместе со спиральными трубами.

В настоящее время отсутствуют конкретные рекомендации по лучшим методам размещения гравия. При этом используют обычный солевой раствор или загущенный гелем солевой раствор, имеющий среднюю вязкость 50–100 мПа·с. Скорости движения жидкости в пласт имеют большое значение для определения длины зоны, которая может быть уплотнена.

Такие солевые растворы средней вязкости, по-видимому, позволяют наиболее эфективно контролировать интенсивность движения жидкости с целью обеспечить необходимую набивку в длинных интервалах. Солевой раствор, вязкостью 50–100 мПа·с загущенный ГЭЦ, должен перемещать гравий, если комбинация вязкости и количества растворимых частиц, связанных с фильтрацией, достаточно эффективна. Однако даже минимальный уход жидкости может затруднить полное гравийное уплотнение сверхдлинных интервалов.

Обладающие более низкой вязкостью жидкости фильтруются быстрее и растворяют загущенные гелем жидкости уже в пласте, и интенсивность фильтрации может стать опасной.

Может возникнуть необходимость обсаживания длинных, пологих или горизонтальных стволов в случаях неустойчивого

ствола. Сила тяжести способствует удалению песка из перфорационных отверстий, расположенных на верхней стенке обсадной трубы; однако эта сила ограничивает поток песка из перфорационных отверстий на нижней стенке обсадной трубы.

Очевидно, песок снова попадает в зону перфорации нижней стенки, несмотря на усилия вытеснить его путем циркуляции из ствола.

Результаты испытаний в условиях месторождения, когда были использованы обычные перфораторы, свидетельствуют о том, что гравий находился на 30 см ниже интервала вне обсадной колонны в более длинных зонах по сравнению с короткими зонами. Лучшие результаты могут быть достигнуты благодаря простреливанию и предварительному уплотнению последовательной серии более коротких (15 м) отрезков. После того, как все зоны перфорированы и предварительно уплотнены, гравий вымывают из обсадной трубы и устанавливают обычный фильтр или фильтр с предварительной набивкой. При этом гравий может циркулировать и попадать в кольцевое пространство на участке фильтр-обсадная труба.

Любой фильтр (обычный или с предварительной набивкой), используемый при гравийном уплотнении пологих стволов, должен быть защищен тонким растворимым покрытием, однако это покрытие не должно покрывать всей окружности фильтра, там, где необходима циркуляция жидкости для уплотнения гравийной набивки. Это положение относится к гравийным уплотнениям как в обсаженных скважинах, так и в необсаженных.

Информация, полученная в результате изучения гравийных набивок на моделях наклонно направленных скважин, может быть использована в вертикальных или близких к вертикальным скважинам. Сила тяжести содействует созданию набивки в вертикальных скважинах, однако может не оказать ожидаемого влияния при уплотнении гравия вне обсадной колонны. Обладающие средней вязкостью жидкости и заменители гравия, имеющие низкую плотность, должны содействовать перемещению гравия через перфорационные отверстия и обеспечить плотную набивку по отношению к пласту.

Если вязкость жидкости, уплотняющей гравий, слишком высока, то она не будет фильтроваться достаточно быстро, а

осаждение после уплотнения приведет к образованию пустот в нижней части набивки в заколонном пространстве. Следует уделять особое внимание регулированию вязкости уплотняющих гравий жидкостей в прискважинной зоне, а также удалению остатков породы для контроля за фильтрацией перед закачиванием гравия.

Осаждение гравия после создания набивки в вертикальных скважинах будет сведено к минимуму путем использования высоких концентраций гравия. При наличии длинных интервалов следует использовать технологию двухступенчатого насыпания гравия, а также множественные перфорированные секции или зоны, имеющие резко выраженные различные значения проницаемости. Основным правилом является следующее: один только гравий применяют для уплотнения там, где для буровых растворов используют водную основу, а при применении загущенных гелем соляных буровых растворов – заменители гравия, обладающие низкой плотностью.

Одной из основных проблем, связанных с заполнением гравием, особенно, когда должны быть заполнены участки значительной длины или наклонные участки, является равномерное распределение гравия по всему заполняемому участку, заполнение кольцевого пространства между фильтром и обсадкой колонной в закрепленных скважинах, или между фильтром и стенкой незакрепленной буровой скважины или скважины с увеличенным диаметром. Недостаточное распределение гравия (например, неокончательное заполнение участка, в результате чего в заполнении остались пустоты) часто бывает вызвано потерей жидкости, содержащейся в суспензии, в более проницаемые части участка породы, что в свою очередь, вызывает образование в гравийных (например, песчаных) "мостов" до того, как в кольцевое пространство помещен весь гравий. Эти "мосты" блокируют дальнейшее прохождение потока суспензии по кольцевому пространству, таким образом предотвращая размещение достаточного количества гравия под "мостом" при заполнении сверху вниз или над "мостом" при заполнении снизу вверх.

В патенте США №4945991 описан способ заполнения гравием участка буровой скважины, при котором достигается

хорошее распределение гравия по необходимому участку даже при образовании песчаных "мостов" до того, как туда помещен весь гравий. Согласно этому способу, вдоль внешней поверхности фильтра проложены перфорированные шунты или трубы, соединенные с источником гравийной суспензии, поступающей в кольцевое пространство в буровой скважине рядом с фильтром. Если песчаные "мосты" образовались до того, как помещен весь гравий, суспензия будет течь по трубам и наружу, в кольцевое пространство через отверстия в трубах до окончательного заполнения кольцевого пространства над и/или под "мостом". Подобный способ также описан в патенте США № 5113935.

Другие буры для нисходящих скважин, предназначенные для дробления формации (патент США № 5161618) или обработки формации (патент США №5161613), имеют отдельные трубы или шунты, расположенные внутри корпуса или подобным образом, для доставки особой обрабатывающей или дробящей или дробящей жидкости на определенные уровни внутри буровой скважины. Однако выходные отверстия после завершения особой операции остаются открытыми, что наносить ущерб при осуществлении заполнения гравием. Из патента США №5082052, кл. Е 21 В 43/04, 1992 известен способ заполнения гравием участка буровой скважины, включающий размещение устройства для заполнения гравием в буровой скважине в положение, примыкающее к указанному участку, с образованием в нем между устройством и стенками скважины кольцевого пространства, подачу гравийной суспензии с поверхности и через внутреннее пространство устройства в различных точках внутри кольцевого пространства через множество выходных отверстий, расположенных на определенном расстоянии друг от друга вдоль устройства и закрытие выходных отверстий после распространения суспензии. В этом патенте раскрыто также устройство для заполнения гравием участка буровой скважины, содержащее фильтр, клапанно-выпускной узел, имеющий, по меньшей мере, одно выходное отверстие и клапан, выпускающий поток через выходное отверстие, при открытом положении клапана и блокирующий поток при его закрытом положении, средство для подачи гравийной суспензии к каждому из выходных отверстий в клапанно-выпускном узле количество которых равно,

по меньшей мере, одному, и средство для закрытия указанного клапана. В этом патенте скважинный фильтр имеет множество патрубков или параллельно-соединенных труб, которые устанавливаются на его внешней стороне. Эти трубы имеют множество снабженных клапанами выходных отверстий, расположенных вдоль их длины, по которым гравий может быть доставлен на различные уровни кольцевого пространства скважины вокруг фильтра, в конечном счете, блокирование возникает в кольцевом пространстве до того, как все оно будет заполнено. Трубы, расположенные снаружи фильтра, подвержены повреждению при установке фильтра внутри ствола скважины.

В Мобил Ойл Корпорейшн, Ллойд Г.Д.[59] разработал способ и устройство для заполнения гравием участка буровой скважины. По способу заполнения гравием участка буровой скважины помещают устройство в скважине, примыкающей к заполняемому участку, подают гравийную суспензию с поверхности по промывочной трубе к выходным отверстиям. Выходные отверстия закрывают в момент извлечения промывочной трубы из устройства. Устройство для заполнения гравием участка буровой скважины содержит фильтр, клапанно-выпускной узел с выходным отверстием и клапаном, регулирующим поток, средство для подачи гравийной суспензии к каждому из выходных отверстий. Клапанно-выпускной узел сообщен с фильтром. Устройство выполнено в виде множества соединенных между собой элементов. В каждом элементе содержатся вышеуказанные компоненты. Гравийную суспензию подают через внутреннее пространство элементов. Суспензия двигается по проходу между внутренней и внешней трубами, течет через отверстия в кольцевое пространство к клапанно-выпускному узлу. Узел содержит клапан, цилиндрическое утолщение с радиальными отверстиями для суспензии, кольцевую выемку, скользящую втулку-клапан. Радиальное отверстие сообщено с выходным отверстием при открытом положении клапана. В закрытом положении клапан закрепляется внутренним стопором.

Положительный результате применения технологии Ллойда достигается тем, что клапанно-выпускной узел для

использования в устройстве для заполнения гравием, участка буровой скважины, содержащий клапан, выпускающий поток через выходное отверстие, при открытом положении клапана и блокирующий поток, при его закрытом положении, согласно изобретению, содержит цилиндрическое утолщение, приспособленное для соединения с устройством для заполнения гравием участка буровой скважины и имеющее радиальное выходное отверстие и кольцевую выемку на его внутренней поверхности, втулку-клапан, скользящую внутри выемки и подвижную между открытым и закрытым положениями, при этом втулка-клапан имеет радиальное отверстие, сообщенное с выходным отверстием при открытом положении клапана, и средство для закрепления клапана в закрытом положении.

На рис. 2.53 изображена нижняя часть добывающей и/или нагнетающей скважины *1*. Скважина *1* имеет ствол *2* скважины, проходящий от поверхности (на экране не показана) через неуплотненную и/или дробленную породу *3*. Несмотря на то, что скважина *1* изображена по существу вертикальной и незакрепленной, понятно, что настоящее изобретение может быть применено и в закрепленных скважинах, и/или скважинах с увеличенным диаметром, также как и в горизонтальных и/или наклонных скважинах.

Устройство *4* для заполнения гравием может состоять из всех или части следующих стандартных компонентов: установочного инструмента и переходного приспособления *6*, пакера *7*, переходного утолщения *8*, отсеченного клапана *9,* разрезного соединения *10* и стандартный полой трубы *11* необходимой длины. К нижней части полой трубы *11* присоединено одно или более элементов *12* устройства *4* (показаны три из них), соединенных между собой на расстоянии, по существу соответствующем участкам заполнения. Поскольку все элементы *12* имеют одинаковую конструкцию, только один из них будет описан детально.

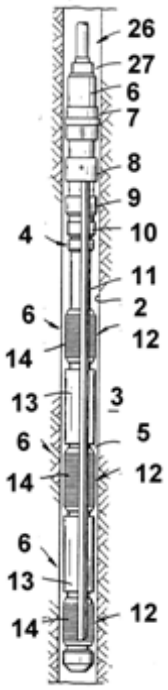


Рис. 2.53. Вертикальный вид с частичным разрезом устройства для заполнения гравием участка буровой скважины, выполненного в соответствии с настоящим изобретением, в рабочем положении внутри буровой скважины

Устройство *4* для заполнения гравием участка буровой скважины *1* опускается в ствол *2* буровой скважины *1* на ее дно и размещается в положение, примыкающее к участку породы *3*, который должен быть заполнен, при этом образуется кольцевое пространство *5* между устройством *4* и стенкой ствола *2* скважины *1*.

Как описано на рис. 2.54–2.56, каждый элемент *12* содержит клапанно-выпускной узел *13* со скользящей втулкой и фильтр *14*.

Клапанно-выпускной узел *13* содержит цилиндрическое утолщение *15*, имеющее в своих стенках одно или более радиальных выходных отверстий (16) для суспензии и кольцевую выемку *17* на его внутренней поверхности. Во внутренней выемке *17* установлена скользящая втулка-клапан *18,* которая, в свою очередь, имеет радиальное отверстие *19,* сообщающееся с выходными от-

верстиями *16* при открытом положении клапана *18* (рис. 2.56, *а*). Скользящая втулка-клапан *18* имеет соответствующие кольцеобразные уплотнения *20*, уплотняющие пространство между внешней поверхностью втулки-клапана *18* и внутренней поверхностью цилиндрического утолщения *15*. Кольцевые уплотнители *21, 22* прикреплены к клапану *18* и размещены по обе стороны от отверстия *19*, образуя кольцевой канал, сообщенный с отверстием *19*.

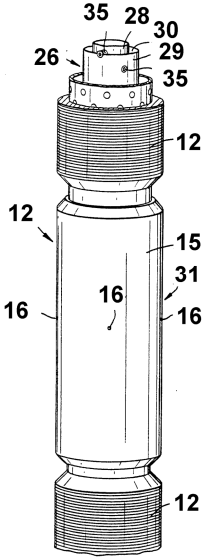


Рис. 2.54. Вид одного из элементов устройства, показанного на рис. 2.50

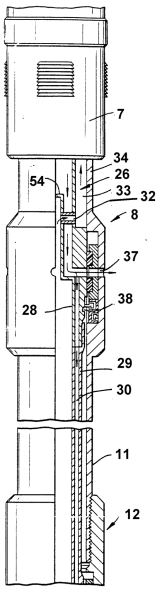


Рис. 2.55.Вид верхней части промывочной трубы устройства

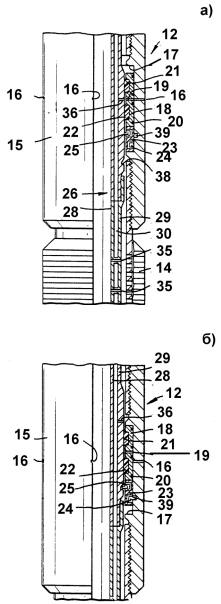


Рис. 2.56. Клапанно-выпускной узел:
а – при открытомположении клапана;
б – в закрытом положении клапана

Внутри выемки *17* под втулкой-клапаном *18* установлено с возможностью скольжения стопорное кольцо *23*, имеющее, в свою очередь, внутренний и внешний подпружиненные стопоры

24, 25 соответственно, предназначение которых будет изложено ниже. Хотя стопорное кольцо *23* описано как отдельная деталь, понятно, что оно может быть составляющей частью втулки-клапана *18*, не выполняющей функций каждой детали.

Имеющая особую конструкцию промывочная труба *26* размещена внутри рабочей колонны *27* и проходит от поверхности через все элементы *12* устройства *4*. Как лучше видно на фигурах *2* и *3*, нижний конец промывочной трубы *26* (например, ее часть, проходящая через элементы *12*) состоит из двух концентрических труб *28, 29* между станками которых образован продольный проход *30*, проходящий через все элементы *12*. Верхний конец внутренней трубы *29* закрыт в точке *31* для того, чтобы направлять поток, направленный вверх, в один или более переходов *32* (на рис. 2.55) показан только один из них), которые сообщены с кольцевым пространством *33*, образованным между промывочной трубой *26* и трубой *34*.

Малые переходные трубы *35* (рис. 2.51 и 2.56, *а*) сообщают внешнее пространство внешней трубы *29* с внутренним пространством внутренней трубы *28* промывочной трубы *26*, формируя переходы для утечки жидкостей, назначение которых будет изложено ниже. Одно или более радиально ориентированных отверстий *36* (рис. 2.56, *а*, 2.56, *б*) проходят через внешнюю трубу *29* на расстоянии друг от друга вдоль трубы *29* так, что каждый канал *36* или несколько радиальных отверстий *36* расположены в ряд и соединяют проход *30* с кольцевым каналом, образованным между уплотнителями *21, 22* на втулке-клапане *18*.

При использовании, устройство *4* опускается в ствол *2* буровой скважины *1* и размещается в положение, примыкающее к породе *3*. Пакер *7* устанавливается в положение, известное специалисту. После этого гравийная суспензия закачивается вниз, в промывочную трубу *26,* при этом большая часть суспензии сначала выходит через отверстие *19* во втулке-клапане *18* и через выходные отверстия *37* и цилиндрическом утолщении *8*. Втулка-клапан *18* в цилиндрическом утолщении в основном имеет аналогичную конструкцию и принцип действия с другими клапанами *18*, описанными выше, относительно элементов *12* устройства.

При движении гравийной суспензии вниз по кольцевому пространству *5* вокруг фильтра, жидкость из суспензии уходит в породу *3* и/или сквозь фильтр *14.* Жидкость, поступающая через фильтр *14*, возвращается на поверхность через переходы *35* (рис. 2.56, *а*), внутреннюю трубу *28*, переходы *32* и кольцевое пространство *33* (рис. 2.55). Гравий, содержащий в суспензии, перемещается и помещается в кольцевом пространстве, формируя гравийное уплотнение. В известных устройства, при потере определенного количества жидкости из суспензии до того, как кольцевое пространство оказывается заполненным, создаются условия для образования песчаного "моста" (на чертеже не показан), который блокирует прохождение потока через кольцевое пространство *5* и предотвращает дальнейшее заполнение ниже "моста". Если это случается при использовании устройства, соответствующего настоящему изобретению, гравийная суспензия может продолжать движение вниз через проход *30* и наружу через соответствующие отверстия *36* во внешней трубе *29* и выходные отверстия *16* в соответствующих цилиндрических утолщениях *15.*

Когда устройство *4* для заполнения гравием опускается в ствол *2* буровой скважины *1* все втулки-клапаны *18* удерживаются в открытом положении (рис. 2.56, *а*) при помощи силы тяжести или срезаемыми шплинтами или чем-то подобным (на чертеже не показаны). В открытом положении радиальное отверстие *19* в соответствующей втулке-клапана *18* находится вровень с выходными отверстиями *16, 37* в цилиндрическом утолщении *15* или переходном утолщении *8* в возможном случае. Отверстие *19* в клапане *18* соединено с кольцевым каналом, образованным между кольцевыми уплотнителями *21, 22* на втулке-клапане *18*, которая, в свою очередь, соединена с отверстиями *36* во внешней трубе *29*.

Соответственно, суспензия, двигаясь вниз по проходу *30* между внутренней и внешней трубами *28, 29,* будет течь через отверстия *36, 19, 16* в кольцевое пространство *5* в соответствующем местоположении клапанно-выпускного узла *13* для

окончательного заполнения. Определенное количество жидкости, поступающее через фильтр *14*, будет течь через переходы *35* (рис. 2.56, *а*) во внутреннюю трубу *29* и возвращаться через переходное утолщение *8* на поверхность.

После заполнения кольцевого пространства *5*, поток суспензии перекрывается, и промывочная труба *26* извлекается на поверхность. Подпружиненный в наружном направлении стопор *25* на кольце *23* захватит уступ *38* (рис. 2.56, *а* и рис. 2.56, *б*) как только промывочная труба *26* пойдет вверх и вынудит стопорное кольцо *23* двигаться вверх, двигая таким образом втулку-клапан *18* в закрытое положение (рис. 2.56, *б*). При достижении клапаном *18* его закрытого положения, внутренний стопор *24* будет отжат во внешнем направлении в выемку *39* и зафиксирует соответствующий клапан *18* в закрытом положении. При дальнейшем движении промывочной трубы *26* вверх внешние стопоры *25* будут срезаны, благодаря чему промывочная труба *26* может быть извлечена на поверхность.

Распределение гравия непосредственно на различных уровнях кольцевого пространства из внутреннего прохода устройства для заполнения гравием обеспечивает лучшее распределение гравия по участкам, что приводит к повышению общей эффективности заполнения, особенно когда должны быть заполнены большие участки буровой скважины. В том же время, проходы, используемые для подачи гравия, защищены от повреждений при маневрировании и установке фильтра для заполнения гравием.

Вынос песка или пескопроявление зависит от прочности пород, горных напряжений, типа добываемых флюидов и изменений дебита, связанного с падением давления или воронкой депрессии. Вынос песка увеличивается при росте темпов отборов, увеличении эффективных напряжений из-за выработки пласта и прорыве воды. Проблемы, связанные с выносом песка, варьируются от необходимости отделения песка в промысловых объектах и его утилизации, до эрозии подземного или устьевого оборудования и потери контроля за работой скважины [60].

Если в результате песко-проявления выходят из строя трубы или компоновка низа ствола скважины, то это может привести к снижению добычи и извлечения запасов или даже потерям в случае неоправданно высоких затрат на зарезку второго ствола или повторного бурения скважины.

Компании-операторы используют различные технологии для снижения выноса песка в добываемых флюидах (рис. 2.57). Контроль за выносом песка включает ограничение дебитов скважин до величин, ниже дебита начала пес-копроявления, уплотнение несцементированных пластов, селективную или направленную перфорацию, создание гравийного фильтра или гидравлический разрыв пласта (ГРП) с последующим созданием фильтра.

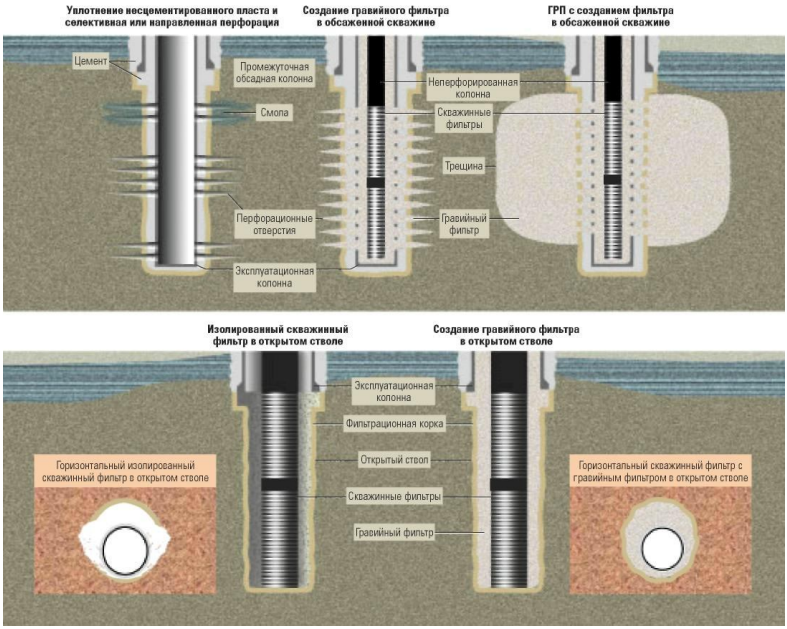


Рис. 2.57. Борьба с выносом песка из пласта

Технология ГРП с созданием фильтра сочетает формирование коротких широких трещин гидроразрыва, или ГРП с выпа-

дением расклинивающего агента (проппанта) в конце трещины, и создание гравийного фильтра. Для борьбы с выносом песка в открытом стволе компании-операторы используют изолированные скважинные фильтры, создают гравийные фильтры, проводят ГРП с созданием фильтра и, в последнее время, используют расширяющиеся фильтры.

Селективная или направленная перфорация позволяет избежать вскрытия несцементированных зон и снизить вынос песка; зацементированная обсадная колонна позволяет надежно перекрыть различные пласты. Создание гравийного фильтра в обсаженной скважине позволяет предотвращать вынос песка в слоистых пластах, низкосортных песках или малорентабельных вертикальных скважинах. ГРП с созданием фильтра сочетает технологию воздействие на пласт и борьбы с выносом песка в многопластовых интервалах или залежах с плохо отсортированными коллекторами и низкой гидропроводностью пласта. В открытых стволах изолированные скважинные фильтры позволяют бороться с выносом песка в «чистых» пластах с крупнозернистыми и хорошо отсортированными коллекторами и в скважинах с небольшим сроком эксплуатации. Гравийные фильтры в открытом стволе или ГРП с созданием фильтра позволяют сохранять продуктивность или приемистость скважин в течение более длительного периода, чем изолированные скважинные фильтры в «грязных» пластах с плохо отсортированными коллекторами, в высокопродуктивных скважинах с большей гидропроводностью и большими извлекаемыми запасами, а также в дорогостоящих, связанных с большим риском бурения глубоководных или подводных скважинах.

Несмотря на успешность применения в прошлом, технология ограничения добычи снижает рентабельность скважины и непрактична с точки зрения сегодняшней экономики, особенно для высокодебитных скважин с высокими капитальными затратами. Уплотнение несцементированных пластов приводит к фиксации зерен породы с помощью закачиваемых в пласт смол или катализаторов, главным образом, через перфорационные от-

верстия в обсадной колонне. Создание блокирующих компонентов с помощью закачки реагентов и закачка отклоняющих агентов на больших интервалах и во всех перфорационных отверстиях является довольно трудной задачей. Селективная и направленная перфорация используется при попытке предотвратить вынос песка за счет обхода слабосцементированных интервалов или выпрямления перфорационных каналов с максимальными горными напряжениями, повышающими устойчивость перфорационных каналов [61].

При использовании широко известного и эффективного метода борьбы с выносом песка для создания гравийного фильтра вокруг механических или металлических фильтров внутри перфорированной обсадной колонны или в открытом стволе закачивается зернистая среда или гравий [62]. Гравий представляет собой чистый, окатанный природный песок или синтетический материал, зерна которого достаточно малы, чтобы предотвратить попадание частиц пласта и некоторых мелкодисперсных частиц из добываемых флюидов, но достаточно велики, чтобы быть зафиксироваными на месте с помощью металлических фильтров. В перфорационные отверстия и межтрубное пространство между скважинными фильтрами и перфорированной обсадной колонной или открытым стволом закачивают гравий и суспензию жидкости-носителя. Гравий осаждается при фильтрации жидкости-носителя в пласт или обратной циркуляции на устье через фильтры.

На некоторых участках и при определенных пластовых условиях изолированные скважинные фильтры могут быть альтернативой созданию гравийного фильтра или ГРП с созданием фильтра. Начальная продуктивность скважин при наличии только скважинного фильтра в конструкции низа обычно хорошая, но мехпримеси, в конце концов, засоряют фильтры. В отличие от них, созданные гравийные фильтры имеют способность сохранять продуктивность скважин и предотвращать вынос песка в течение более продолжительных периодов из-за более высокой устойчивости ствола скважины. Однако многие заканчива-

ния только со скважинными фильтрами не могут предотвратить вынос песка. Другие скважины, законченные без создания гравийного фильтра, полностью не прекращали добычу, но снижали дебит из-за засорения или эрозии изолированных скважинных фильтров.

В результате компании – операторы все чаще используют технологии создания гравийного фильтра для защиты скважинных фильтров и создания лучшего низа конструкции ствола скважины для предотвращения выноса песка. Правильный выбор фракции гравия и создание полного гравийного фильтра в заколонном пространстве позволяют стабилизировать пласты и защитить скважинные фильтры от эрозии и постепенного засорения. Однако, при выполнении стандартных операций по бурению и созданию гравийного фильтра между гравием и пластами или в гравийном фильтре могут остаться остатки бурового раствора и жидкости-носителя, что приведет к снижению проницаемости пласта и гравийного фильтра. Снижение фильтрационных свойств пласта, возникшее в результате заканчивания скважины, приводит к увеличению требуемого давления начала притока или депрессии и снижению продуктивности скважины после создания гравийного фильтра. Это особенно проявляется при использовании дешевых стандартных жидкостей без учета эффективности.

Обсадная колонна или открытый ствол?

Горизонтальное бурение или бурение под большим углом – обычное явление для новых скважин и для скважин со вторым стволом даже в пластах, требующих компоновку низа ствола скважины, которая предотвращает вынос песка. Компоновка низа ствола горизонтальных скважин с обсадной колонной не является стандартной, потому что затруднено цементирование обсадной колонны, затраты на перфорацию высоки и при очистке перфорационных отверстий для создания эффективного гравийного фильтра часто возникают проблемы. Горизонтальные скважины с открытым стволом также менее чувствительны к снижению фильтрационных свойств в ходе бурения и заканчи-

вания скважины из-за значительно большей площади дренирования. Однако горизонтальные участки бурят с использованием специальных буровых жидкостей для вскрытия пласта (БЖП), которые содержат первичные полимеры, повышающие вязкость, связующие реагенты, такие как отсортированный карбонат кальция [$CaCO_3$] или хлорид натрия [NaCl] и добавки (обычно крахмал или другой полимер), модифицированные для борьбы с поглощениями (рис. 2.58) [63].

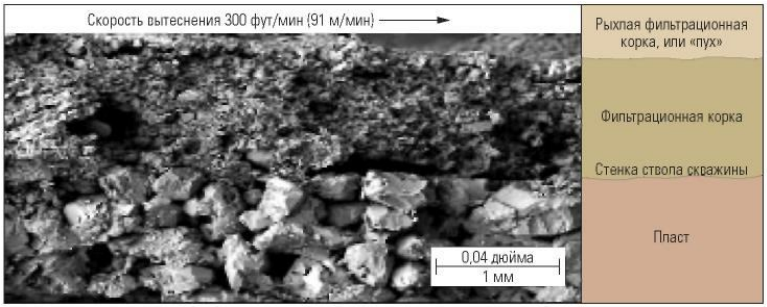


Рис. 2.58. Фильтрационная корка

Правильно составленная и подготовленная буровая жидкость для вскрытия пласта (БЖП) образует тонкую, низкопроницаемую фильтрационную корку на стенках ствола скважины, которая глубоко не проникает в пласт. Для приготовления бурового раствора используют полимеры, повышающие вязкость, связующие реагенты и утяжеляющие добавки, а также добавки для снижения фильтрации, которые изолируют пласт в пределах зоны размером в несколько диаметров зерен коллектора для снижения попадания жидкости первичного вскрытия и частиц в продуктивные интервалы. В качестве утяжеляющих добавок используют базовые солевые растворы, соли, карбонат кальция ($CaCO_3$) и барит. Связующие агенты и добавки для борьбы с поглощениями скапливаются у стенки ствола скважины. При использовании правильно подготовленной БЖП и правильном замещении объемов удаляется несвязанный материал БЖП (или «пух») и уменьшается толщина фильтрационной корки.

При большей площади контакта пласта со стволом скважины повышается продуктивность и приемистость скважин, и снижаются потери давления и скорости фильтрации в пласте. Меньший перепад давления и пониженные скорости фильтрации также минимизируют вынос песка в некоторых пластах. Компании-операторы часто заканчивают горизонтальные скважины открытым стволом для достижения оптимальной продуктивности, поскольку перфорационные отверстия в обсадной колонне и турбулентный режим потока ограничивает продуктивность, особенно в высокодебитных скважинах [64]. Используя гидропроводность пласта (произведение проницаемости на толщину пласта, *k-h,* поделенное на вязкость флюида, μ) – в качестве критерия, компания BP оценила продуктивность обсаженных скважин с использованием ГРП на одной из них и с созданием фильтра по эффективности фильтрации на другой (рис. 2.59) [65].

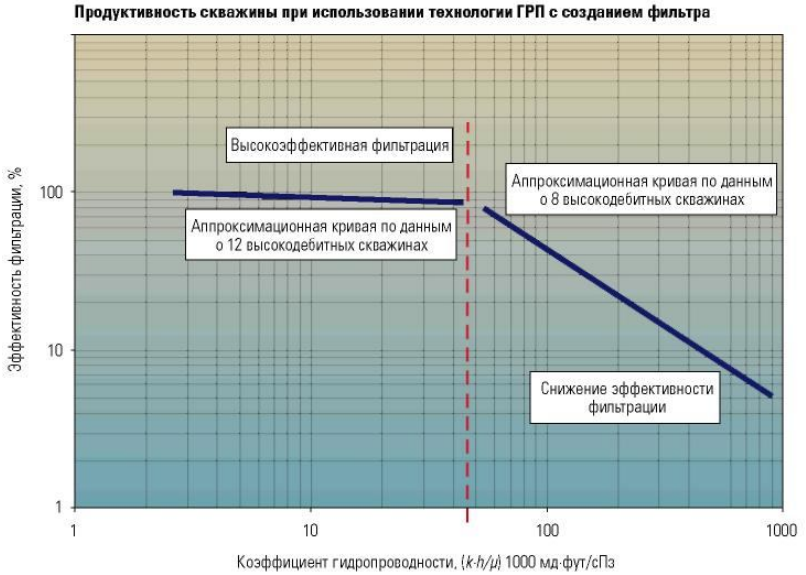


Рис. 2.59. Оценка продуктивность скважин

При увеличении вязкости пластового флюида или снижении проницаемости и коэффициента песчанистости – менее продуктивный пласт, большее содержание илистых частиц и глин – компании-операторы должны прибегать к ГРП с созданием фильтра для воздействия на пласт и ограничения выноса песка в слоистых пластах или многопластовых залежах. При снижении вязкости пластового флюида или увеличении проницаемости и коэффициента песчанистости пласта –более продуктивный пласт, меньшее содержание илистых частиц и глин – использование перфорированной обсадной колонны снижает добычу и эффект от воздействия может быть нейтрализован в результате образования местных сопротивлений в перфорационных каналах.

В высокопроницаемых, высокопродуктивных пластах компаниям-операторам следует рассматривать технологию заканчивания открытым стволом с горизонтальными участками или с участками, имеющими большие углы отклонения, в коллекторе, а также с использованием изолированных скважинных фильтров, созданием гравийных фильтров или установкой расширяющихся фильтров с целью предотвращения выноса песка. С 1997 по 2000 гг. количество операций заканчивания открытым стволом с предотвращением выноса песка возросло почти вдвое. Гравийные фильтры были созданы в 1997–1998 гг. почти в 20% этих скважин, а в 2000 г. – уже в 40%. Согласно прогнозам, эта тенденция будет продолжаться, и в 2003 г. их доля составит 60% [66]. Борьба с выносом песка в длинных горизонтальных открытых стволах требует использования новых технологий, тщательных инженерных расчетов, современного планирования и точного проведения работ.

В 1980–90-х годах изолированные скважинные фильтры были наиболее популярным решением для борьбы с выносом песка в открытых стволах. Создание гравийных фильтров на больших участках считалось технически и экономически невозможным. Компании-операторы устанавливали обычные проволочные фильтры в открытых стволах без создания гравийных фильтров, но, в конце концов, пришли к установке фильтров с предварительной набивкой сетчатого фильтра для повышения эффективности и надежности их работы (рис. 2.60).

Как правило, по причине большей площади притока начальные дебиты скважин с горизонтальными участками, законченными только скважинными фильтрами, выше, а дебиты на единицу длины ствола скважины меньше, чем в вертикальных скважинах. Однако, во многих скважинах с низом, оборудованным только скважинным фильтром, продуктивность падает по мере засорения фильтра мехпримесями из пласта, и, в итоге, дебит падает до нуля по причине выноса песка из эродированных участков скважинного фильтра. Первоначально изолированные скважинные фильтры спускали в скважину при промывке неподготовленным буровым раствором вместо чистой, отфильтрованной жидкости заканчивания. Плохая очистка и подготовка бурового раствора после бурения и перед установкой скважинных фильтров, а также отсутствие операции по удалению фильтрационной корки приводили к тому, что скважинные фильтры засорялись и снижали продуктивность скважин.

Установка скважинных фильтров в открытых стволах эффективна во многих скважинах, но их эффективность и надежность в каждом случае различна [67].

Первоначально количество неудачных заканчиваний со скважинными фильтрами составляло 50–65%, но сократилось почти до 20% с развитием буровых растворов и технологий очистки забоя [68]. В скважинах с реагирующими илами и глинами все еще имеет место большое количество неудачных заканчиваний по причине пескопроявления и снижения продуктивности скважин в результате засорения изолированных скважинных фильтров. В скважинах месторождений Северного моря, низ которых оборудован только скважинными фильтрами, как правило, достигаются запланированные коэффициенты извлечения. Количество неудачных заканчиваний со скважинными фильтрами невелико, но при этом затрачивается лишнее время на ремонт. Однако, некоторые скважины с низом, оборудованным изолированными скважинными фильтрами, дают заниженные дебиты из-за пескопроявления, засорения фильтра и эрозии, но еще не перешли в разряд неудачных заканчиваний.



Рис. 2.60. Скважинные фильтры для борьбы с пескопроявлением производства компании «Ю. Эс. Филтер/Джонсон Скринз»

Компании-операторы и сервисные компании продолжают разрабатывать рекомендации и определять критерии выбора технологий борьбы с пескопроявлением в горизонтальных скважинах с открытым стволом (рис. 2.61). Выбор между индивидуальными скважинными фильтрами и гравийными фильтрами зависит от проницаемости пласта, содержания глин и мелкодисперсных частиц в коллекторе, размера и сортировки зерен в

дополнении к устойчивости ствола скважины и количества алевролитовых и глинистых пропластков, вскрытых в интервале открытого ствола.

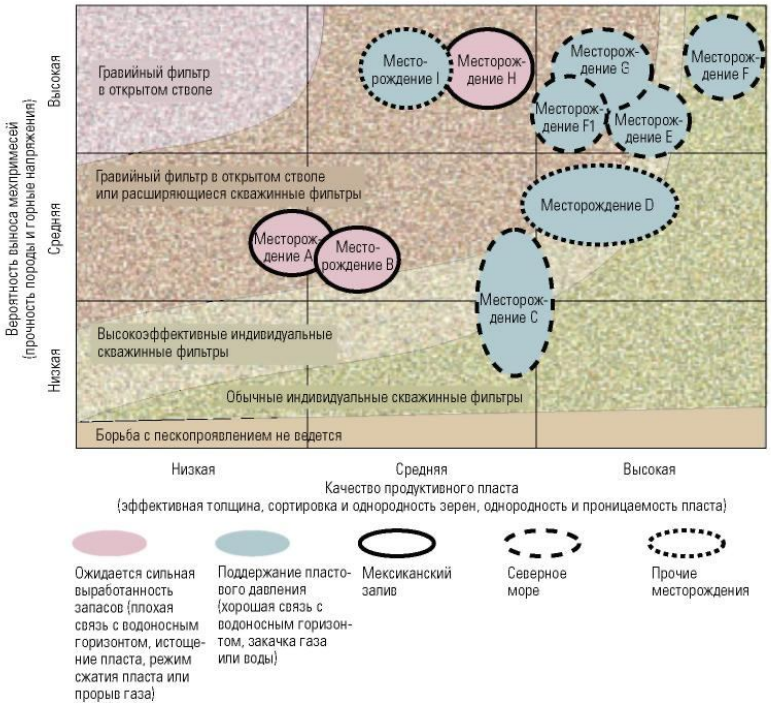


Рис. 2.61. Критерии выбора технологий борьбы с пескопроявлением в горизонтальных скважинах

Большинство горизонтальных скважин на месторождениях Мексиканского залива, законченных с использованием индивидуальных скважинных фильтров, вышли из действия в течение первых трех лет эксплуатации, в то время как средний срок выхода в бездействие скважин месторождений Северного моря, оборудованных скважинными фильтрами, составляет около трех-четырех лет [69]. Если дебиты невысоки и ожидаемый срок эксплуатации скважины составляет два-три года, то индивидуальные скважинные фильтры могут быть хорошим решением для скважин с ограниченными извлекаемыми запасами по при-

чине низких затрат на их установку. В дополнение к прочности и проницаемости породы определяющими факторами при выборе скважинного фильтра и гравия являются отсортированность и однородность зерен, и содержание мелкодисперсных частиц в пласте (табл. 2.6) [70].

Однородность служит показателем вариации размера зерен от большего до маленького. Отсортированность является мерой изменения размера зерен породы от крупно- до мелкозернистого.

Таблица 2.6

Критерии проектирования заканчиваний с использованием индивидуальных скважинных фильтров и намытых гравийных фильтров

Параметры пласта			Тип низа ствола скважины
Коэффициент Отсортированности D_{10}/D_{95}, %	Коэффициент однородности D_{40}/D_{90}, %	Содержание мелкодисперсных частиц (менее 44 мкм), %	
Менее 10	Менее 3	Менее 2	Проволочные скважинные фильтры или скважинные фильтры с предварительной набивкой
Менее 10	Менее 5	Менее 5	Высокоэффективные сетчатые фильтры
Более 10	Более 5	Более 5	Гравийный фильтр в открытом стволе

Если вероятность выноса песка невелика, то индивидуальные скважинные фильтры могут быть использованы в «чистых» (с низким содержанием мелкодисперсных частиц), однородных песчаниках с высоким коэффициентом песчанистости, равномерно отсортированных и крупнозернистых – с медианным размером зерен (D_{50}) более 200 мкм, например, в песчаниках ме-

сторождений Северного моря. Для слабосцементированных средне-зернистых песчаников (медианный размер (D_{50}) около 125 мкм) первичными факторами при выборе являются однородность размеров зерен и содержание мелкодисперсных частиц. Если пласты имеют плохо отсортированные зерна или содержание мелкодисперсных частиц более 5%, то компаниям-операторам следует рассматривать вариант создания гравийного фильтра для борьбы с эрозией при выносе песка и с засорением скважинного фильтра в результате миграции мелкодисперсных частиц.

Слабосцементированные мелкозернистые песчаники, как во многих пластах месторождений Мексиканского залива, как правило, содержат большое количество мелкодисперсных частиц и глин (частиц с размерами менее 44 мкм), что делает применение индивидуальных скважинных фильтров непрактичным. В скважинах с «грязными» (с большим содержанием мелкодисперсных частиц) или неоднородными несцементированными плохо отсортированными мелкозернистыми (медианный размер зерен (D_{50}) около 80 мкм) пластами низкой проницаемости следует намывать гравийные фильтры, поскольку индивидуальные скважинные фильтры не смогут сохранять продуктивность скважин и обеспечивать надежную и длительную защиту от выноса песка. Другим вариантом является технология ГРП с созданием фильтра.

В дорогих высокодебитных скважинах высокозатратные ремонтные работы могут отрицательно сказаться на рентабельности месторождения или экономике всего проекта. В действительности, в большинстве контрактов на поставку газа предусмотрены крупные денежные штрафы за несоблюдение квот на добычу. Для таких дорогостоящих и зависящих от риска скважин, неопределенность и данные по высокому количеству неудачных заканчиваний с использованием индивидуальных скважинных фильтров оправдывает использование намытых гравийных фильтров.

Если пласты не совсем чистые, с хорошо отсортированными зернами, то при подводной добыче и в нагнетательных скважин с возможным пескопроявлением и, в основном, при больших глубинах моря (больше 1000–2000 футов (305–610 м)) сле-

дует использовать технологию заканчивания с намывкой гравийного фильтра, чтобы избежать дорогостоящих ремонтных работ, особенно при больших удельных извлекаемых запасах на скважину. В высокодебитных газовых скважин также необходимо намывать гравийные фильтры, когда пескопроявление и эрозия скважинных фильтров могут поставить под удар безопасность эксплуатации.

Индивидуальные скважинные фильтры могут быть обоснованно использованы в определенных случаях:

- неморские скважины с небольшим срок эксплуатации и однородным смятием ствола скважины, независимо от величины дебит

- малодебитные неморские скважины с сколькими глинистыми или алевролитовы пропластками и частичным смятием ствола скважины или с его отсутствием;

- неморские нагнетательные скважины с большим кольцевым пространством межскважинным фильтром и стволом скважин, которое ограничивает фильтрацию вокруг скважинных фильтров.

Близкая к нерентабельной экономика, ограничения капитальных вложений, возможное ухудшение низа компоновки ствола скважины или снижение продуктивности скважин и потеря изоляции пластов являются причинами неиспользования гравийного фильтра в открытом стволе горизонтальных скважин. Тем не менее, большинство компаний-операторов считают, что создание гравийного фильтра является более эффективной технологией для горизонтальных скважин с открытым стволом в плане снижения аварий по причине пескопроявления и сокращения связанного с этим темпа падения добычи. Скважины с высокими пластовыми давлениями и температурами могут быть исключениями по причине характеристик флюидов и ограничений на совместимость. Такие скважины с высокими пластовыми давлениями и температурами, а также выносом песка в настоящее время представляют проблемы для инженеров по заканчиванию скважин и в настоящее время стоят в центре их внимания.

Намыв гравийного фильтра солевым раствором или применение технологии Alternate Path.

Технология создания гравийных фильтров в открытом стволе возникла после того, как компании-операторы и сервисные компании накопили опыт и стали лучше разбираться в процессе ухудшения низа компоновок ствола скважины и технологии намыва гравийных фильтров в горизонтальных скважинах. Если требуется создать гравийный фильтр, то компании-операторы должны выбирать между двумя опробованными на промыслах технологиями, применяемыми в настоящее время для закан-чивания на длинных участках открытого ствола – намыв гравийного фильтра солевым раствором или технологию Alternate Path.

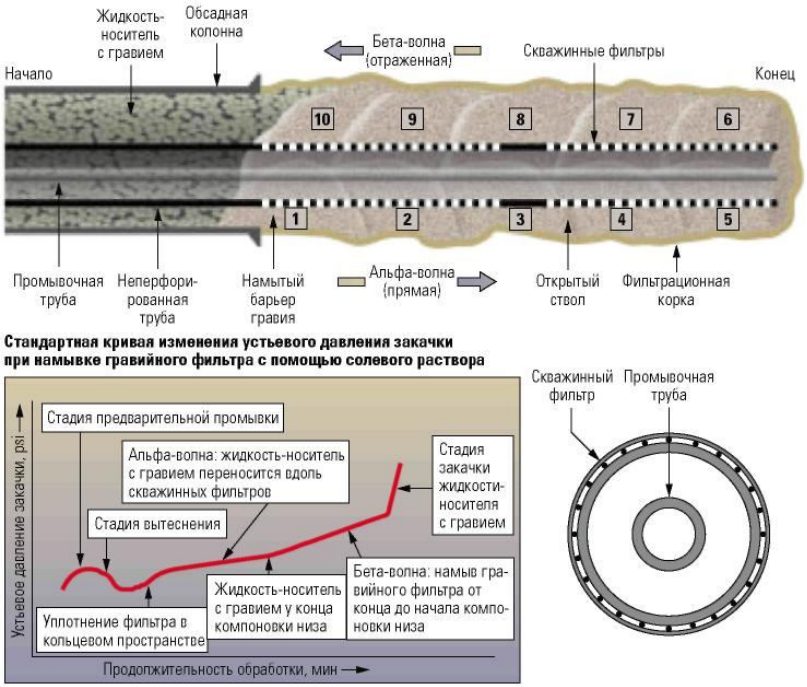


Рис. 2.62. Намыв гравийного фильтра солевым раствором

При намыве гравийного фильтра солевым раствором используется маловязкая жидкость-носитель (обычно солевой раствор) с низкой концентрацией гравия – 0,5–2,0 фунтов проппанта на галлон жидкости-носителя (0,06–0,20 г/см^3) (рис. 2.62) [71].

При намыве гравийного фильтра с использованием маловязких жидкостей, гравий осаждается вокруг скважинных фильтров на нижней стороне кольцевого пространства, в то время как жидкость-носитель с гравием с низкой концентрацией гравия перемещается с турбулентным режимом течения по верхней стороне (рис. 2.62 вверху и внизу справа). Ствол скважины должен быть изолирован с помощью фильтрационной корки БЖП, чтобы сократить поглощение. При установлении циркуляции (жидкость возвращается на устье) гравий перемещается к дальнему концу горизонтального участка компоновки низа в виде альфа-волны (поз. 1–5). Если происходит обезвоживание жидкости-носителя с гравием и прекращается образование намытого фильтра на отдельных участках при одновременном большом поглощении, то гравий заполняет кольцевое пространство и образует перемычку. В результате за ней образуется участок без намытого фильтра. После того, как образовалась перемычка или по достижении гравием конца компоновки низа, намывка фильтра продолжается по направлению к началу горизонтального участка компоновки в виде бета-волны (поз. 6–10). Кривая изменения устьевого давления закачки позволяет следить за ходом работ по созданию гравийного фильтра с помощью солевого раствора (рис. 2.62 внизу слева).

Первоначально образуется набивка на нижней стороне кольцевого пространства до тех пор, пока гравий не достигнет конца низа компоновки или пока гравий не уплотнится и не образует перемычку при большом поглощении жидкости. Гравитационные силы преобладают в этой альфа-волне (прямой), поэтому гравий осаждается подобно перекатываемым ветром дюнам на берегу моря, пока не достигнет равновесной высоты. Если режим течения ниже критического для переноса частиц, то гравий переместится далее по горизонтальному участку по направлению к концу низа компоновки.

После прекращения альфа-волны вторая, или бета-волна, создает набивку в верхней части кольцевого пространства по направлению к началу горизонтального участка от его конца или от перемычки. Для бета-волны требуется достаточная скорость потока, чтобы поддерживать турбулентный режим течения и перемещать гравий вдоль верхней части кольцевого пространства. Эта волна существует до тех пор, пока пространство между набивкой и пластом не становится малым по сравнению с размером частиц гравия. Для предотвращения ухода жидкости в пласт, поддержания равновесной высоты гравия и предотвращения образования гравийной перемычки, приводящей к созданию неполного фильтра, необходимо, чтобы на стенках скважины имелась низкопроницаемая фильтрационная корка. При этом скважинный фильтр можно установить без прихвата, вызванного перепадом давления. При снижении скорости потока в кольцевом пространстве в результате поглощения на участке эрозии фильтрационной корки или при превышении давления разрыва пласта повышается высота гравийного фильтра на нижнем участке ствола скважины и возможно преждевременное образование перемычки и пустот в набивке.

При намыве гравийного фильтра солевым раствором крайне важно иметь цельную фильтрационную корку, хотя при этом в кольцевом пространстве может образоваться неполная набивка, которая может повлиять на успех и надежность заканчивания скважины. По этой причине для вскрытия продуктивных интервалов открытым стволом используют специально разработанные и спроектированные БЖП. БЖП должна сформировать тонкую, низкопроницаемую фильтрационную корку, которая, тем не менее, в состоянии выдержать эрозию при закачке в скважину гравия. Благодаря таким характеристикам фильтрационную корку легче удалить или, по крайней мере, она меньше снижает проницаемость пласта [72].

При необходимости, после намыва гравийного фильтра солевым раствором требуется очищать забой, чтобы получить герметичную фильтрационную корку при намыве гравия. В скважинах с низким коэффициентом песчанистости пласта

пропластки алевролитов и глин, подверженные влиянию жидкостей заканчивания могут быть эродированы и перенесены высокоскоростным потоком в течение длительного периода, что в перспективе снижает конечную проницаемость гравийного фильтра. Использование скважинных фильтров с предварительной набивкой или высокоэффективных сетчатых фильтров для ограничения выноса песка в случае неполного формирования гравийного фильтра в некоторой степени позволяет компенсировать ограничения технологии намыва гравийного фильтра солевым раствором, но, тем не менее, требуется более надежный метод.

Технология Alternate Path предполагает использование отводных трубок с внешней стороны скважинных фильтров, а также высоковязких жидкостей-носителей с высокой концентрацией гравия (4–8 фунтов проппанта на галлон (0,48–0,96 г/см^3)) для создания полного гравийного фильтра ниже перемычек, образующихся между скважинными фильтрами и обсадной колонной или открытым стволом (рис. 2.63) [73]. В отличие от намыва гравийного фильтра солевым раствором при использовании этой технологии не требуется создание герметичной фильтрационной корки на стенке скважины. При образовании перемычки гравия давление в кольцевом пространстве повышается, и жидкость-носитель с гравием поступает в отводные трубки – единственный открытый канал для потока. Отводные трубки создают каналы для жидкости-носителя с гравием, чтобы обойти участок смятого ствола, надувные пакеры или перемычки гравия в кольцевом пространстве в начале интервалов или в прилегающих зонах с большим поглощением жидкости в пласт.

При использовании этой технологии создается полный гравийный фильтр вокруг скважинных фильтров на всем горизонтальном участке скважины. Отводные трубки крепятся снаружи скважинных фильтров и создают каналы для жидкости-носителя с гравием, позволяющие обойти перемычки из гравия и заполнить пустоты кольцевого пространства (рис. 2.63, вверху и внизу справа). Намыв гравийного фильтра с использованием отвод-

ных трубок не зависит от наличия фильтрационной корки, чтобы предотвратить поглощение жидкости. Если в кольцевом пространстве между скважинными фильтрами и открытым стволом создается преждевременный сальник из гравия (поз. 3), то жидкость-носитель с гравием попадает в отводные трубки и намыв гравийного фильтра продолжается по направлению к концу компоновки низа даже без обратного потока жидкости или циркуляции на устье (поз. 4 и 5). Как правило, расход жидкости на насосном агрегате снижается после начала перепуска потока по отводным трубкам, а давление агрегата повышается из-за малого диаметра отводных трубок (рис. 2.63, внизу слева).

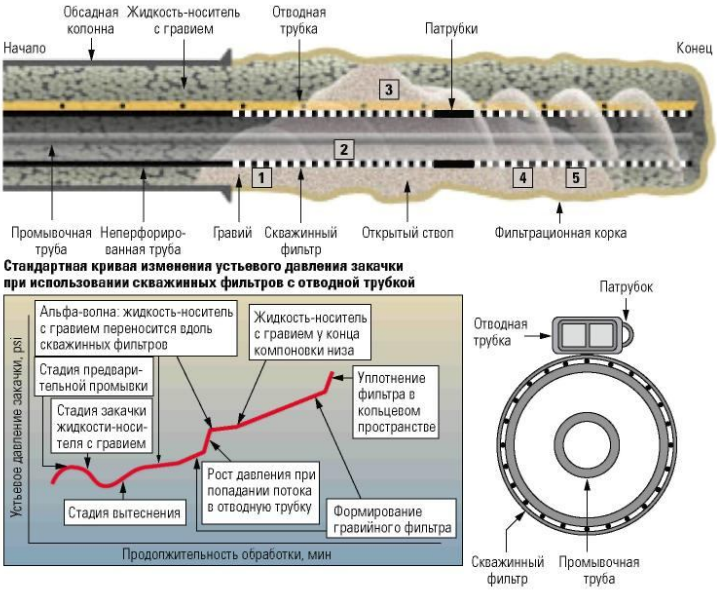


Рис. 2.63. Намыв гравийного фильтра по технологии Alternate Path

Широкомасштабные испытания, моделирующие чрезмерно высокие утечки жидкости в пласт, доказали, что одиночные отводные трубки позволяют создавать гравийные фильтры в горизонтальных интервалах длиной 2000 футов даже без выхода жидкости на устье [74]. Инженеры адаптировали фильтры

Alternate Path для больших горизонтальных участков открытых стволов путем проектирования патрубков и отводных трубок, позволяющих уменьшить скопление гравия внутри самих трубок, за счет использования жидкостей-носителей, не ухудшающих фильтрационные свойства и имеющих хорошую способность транспорта гравия, и за счет установки трубчатых кожухов с просверленными отверстиями вокруг всей компоновки для центрации скважинных фильтров и защиты отводных трубок.

Гравий не так легко загнать в небольшие выходные отверстия, поэтому были разработаны угловые патрубки большого диаметра, которые выступают в поток жидкости и позволяют снизить осаждение и концентрацию гравия внутри отводных трубок. Отводные трубки с отверстиями, или патрубки, являются трубками набивки. Для очень больших интервалов по всей длине компоновок скважинных фильтров крепят транспортные отводные трубки без выходных отверстий, позволяющие ограничить обезвоживание жидкости-носителя с гравием за счет снижения утечек жидкости-носителя в кольцевое пространство и доставки жидкости-носителя с гравием к трубкам набивки с расходом 4–6 барреля/мин (0,6–0,9 $м^3$/мин).

Транспортные отводные трубки соединяются с трубками набивки через манифольд в месте соединения каждой секции скважинного фильтра. Жидкость-носитель с гравием поступает вниз по трубкам набивки или в результате транспорта к трубкам набивки и выходит через износостойкие карбидные патрубки, позволяющие создать набивку в пустотах, образовавшихся за скважинными фильтрами при расходе 0,5–2,0 баррель/мин (0,08–0,3 $м^3$/мин). Неперфорированная труба выше скважинного фильтра также может быть снабжена транспортными трубками, чтобы имелся канал для жидкости-носителя с гравием в случае смятия ствола скважины или образования перемычки гравия в начале интервала.

Моделирование намыва гравийного фильтра

Компьютерные программы являются составной частью проектирования обработок по контролю за выносом песка и позволяют уменьшить объем ремонтных работ и сократить количество неудачных заканчиваний. Моделирование процессов создания гравийных фильтров дает возможность выполнения ана-

лиза чувствительности, используя различные параметры гравийного фильтра (рис. 2.64). Эти моделирующие программы помогают компаниям-операторам рассчитывать интервалы заканчивания, жидкости-носители, концентрации и размеры частиц гравия, темпы закачки, утечки жидкости на забое и выход жидкости на устье. Моделирование также используют для оптимизации компоновок промывочных труб, скважинного фильтра и сервисного инструмента [75].

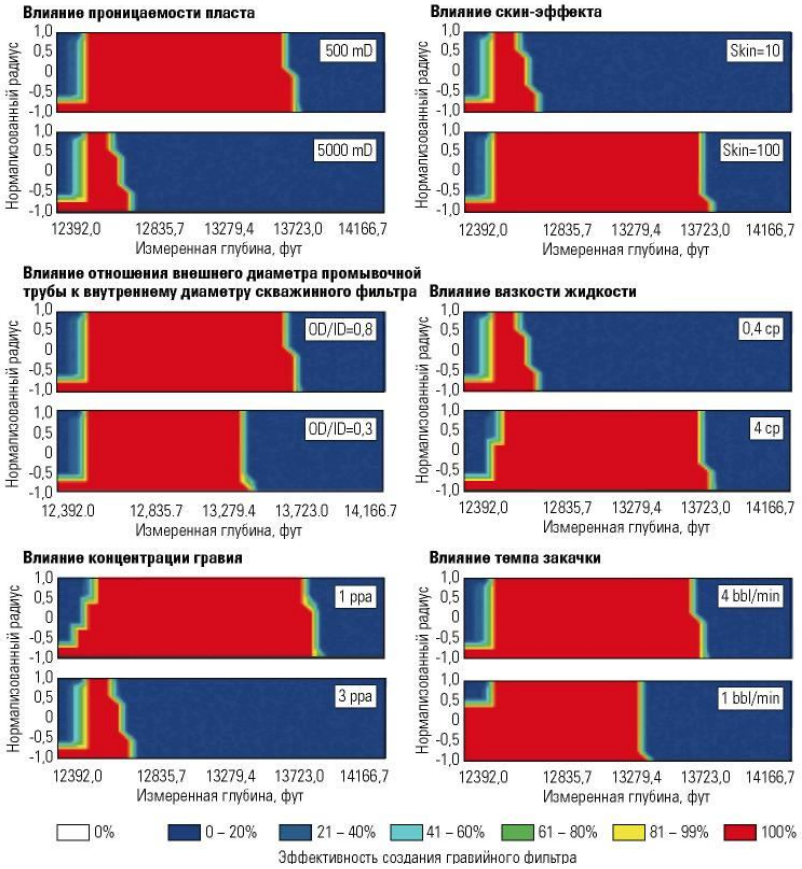


Рис. 2.64. Моделирование намыва гравийного фильтра

Например, программное обеспечение SandCADE имеет шесть модулей (модель намыва гравийного фильтра солевым раствором и с использованием отводных трубок, генератор режима закачки, модель ГРП с созданием фильтра, расчет перемещений колонны насосно-компрессорных труб (НКТ) и гидравлические расчеты для пакера, анализ крутящего момента и затяжек), которые дают необходимую информацию для проектирования,выполнения и оценки работ по намыву гравийного фильтра солевым раствором и с использованием отводных трубок.

Риск образования перемычки гравия повышается с увеличением проницаемости пласта и длины интервала или уменьшением вязкости пластового флюида. Факторы, влияющие на процесс создания гравийного фильтра, такие как характеристики пласта, уход жидкости в пласт, компоновка скважинных фильтров, оборудование для заканчивания и параметры обработки, могут быть смоделированы с помощью компьютерного программного обеспечения. Эффективность создания фильтра уменьшается с ростом проницаемости пласта (рис. 2.64 вверху слева). Низкопроницаемая фильтрационная корка или большой скин-эффект снижает уход жидкости в пласт и повышает эффективность создания гравийного фильтра (рис. 2.64 вверху справа). Жидкость-носитель имеет тенденцию поступать во внутреннее кольцевое пространство, поскольку пространство между промывочной трубой и скважинными фильтрами увеличивается (отношение внешнего диаметра промывочной трубы к внутреннему диаметру скважинного фильтра), что приводит к сниженной эффективности создания гравийного фильтра (рис. 2.64 посредине слева). Несмотря на то, что разница может быть большой, в этом примере она незначительна. Увеличение вязкости жидкости-носителя для снижения ухода ее в пласт позволяет улучшить транспортирующие характеристики жидкости-носителя и эффективность создания фильтра (рис. 2.64 посредине справа). Преждевременное образование перемычки в кольцевом пространстве может произойти при повышении концентрации гравия (рис. 2.64 внизу слева). Эффективность создания гравийного фильтра уменьшается с уменьшением темпа закачки и повышением ухода жидкости в пласт (рис. 2.64 внизу справа).

Расчеты намыва гравийного фильтра основываются на использовании псевдо трехмерной модели скважины, способной моделировать гравийные фильтры в горизонтальных или вертикальных, обсаженных или открытых стволах. Разработана модель на основе похожих концепций для моделирования создания гравийных фильтров с использованием технологии Alternate Path с отводными трубками. Обработки можно проектировать с сервисными инструментами в режиме закачки в пласт или циркуляции. Для случая циркуляции также могут быть смоделированы устьевая задвижка или штуцер, давление и скорость выхода жидкости. Программный модуль закачки использует конкретные рабочие требования и данные, такие как темп закачки, концентрация гравия и параметры разрыва для проведения обработок по созданию гравийных фильтров, позволяя сократить число итераций, необходимых для получения удовлетворительных режимов закачки.

В прошлом ГРП с созданием гравийного фильтра, которые часто не удавались из-за преждевременного выпадения гравия, проектировали только с использованием моделей ГРП, которые не учитывали наличие оборудования заканчивания в скважине – циркуляционные отверстия в пакерах для создания гравийного фильтра, неперфорированную трубу, скважинные фильтры и промывочную трубу. В настоящее время пользователи могут проектировать ГРП с выпадением гравия в конце трещины, а также ГРП с созданием гравийного фильтра, используя недавно разработанную совмещенную модель скважины и трещины [76]. Это модифицированная модель, основанная на псевдотрехмерной модели ГРП, рассчитывает такие параметры, как распределение гравия в трещинах, высоту трещины и двухмерную фильтрацию жидкости в качестве пограничных условий для псевдотрехмерной модели скважины.

Поток жидкости-носителя с гравием моделируется совместно с наклонным стволом скважины, а также процессом осаждения гравия, образования его перемычки вокруг скважинных фильтров и течением потока через скважинные фильтры. Кроме того, модернизированная модель ГРП позволяет проектировать выпадение проппанта в конце трещины в высокопроницаемых пластах. Также можно моделировать выпадение гравия в стволе

скважины путем специального снижения темпа закачки или перемещения сервисных инструментов для циркуляции в конце обработок.

После получения окончательного режима закачки модуль расчета перемещений НКТ позволяет рассчитать потери давления на трение, изгиб колонны, увеличение поперечного сечения, поршневые и тепловые эффекты и позволяет пользователям проектировать герметичные компоновки в пакерах, позволяющие компенсировать возможное перемещение труб. Гидравлический расчет пакера позволяет составить регламенты для безопасного спуска пакеров для создания гравийных фильтров и избежать преждевременного разъединения. Модуль анализа крутящего момента и затяжек позволяет определить, как безопасно спустить компоновку для заканчивания до глубины без прихватов или повреждения элементов компоновки.

Намывка гравийного фильтра солевым раствором в Китае

В мае 2001 г. компания «Шлюмберже» закончила морскую скважину в заливе Бо-Хай, Китай, в которой компания-оператор пробурила ствол скважины $8^1/_2$ дюйма под гравийный фильтр. При бурении горизонтального участка длиной 634 м (2080 футов) не наблюдалось поглощения жидкости. С помощью программы SandCADE было просчитано несколько вариантов с целью оптимизации методики намыва гравийного фильтра солевым раствором (табл. 2.7). Моделирование намыва гравийного фильтра показало, что использование НКТ $3^1/_2$дюйма позволит минимизировать оседание гравия и повысит КПД насосов.

Были смоделированы темпы закачки 3–8 баррелей/мин (0,5–1,25 м^3/мин), чтобы определить эффективность создания фильтра. При темпах закачки *7* и *8* баррелей/мин (1,1 и 1,25 м^3/мин) высокое давление закачки и уход жидкости в пласт привели к образованию перемычки гравия и получению набивки с эффективностью создания 58 и 88%, соответственно. Без ухода жидкости в пласт и при полном выходе жидкости на устье темпы закачки 3–6 баррелей/мин (0,5–0,95 м^3/мин) позволили получить 100%-ную эффективность создания набивки, однако, темп закачки 3 барреля/мин считался слишком низким из-за возможного выпадения гравия в низких местах по профилю горизонтального участка.

Была выбрана технология намыва гравийного фильтра солевым раствором при максимальном темпе закачки 5 баррелей/мин (0,8 м^3/мин) с минимальным риском образования перемычки гравия, что позволило получить полную набивку. Следующим шагом было определение допустимых потерь жидкости путем изменения скин-эффекта или проницаемости пласта вдоль участка открытого ствола с 5 мд и без ухода жидкости до 350 мд и выход жидкости с расходом около 2 баррелей/мин (0,3 м^3/мин). Альфа-волна прекратила существование при расходе выхода жидкости на устье менее 2 баррелей/мин, а выход жидкости с расходом менее 3 баррелей/мин специалисты компании-оператора считали неприемлемым из-за возможных потерь жидкости в результате эрозии фильтрационной корки.

Таблица 2.7

Расчет намыва гравийного фильтра солевым раствором

Темп закачки, баррель/мин	Концентрация гравия, фунт/гал	Общее время закачки, мин	Эффективность создания гравийного фильтра, %	Высота барьера гравия, дюйм	Время начала бетаволны, мин	Давление циркуляции, psi	Устьевое давление, psi
8	0,5	205	68	1,5	28	2625	2863
7	0,5	280	88	2,0	83	2000	2016
6	0,5	369	100	2,8	158	1465	1647
5	0,5	450	100	4,9	254	1020	1151
4	0,5	570	100	5,8	390	650	733
3	0,5	759	100	6,8	536	340	391

Примечание. До намыва гравийного фильтра солевым раствором в горизонтальном участке скважины длиной 634 м (2080 футов) в заливе Бо-Хай, Китай, было выполнено несколько вариантов расчета на модели с целью оптимизации работ. Темп закачки моделировался с приростом в 1 баррель/мин (0,16 м^3/мин) в диапазоне 3–8 баррелей/мин (0,5–1,25 м^3/мин) с постоянной концентрацией гравия 0,5 фунта/галлон. При темпе закачки 7 баррелей/мин (1,1 м^3/мин) и более образуются скопления гравия на стадии альфа-волны, поскольку возникает большой перепад давления между кольцевыми пространствами «открытый ствол-скважинные фильтры» и «скважинные фильтры-промывочная труба». Скопления гравия переходят в перемычку в начале горизонтального участка скважины при увеличении давления на стадии бета-волна. При темпе закачки 6 баррелей/мин имеет место некоторое формирование перемычки гравия. При темпе закачки 3 барреля/мин эффективность создания набивки составляет 100%, но высота

альфа-волны составляет около 80% высоты кольцевого пространства. Закачка темпом 5 баррелей/мин (0,8 $м^3$/мин) позволяет получить полную набивку при высоте альфа-волны в кольцевом пространстве 55%.

Контроль и моделирование крутящих моментов и затяжек при спуске и подъеме бурильной колонны при замене БЖП на жидкости без мехпримесей позволили компании-оператору определить коэффициенты трения в обсадной колонне и открытом стволе. Эти данные были использованы в модуле крутящих моментов и затяжек программы SandCADE для определения горизонтальных пределов для различных рабочих колонн. Этот анализ позволил спрогнозировать возможный продольный изгиб бурильной колонны $3^1/_2$ дюйма при установке скважинных фильтров.

Несмотря на дополнительные меры предосторожности, возникли проблемы, связанные с продольным изгибом бурильной колонны, как и прогнозировалось, при попытке спустить скважинные фильтры на бурильной колонне $3^1/_2$ дюйма, поэтому компоновку скважинных фильтров извлекли и спустили на бурильной колонне 5 дюймов. После спуска бурильной колонны $3^1/_2$ дюйма выполнили работы по технологии намыва гравийного фильтра солевым раствором. Для того. чтобы установить наличие циркуляции профильтрованный солевой раствор качали с темпом закачки 5 барреля/мин, чтобы получить выход жидкости на устье с расходом 4,7 баррелей/мин (0,75 $м^3$/мин) перед намывом гравия с помощью жидкости-носителя с гравием концентрацией 0,5 фунта/галлон. Закачка в течение 11 часов темпом 5 баррелей/мин позволила получить набивку с расчетной эффективностью создания 158 %, исходя из объема ствола скважины с диаметром под шаблон $8^1/_2$ дюйма. Для растворения фильтрационной корки после намыва фильтра забой был очищен.

Создание гравийного фильтра с использованием отводных трубок в Казахстане

Модификации под конкретные задачи и тщательное проектирование позволяет расширить область применения технологии намыва гравийного фильтра Alternate Path до очень длинных горизонтальных участков открытого ствола. Эксплуатируемое компанией «Тексако» месторождение Северные Бузачи в

Западном Казахстане вблизи Каспийского моря, расположено в 300 км (190 миль) к северу от ближайшего города Актау.

В 1999 г. скважина NB4Z была одной из первых горизонтальных скважин, пробуренных в неглубоко залегающем несцементированном песчанике этого месторождения, которое дает относительно вязкую нефть. Гравийную набивку планировалось намыть в проектном 3000-х футовом (914 м) участке открытого ствола диаметром $8^{1}/_{2}$ дюйма, для чего потребовалось бы расчетное количество 85000 фунтов (38560 кг) гравия. Поэтому специалисты компании «Тексако» рассматривали как вариант намыва гравийного фильтра солевым раствором, так и создание гравийного фильтра с использованием отводных трубок (табл. 2.8) [77].

Таблица 2.8

Сравнение технологий намывки гравийного фильтра солевым раствором и создание гравийного фильтра с использованием отводных трубок

Показатель	Намыв гравийного фильтра солевым раствором	Создание гравийного фильтра с использованием отводных трубок
Объем гравия с 20%-ным запасом, фунт-м	102000	102000
Время спуска скважинных фильтров, ч	7	15
Время спуска и подъема промывочной трубы, ч	8	0
Время закачки гравия, ч	15	3
Общее время заканчивания, ч	29	18
Концентрация гравия, фунт на галлон	0,5	6
Объем жидкости-носителя, баррель	4857	405

Примечание. Компания «Тексако» выбрала технологию намыва гравийного фильтра Alternate Path для скважины NB4Z на месторождении Северные Бузачи, Казахстан, поскольку время заканчи-вания и требуемый объем жидкости-носителя были значительно меньше, чем при использовании технологии намывки гравийного фильтра солевым раствором. Для сборки и спуска скважинных фильтров с отводными

трубками требуется дополнительное время, но при этом время закачки сокращается на 80 %, поскольку концентрация гравия при этом намного больше. Общее время заканчива-ния при создании гравийного фильтра с использованием отводных трубок на 30% меньше, чем при намыве гравийного фильтра солевым раствором. Требуемый объем жидкости-носителя составляет 10–20% объема при намыве гравийного фильтра солевым раствором. В данном случае он составлял менее 10 %, что важно дляудаленных районов при ограниченной подаче солевого раствора.

Горизонтальный участок скважины NB4Z был намного длиннее предыдущих заканчиваний на 1100-футовом (335-метровом) участке с созданием гравийного фильтра с использованием отводных трубок, поэтому конструкции скважинных фильтров и режимы закачки были оптимизированы с целью повышения эффективности, сокращения времени установки и достижения больших темпов закачки. Конструкция AllPAC состояла из двух больших транспортных труб, которые разветвлялись на каждую секцию скважинного фильтра, чтобы войти в две трубы набивки (рис. 2.65).

За счет использования такой компоновки удалось на 50% снизить количество соединений отводных трубок и снизить возможное поглощение и обезвоживание жидкости-носителя с гравием вдоль скважинных фильтров.

Скважинные фильтры AllPAC для скважины NB4Z компании «Тексако» состояли из двух больших транспортных труб, которые разветвлялись на каждую секцию скважинного фильтра, чтобы войти в две трубы набивки (рис. 2.65 нижняя вставка). За счет использования такой компоновки удалось на 50% снизить количество соединений отводных трубок и снизить возможное поглощение и обезвоживание жидкости-носителя с гравием вдоль 3000-футового участка открытого ствола.

Гравий закачивали при наличии режима циркуляции – при открытом кольцевом пространстве – и без промывочной трубы внутри скважинных фильтров. Когда гравий поступил к верхнему фильтру, произошло мгновенное обезвоживание жидкости-носителя с гравием, поскольку она прошла через скважинный фильтр, и вверху горизонтального участка образовалась кольцевая перемычка. Жидкость-носитель с гравием пошла по отводным трубкам, и намывка гравийного фильтра продолжалась.

Темп закачки составлял 4 барреля/мин до тех пор, пока влажный гравий не стал причиной проблем при смешивании, и темп закачки пришлось снизить до уровня, приемлемого для работы смесителя. В ходе работ устьевое давление закачки повышалось и было достаточно большим, превышая напряжение разрыва пласта в скважине. Тем не менее, разрыв пласта не произошел из-за потерь давления на трение в отводных трубках.

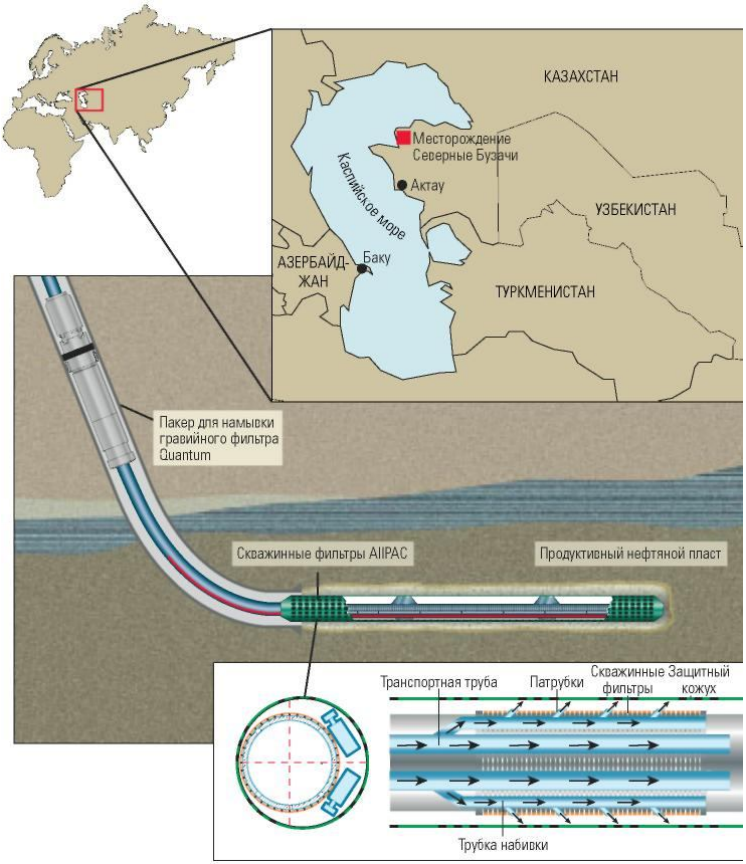


Рис. 2.65. Конструкции для создания гравийного фильтра по технологии Alternate Path в скважине месторождения Северные Бузачи, Казахстан

Технология создания гравийного фильтра с использованием отводных трубок была ключевым моментом успешного создания гравийного фильтра в открытом стволе на очень большом горизонтальном участке в отдаленном регионе. Намыв гравийного фильтра без обурочной трубы позволил сократить время работы буровой, а специальное резьбовое соединение обеспечило необходимую соосность отводных трубок. Из 100 секций скважинных фильтров, 97 были точно выровнены с первого раза. Наращивание фильтра и скорость спуска составляли около 6 секций в час. Полный гравийный фильтр удалось получить за счет намывки на 33% гравия больше, чем теоретический объем кольцевого пространства.

Первоначальный дебит составил всего 34 барреля/сут 5 $м^3$/сут) воды и 1257 баррелей/сут (200 $м^3$/сут) нефти, что было втрое больше дебита другой горизонтальной скважины месторождения, законченной с перфорированным хвостовиком в горизонтальном участке.

Выбор между технологиями намыва гравийного фильтра солевым раствором и создания гравийного фильтра с использованием отводных трубок требует от компании-оператора оценить организационные работы, риски и затраты по каждой технологии. Обе технологии успешно используют при создании гравийного фильтра в скважинах с большими горизонтальными участками открытого ствола. Коэффициент успеха создания полного фильтра на больших участках открытого ствола составляет около 70% при намыве солевым раствором и более 95% при использовании отводных трубок. Успех прежде всего связан с содержанием глин и реактивностью глин с буровыми жидкостями и жидкостями заканчивания, длиной участка ствола в продуктивном пласте и проницаемостью пласта. При использовании технологии намыва с применением скважинныхфильтров Alternate Path фильтрационную корку можно удалять при намыве гравийного фильтра, поскольку не требуется герметичный ствол скважины.

Удаление фильтрационной корки

Засорение гравийного фильтра в процессе добычи в основном зависит от удаления фильтрационной корки БЖП. Решение об удалении фильтрационной корки принимается в зависимости

от типа скважинных фильтров, размера фракции гравия (использование индивидуальных скважинных фильтров или намыв гравийного фильтра) и конструкции скважины (добывающая или нагнетательная скважина). Если требуется очистка забоя, то инженеры должны решить, какие компоненты фильтрационной корки следует удалять. Технологии удаления фильтрационной корки варьируют от открытия скважины и добычи без очистки забоя до агрессивных технологий замещения и многоэтапных обработок химреагентами с использованием колонны гибких НКТ [78,79].

Фильтрационная корка, образованная БЖП, состоит из полимера, раскрепляющих и утяжеляющих добавок, добавок для борьбы с поглощениями и мехпримесей бурового раствора. Для удаления добавок для борьбы с поглощениями (обычно крахмал или иные полимеры) используют кислоты, альфа-амилазные энзимы и окислители. Раскрепляющие добавки, как правило, гранулированный карбонат кальция или хлорид натрия, растворяют, соответственно, с помощью кислот и ненасыщенных солевых растворов. При отсутствии выбуренных мехпримесей лабораторные эксперименты показывают, что влияние фильтрационной корки на продуктивность гравийного фильтра часто незначительна.

Фильтрационную корку удаляют путем образования пор или сдирания при полном открытии скважины, если ствол скважины относительно устойчив. Полное разрушение полимера не требуется. Некоторое снижение прочности геля обычно достаточно для того, чтобы вызвать приток при низких перепадах давления. Однако открытие скважины может представлять проблему, особенно при использовании гравия мелких фракции, скважинных фильтров с предварительной набивкой или высокоэффективных сетчатых фильтров и низких депрессиях.

Для удаления фильтрационной корки, содержащей выбуренные мехпримеси могут потребоваться большие депрессии – более 200 psi (1,38 МПа) для вызова притока, когда фильтрационная корка расположена между гравием и пластом. Кроме того, остаточная проницаемость после открытия скважины может оказаться крайне низкой – менее 1% первоначальной проницаемости пласта [80,81]. Результаты испытаний и промысловые

данные подтверждают, что в большинстве горизонтальных скважин с гравийным фильтром в открытом стволе требуется в той или иной мере очищать забой [82].

Открытие скважины без химического удаления корки эффективно в некоторых скважинах с большими горизонтальными участками открытого ствола, но для этого требуется получение большего объема данных эксплуатационного каротажа, чтобы количественно определить долгосрочное влияние на разработку месторождения. Преждевременный прорыв воды или газа или образование конусов воды на участках образования пор в корке или ее отслоения может сделать скважины нерентабельными до выработки всех извлекаемых запасов. Неравномерное удаление корки связано с такими же рисками.

Энзимы и окислители, действующие только на крахмал и полимеры, или кислоты, растворяющие раскрепляющие агенты $CaCO_3$, разрушающие полимерные гели, позволяют удалить компоненты фильтрационной корки. Поскольку размер фракций крахмала в составах БЖП намного больше, чем у полимеров, то простое удаление крахмала с фильтрационной корки позволяет существенно снизить давление начала притока и нарушение проницаемости. Энзимы и окислители можно использовать на поздней стадии обработки при вытеснении жидкости-носителя с гравием для удаления крахмала и полимеров, но при этом оставить раскрепляющие добавки. Обычные обработки забоя с целью удаления фильтрационной корки в скважинах с намытым гравийным фильтром, как правило, включают одноэтапные операции с окислителем, энзимом и кислотную обработку или двухэтапную операцию по установке ванны энзима или окислителя с последующим использованием кислоты.

До недавнего времени эти обработки выполняли после создания гравийного фильтра с помощью колонны гибких НКТ после спуска колонны НКТ и для этого требовался второй спуско-подъем. Технология MudSOLV использует новые составы для удаления фильтрационной корки, которые объединяют комплексообразующие вещества (КОВ) с энзимом для одновременного, но медленного удаления крахмала и $CaCO_3$, последнее – с целью более равномерной очистки ствола скважины в ходе или после намыва гравийного фильтра (рис. 2.66) [83, 84, 85].



Рис. 2.66. Удаление фильтрационной корки

Результаты исследований показывают, что удаление фильтрационные корки – это время, при котором происходит резкое поглощение жидкости при неравновесной ванне, – с помощью КОВ на порядок медленнее, чем при использовании соляной кислоты, и что время удаления корки можно регулировать путем добавления энзима или вязкоупругого ПАВ (ВУПАВ) для повышения вязкости системы (рис. 2.67). Такое снижение времени реагирования позволяет закачать состав из КОВ и энзима в горизонтальные скважины с большим горизонтальным стволом без формирования зон поглощения в начальных точках контакта, что обычно имеет место при использовании соляной кислоты.

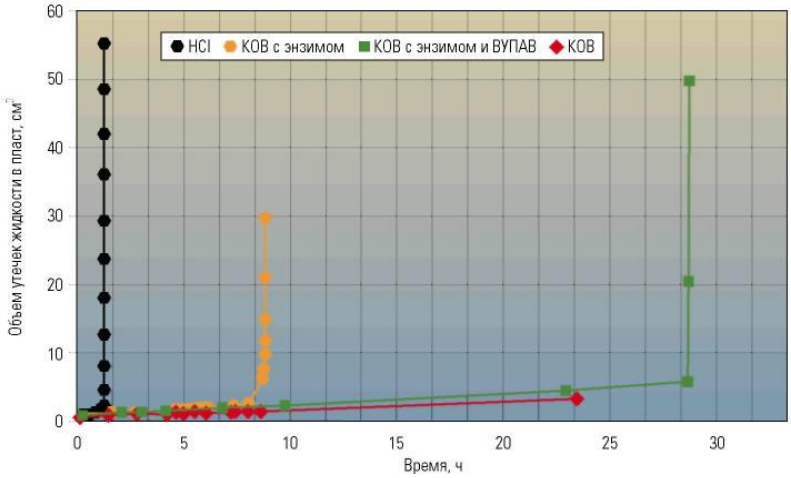


Рис. 2.67. Скорость реакции

Резкий рост поглощения жидкости при неравновесной ванне в лабораторных условиях показывает, что удаление фильтрационной корки с помощью КОВ на порядок медленнее, чем с помощью соляной кислоты. Время реакции для комплексных составов КОВ и энзима измеряется в часах, что позволяет этим составам быть закачанными в большие горизонтальные открытые стволы без образования зон поглощения и больших потерь жидкости в пласт. Время реакции регулируют с помощью КОВ, энзимов и вязкоупругого ПАВ (ВУПАВ). При добавлении ВУПАВ для повышения вязкости или КОВ замедляется скорость реакции. Добавление энзимов ускоряет скорость реакции.

Внедрение в пласт мехпримесей при удалении фильтрационной корки, естественный риск при проведении двухэтапного воздействия с использованием энзима или окислителей с последующей закачкой кислоты удается минимизировать или устранить за счет использования равновесных ванн из составов КОВ. Такой новый подход позволяет избежать проблем, связанных с формированием осадка и совместимостью жидкостей, которые встречаются при контакте сильных кислот с некоторыми пластовыми нефтями, а также проблемы работы с кислотами в морских условиях. Другим важным моментом является коррозия скважинных фильтров при длительных ваннах химреагентов. Исследование воздействия соляной кислоты и КОВ на металлические скважинные фильтры показывает, что скорости коррозии для КОВ намного меньше, чем для соляной кислоты (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Скорости коррозии

Материал скважинного фильтра	Скорость коррозии, фунт-м/кв.фунт	
	7,5% HCl с 1% ингибитором коррозии	КОВ с 0,2% ингибитора коррозии
Углеродистая сталь J-55	0,0110	0,0037
Хромсодержащая сталь 13	0,0130	0,0001
Сталь 316-L	0,0580	0,0007
Размер отверстий фильтра, мкм		
Перед воздействием	150	150
После воздействия	250	150

В прошлом обработки по удалению фильтрационной корки проводили после установкискважинных фильтров и намыва гравийного фильтра, независимо от использовавшегося метода намыва. Такой подход состоял в подъеме рабочей колонны – НКТ и промывочной трубы – и последующем спускоподъеме для вытеснения жидкости-носителя из скважинных фильтров и закачки химреагентов, которые действуют только на отдельные компоненты фильтрационной корки.

Этот процесс требует много времени и средств, когда необходимо устанавливать ванны из энзимов или окислителей на длительное время для реагирования с крахмалом и полимерами фильтрационной корки. Причиной применения такого метода была неспособность установить циркуляцию после создания гравийного фильтра при использовании обычных скважинных компоновок. Кроме того, если низкопроницаемая фильтрационная корка не была нарушена, то закачивание состава разрушающего агента по рабочей колонне и непосредственно на участок открытого ствола, или закачка под давлением может быть трудно осуществимым и привести к неэффективному, неравномерному удалению фильтрационной корки.

Простая, низкозатратная механическая модификация компоновки позволяет создать циркуляционный канал вниз по рабочей колонне и промывочной трубе, назад по кольцевому пространству между обурочной трубой и сква-жинными фильтрами и вверх до устья через затрубное пространство между рабочей и обсадной колоннами. В новом сервисном инструменте MudSOLV используется промывочная труба внутри скважинных инструментов для закачки медленнореагирующего раствора разрушающего агента для удаления фильтрационной корки непосредственно после намыва гравийного фильтра (рис. 2.68). Медленнореагирующие разрушающие агенты, такие как окислители, энзимы или энзимы, в сочетании с КОВ, можно закачивать в горизонтальные участки без значительных потерь циркуляции для более равномерного удаления фильтрационной корки за гораздо меньшее время, чем при очистке забоя с помощью колонны гибких НКТ.

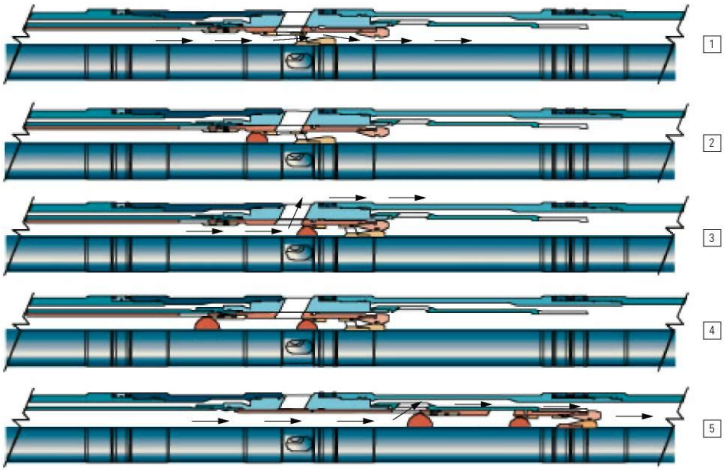


Рис. 2.68. Сервисный инструмент для циркуляции или создания фильтров под давлением и последующей очисткой забоя:
1 – спуск компоновки в скважину; 2 – сброс малого шара; 3 – повышение давления для открытия циркуляционных отверстий для создания гравийного фильтра; 4 – сброс большого шара; 5 – повышение давления для отключения циркуляционных отверстий для создания гравийного фильтра и активации циркуляционных отверстий для промывки

Такая модификация инструмента позволяет закачивать химреагенты в зону индивидуальных скважинных фильтров или гравийного фильтра для последующей ванны, закачки или циркуляции, избегая необходимости использовать работы по очистке забоя с использованием гибкой колонны НКТ. Еще одним применением является вытеснение из скважинных фильтров солевым раствором после использования кислот в жидкостях-носителях для удаления фильтрационной корки.

Такой подход позволяет избежать использования колонны гибких НКТ и позволяет оставлять ванну раствора разрушающего агента на период подготовки скважины к добыче, как правило, на один-два дня, чтобы спустить и поднять колонну НКТ. Скважинные фильтры для борьбы с выносом песка подвергаются длительному воздействию химреагентов и, в зависимости от

состава металла, коррозия может привести к потере целостности барьера выносу песка в течение длительных ванн таких агрессивных жидкостей, как соляная кислота.

На практике удаление фильтрационной корки с помощью медленно реагирующих разрушающих агентов, например, энзимов, возможно при намыве гравийного фильтра солевым раствором, но при этом достоверность целостности фильтрационной корки невысока. Добавление медленно реагирующих разрушающих агентов на стадии расчетной бета-волны в некоторой степени это компенсирует, но полностью не снимает риск поглощения и преждевременного образования перемычек. Возможно удаление фильтрационной корки в процессе намыва гравийного фильтра, но, как правило, очистка забоя проводилась после этого, что объяснялось несколькими причинами.

Во-первых, намыв гравийного фильтра солевым раствором зависит от того, что соответствующая фильтрационная корка создаст критическую скорость жидкости-носителя с гравием для переноса гравия и предотвратит остановку альфа-волн из-за поглощения жидкости в пласт и обезвоживания жидкости-носителя с гравием. Поэтому удаление фильтрационной корки до намыва фильтра солевым раствором неэффективно [86]. Во-вторых, соскребание и абразивное воздействие жидкости-носителя с гравием при турбулентном режиме течения выше критической скорости может привести к эрозии фильтрационной корки и увеличению ухода жидкости в пласт [87, 88]. Исследования показывают, что время растворения фильтрационной корки значительно сокращается при уменьшении толщины корки, и значительно меньше, чем время, необходимое для намыва гравийного фильтра на очень больших горизонтальных участках. И, в конце концов, жидкости ВУПАВ, гелированные в растворах энзимов, КОВ или оба состава для намыва гравийного фильтра с использованием отводных трубок и одновременного удаления фильтрационной корки были разработаны и применены в промысловых условиях сравнительно недавно.

Намыв гравийного фильтра с использованием отводных трубок не зависит от внешних условий фильтрационной корки, что позволяет комбинировать медленно реагирующие разру-

шающие агенты с жидкостями-носителями для намыва фильтра и удаления фильтрационной корки за один шаг. Разрушающие агенты можно выбрать под отдельные компоненты фильтрационной корки без влияния на свойства жидкости-носителя. Одновременное удаление корки и намыв гравийного фильтра при использовании отводных трубок позволяет разрушающему агенту контактировать по всему кольцевому пространству и во всем гравийном фильтре.

По сравнению с обычными технологиями очистки забоя одновременный намыв гравийного фильтра и удаление фильтрационной корки повышает продуктивность из горизонтальных участков с гравийным фильтром и минимизирует риск прорыва воды или газа или образование конуса воды (рис. 2.69). Такой подход позволяет снизить затраты за счет снижения требуемых объемов жидкости и отказа от очистки забоя с помощью колонны гибких НКТ.

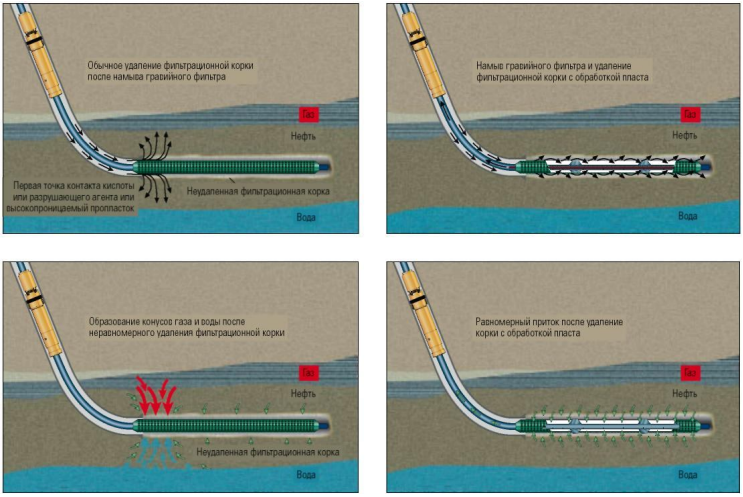


Рис. 2.69. Одновременное удаление фильтрационной корки

При закачке агрессивных химреагентов, таких как соляная кислота, непосредственно вниз по колонне НКТ, как правило, удаляется фильтрационная корка в месте первого контакта, что приводит к преимущественному уходу жидкости в пласт в этом

месте (рис. 2.69 вверху слева). Местное удаление фильтрационной корки оставляет большую часть ствола скважины без обработки и с неразрушенной фильтрационной коркой. Результирующая меньшая площадь притока может стать причиной прорыва воды и газа или образования конусов воды (рис. 2.69 внизу слева). Закачка разрушающего агента на участок скважинных фильтров с помощью колонны гибких НКТ более эффективно, но также требует дополнительных объемов жидкости и затрат по сравнению с намывом гравийного фильтра и удалением фильтрационной корки за один шаг. Использование инструмента MudSOLV для намыва гравийного фильтра и удаления корки при использовании скважинных фильтров Alternate Path позволяет использовать менее агрессивные или медленно реагирующие реагенты, контактирующие с фильтрационной коркой по всему кольцевому пространству и по всему стволу скважины (рис. 2.69 вверху справа). В результате, процесс удаления корки менее дорог, давления начала притока и депрессия на пласт снижена, а приток на горизонтальном участке открытого ствола более равномерен (рис. 2.69 внизу справа).

Одноэтапный намыв гравийного фильтра и удаление корки

В 1999 г. компании «Репсол-Ю-Пи-Эф» и «Шлюмберже» проанализировали технологии строительства скважин и данные добычи для месторождения Уидури в Яванском море, около о-ва Суматра, Индонезия [89]. Задача состояла в оптимизации компоновок заканчивания в пласте талангакар, который сложен несцементированными среднезернистыми высокопроницаемыми речными отложениями с выносом песка. Это месторождение разрабатывалось вертикальными и наклонно-направленными скважинами до 1996 г., до того, как была пробурена первая горизонтальная скважина и закончена с индивидуальными высокоэффективными проволочными фильтрами.

В 1997 г. впервые был использован намыв гравийного фильтра солевым раствором в открытых стволах, при этом концентрация гравия составляла 0,5–1,0 фунт/галлон (0,12 г/см^3). Эффективность создания гравийного фильтра – зависимость объема закачанного гравия от расчетного объема ствола сква-

жины –составила 71%, но по ряду работ была получена 100%-ная эффективность. С тех пор было пробурено и закончено более 60 горизонтальных скважин с намывом гравийного фильтра солевым раствором. Однако, в некоторых из этих скважин впоследствии наблюдалось пескопроявление и выход из строя ЭЦН. Данные эксплуатационного каротажа и результаты использования скважинного телевизора подтвердили, что при выносе песка эродируются скважинные фильтры и выходят из строя скважинные насосы.

В 1998 г. инженеры компании «Репсол-Ю-Пи-Эф» внедрили ряд усовершенствований технологии намыва гравийного фильтра солевым раствором. Для минимизации ухода жидкости в пласт была использована БЖП с низкопроницаемой фильтрационной коркой. Целостность фильтрационной корки была подтверждена путем установления циркуляции перед намывом гравийного фильтра. После закачки гравия фильтрационную корку удалили химреагентами, закачанными с помощью колонны гибких НКТ. К концу 1999 г. за счет внедрения этих предложений эффективность создания гравийного фильтра повысилась до 89% при одном случае пескопроявления.

Для того, чтобы еще улучшить качество заканчивания, специалисты компании «Шлюмберже» порекомендовали одновременный намыв гравийного фильтра и удаление фильтрационной корки с использованием жидкости-носителя без полимера и мехпримесей MudSOLV с ВУПАВ ClearPAC и скважинными фильтрами с отводными трубками AllPAC (рис. 2.70).

Такая технология позволяет сократить затраты на станок, установку колонны гибких НКТ и жидкость путем отказа от очистки забоя после намыва фильтра. Поскольку при технологии намыва гравийного фильтра Alternate Path получается полный фильтр, то это также может позволить отказаться от использования высокоэффективных сетчатых фильтров как дополнительного средства борьбы с выносом песка.

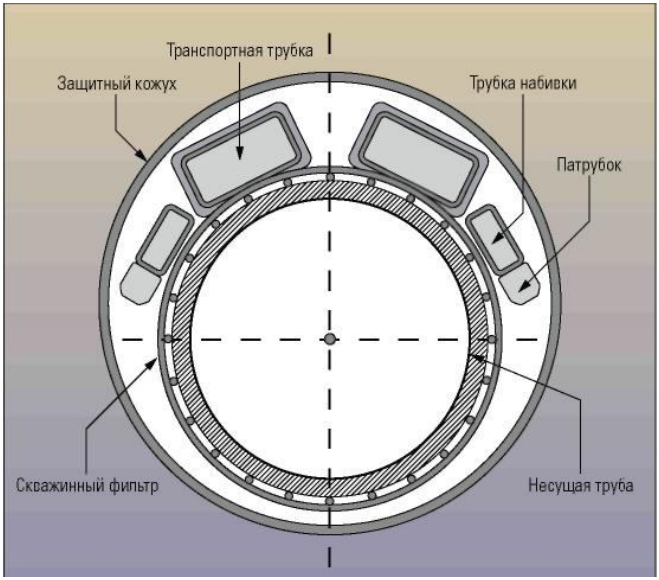


Рис. 2.70. Скважинные фильтры АПРАС в скважинах месторождения Уидури

Компоновка (рис. 2.70) с отводными трубками состоит из проволочных скважинных фильтров *12* сортамента на несущей трубе $4^1/_2$ дюйма с четырьмя отводными трубками и защитным кожухом *7* дюймов. Две отводные трубки использовались как транспортные трубки, а две трубки с карбидными патрубками через каждые 6 футов использовались в качестве трубок набивки. Отводные трубки были расположены эксцентрично вдоль скважинных фильтров для уменьшения наружного диаметра компоновки. Кожух защищает и центрирует скважинные фильтры в открытом стволе, обеспечивая создание гравийного фильтра толщиной не менее 0,8 дюйма (2 см) внутри кожуха на нижней стороне кольцевого пространства.

Окончательный состав равновесного КОВ, энзима и ВУПАВ обеспечивает вязкость, достаточную для переноса гравия, но недостаточно высокую, чтобы вызвать медленную диффузию через фильтрационную корку. При использовании этого состава для удаления корки, образовавшейся на синтетических

кернах проницаемости 1–2 д, с предложенной БЖП позволило сохранить 92% проницаемости.

Одновременный намыв гравия и удаление фильтрационной корки были проведены на скважине Aida-10. Эта скважина, типичная для месторождения Уидури, была пробурена для разработки песчаника толщиной 45 футов (14 м), проницаемостью 2–5 д, пористостью 29 %, содержанием глинистых частиц 5% и со средним размером зерен, в результате чего использовался гравий фракции 20/40 меш. Пласт характеризуется высокой гидропроводностью и сильным водонапорным режимом, что, как правило, приводит к быстрому прорыву воды и обводненности более 90 %. После первичного вскрытия интервала объекта была спущена обсадная колонна $9^5/_8$ дюйма до кровли продуктивного пласта, и бурение было возобновлено. Однако, обсадную колонну плохо зацементировали на участке 100 футов (30 м) выше объекта в скважине Aida-10, оставив необсаженным 60 футов (18 м) интервала угля и глин. Горизонтальный участок длиной 651 футов (198 м) был пробурен на составе из $CaCO_3$, крахмала и полимерной БЖП.

Открытый интервал глин и угля также был причиной использования скважинных фильтров с отводными трубками. Поскольку при использовании отводных трубок намыв фильтра идет от начала к концу интервала, то интервалы угля и глин подвержены воздействию жидкости-носителя только до создания набивки в соседних песчаниках. Это резко отличается от воздействия при намыве гравийного фильтра солевым раствором, когда альфа-волна движется от начала к концу интервала, за которой идет бета-волна от конца к началу интервала. Кроме того, использование отводных трубок позволяет обходить кольцевое пространство открытого ствола в случае обрушения пропластков угля и глин.

Перед закачкой гравия в апреле 2000 г. испытания на циркуляцию при расходе 8 баррелей/мин (1,3 $м^3$/мин) показали полную потерю жидкости при нулевом выходе на устье. Для технологической простоты и для достижения равномерной плотности, жидкость-носитель смешали с гравием в смесителе и закачали с расходом 6 баррелей/мин. Первоначально устьевое давление почти отсутствовало, но после начала вытеснения давление за-

качки возросло до 200 psi (0,14 МПа), что явилось первым признаком на устье, свидетельствующим об образовании перемычки гравия и поступлении потока в отводные трубки. Темп закачки постепенно снизили, поскольку давление продолжало расти. Давление закачки достигло 2300 psi (15,9 МПа) и оставалось на этом уровне в течение нескольких минут, поскольку поток шел по отводным трубкам и заполнял пустоты вокруг скважинных фильтров.

Специалисты компании «Репсол-Ю-Пи-Эф» оценили эффективность этой работы, исходя из эффективности создания фильтра и коэффициента продуктивности, используя данные по 10 скважинам, законченным в том же пласте в течение 1999 г. По этим скважинам эффективность создания фильтра составила 93 %, а коэффициент продуктивности – 97 барре-лей/psi/сут (2,2 $м^3$/кПа/сут). Объем закачанного гравия – 207000 фунтов (9390 кг) превысил теоретический объем кольцевого пространства на 12 %. Основываясь на избыточном объеме гравия и повышенном устьевом давлении, специалисты по заканчиванию сделали вывод, что открытый ствол был полностью заполнен гравийным фильтром. Скважина давала более 13000 баррелей/сут (2070 $м^3$/сут) жидкости при обводненности 40–60 % и без пескопроявления после спуска ЭЦН.

Коэффициент продуктивности скважины Aida-10 составил более 409 баррелей/psi/сут (9,4 $м^3$/кПа/сут), что было значительно больше, чем при предыдущих заканчиваниях с намывом гравийного фильтра солевым раствором на этом же месторождении. Относительно медленный рост обводненности по сравнению с предыдущими заканчиваниями свидетельствует о более равномерной, меньшей депрессии на участке открытого ствола. На сегодняшний день пескопроявления нет, и задача повышения продуктивности скважины была выполнена. Эти результаты показывают, что одноэтапная технология намыва фильтра с использованием отводных труб и удаления фильтрационной корки осуществима без ухудшения продуктивности скважины и не требует наличия требуемой фильтрационной корки и циркуляции для создания гравийного фильтра.

Методика расчета и выбора

Нефтяные и сервисные компании разработали способы и технические ограничения на методы намыва гравийных фильтров, скважинный инструмент и используемые химреагенты. Однако, поскольку число возможных решений велико, то выбор наилучших вариантов создания гравийных фильтров и удаления фильтрационной корки требует экспертизы и мирового промыслового опыта от использования жидкостей для бурения, заканчивания и обработки скважин до проектирования заканчиваний и буровых работ.

Опыт, приобретенный за последние четыре года, является основой для жесткого подхода к выбору методов удаления фильтрационной [90]. В настоящее время создана экспертная система (программное обеспечение CBR), чтобы использовать знания и опыт по созданию гравийных фильтров и выявления приемлемых технологий для конкретных скважинных условий и параметров. Программа CBR позволяет определить рациональное число вариантов удаления фильтрационной корки путем устранения альтернативных вариантов, основанных на установленных технических ограничениях и путем ранжирования оставшихся вариантов по исходным данным экспертов и базам лабораторных и промысловых данных (рис. 2.80).

Системный подход MudSOLV к удалению фильтрационной корки в горизонтальных участках открытого ствола использует экспертную систему CBR и программу прогноза продуктивности скважин наряду с простыми программами расчета объемов и затрат, расположенными в Интернете. Такой процесс MudSOLV является поисковой системой с таблицами сравнения вариантов с базой знаний, в которой имеется две отдельные базы вариантов: одна – для используемых вариантов химреагентов, другая – для инструментов, вариантов создания гравийного фильтра и методик. Проверка совместимости позволяет решить присущие вопросы несовместимости между различными сочетаниями из этих баз вариантов и ранжировать их так, чтобы обеспечить выдачу окончательных рекомендаций. Программа CBR использует базы данных промыслового опыта и результатов лабораторных экспериментов для постоянного обновления базы знаний.

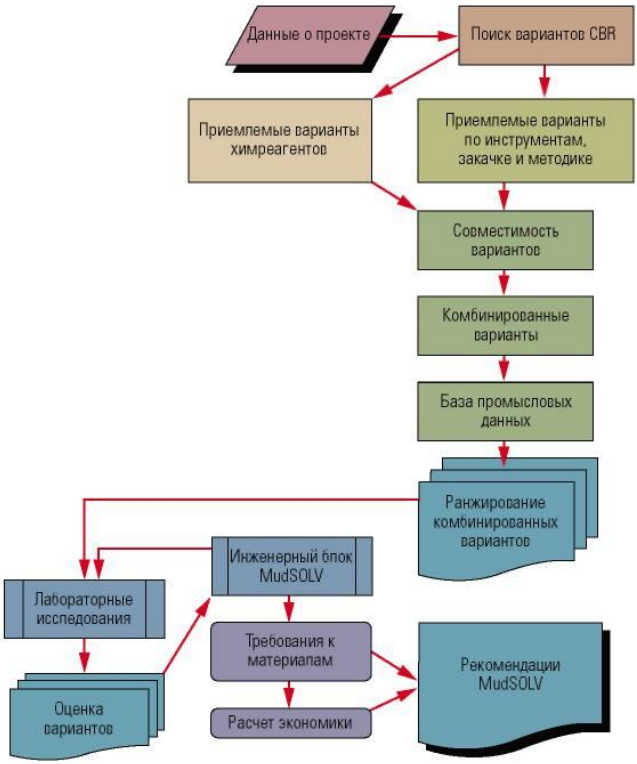


Рис. 2.80. Определение и выбор метода удаления корки

Инженеры отвечают на вопросы «да» или «нет» по конкретным случаям о скважинных характеристиках и условиях, переменных заканчивания, скважинных инструментах и методах удаления фильтрационной корки. Система использует эти ответы для «обоснования совпадения» между конкретной скважиной и вариантами в базе данных программы CBR, ставя дополнительные вопросы для дальнейшего уточнения уровня совпадения или сокращения количества используемых методов удаления корки. Каждый ответ влияет на применение варианта, удаляя некоторые из рассмотрения и продвигая или удаляя другие. Таким образом, скважинные варианты быстро совпадают с минимальным числом возможных вариантов удаления фильтрационной корки, а затем эти варианты ранжируются.

Из-за высокой стоимости удаления фильтрационной корки часто могут требоваться лабораторные эксперименты для принятия решения об использовании только метода открытия скважины или различных химических методов удаления. Для того, чтобы избежать ненужных исследований, задается поиск в базе данных на существующие данные, применимые к трем лучшим решениям. Если данных недостаточно, то проводят дополнительные исследования. Данные по давлению начала притока и остаточной проницаемости заносят в программу узлового анализа NODAL или в более сложные моделирующие программы для расчета дебитов, оценки затрат и прибылей и выявления наиболее технически и экономически обоснованного решения для заданной пары буровой жидкости и жидкости заканчивания.

Создание гравийных фильтров в скважинах Северного моря

Во многих скважинах, эксплуатируемых компанией BP на месторождении Хардинг, Северное море, требуют проведение мероприятий для борьбы с песко-проявлением. Часть пласта состоит из чередующихся пропластков песка и глин с содержанием глин около 40 %. Продуктивные интервалы сложены чистыми, хорошо отсортированными несцементированными песчаниками с проницаемостью 3–4 д, медианным диаметром частиц 250 мкм (D_{50}) и коэффициентом однородности 2 (D_{40}/D_{90}).

Глинистые пропластки сложены сильно реагирующими глинами, имеют толщину от нескольких метров до менее миллиметра. Гранулометрический анализ комбинированного керна песка и глин показывает большое содержание плохо отсортированных мелкодисперсных частиц.

Из-за низкого коэффициента песчанистости и большого содержание мелкодисперсных частиц, специалисты компании BP остановили свой выбор на технологии намыва гравийного фильтра с использованием скважинных фильтров Alternate Path, позволяющей получить полный фильтр. Для того, чтобы намыть гравийный фильтр с использованием отводных трубок, была выбрана бесполимерная жидкость-носитель на основе ВУПАВ, позволяющая снизить ухудшение фильтрационных свойств пласта и уменьшить потери давления на трение.

С помощью экспертной системы CBR была выбрана подготовленная БЖП, неиспользованная БЖП, вязкая жидкость без

мехпримесей и солевой раствор заканчивания в качестве четырех вариантов вытеснения до спуска скважинных фильтров (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Принятие решения экспертной системы CBR для заканчиваний скважин на месторождении Хардинг в Северном море

Вопросы экспертной системы CBR	Ответы
Практично ли подготавливать БЖП на виброситах для предупреждения засорения фильтра или ухудшения фильтрационных свойств?	Да
Планируется ли установить в скважине скважинные фильтры с предварительной набивкой или высокоэффективные сетчатые фильтры?	Нет
Существует ли большой риск повреждения или преждевременной посадки пакера при спуске скважинной компоновки в использованной БЖП?	Нет
Можно ли составить солевой раствор заканчивания достаточной плотности для контроля за скважиной?	Да
Потребуется ли проводить циркуляцию для спуска скважинной компоновки до полной глубины?	Нет
Была ли скважинная компоновка спущена в скважинах этого месторождения на солевом растворе в открытый ствол и были ли при этом разумные потери жидкости после бурения с расчетной БЖП?	Да
Возможно ли при спуске компоновки заканчивания получить большие затяжки, которые не позволят установить компоновку на полной глубине?	Нет
Сможет ли чистая неиспользованная БЖП пройти через компоновку заканчивания без ее засорения?	Да
Можно ли составить вязкую жидкость, совместимую с фильтрационной коркой БЖП?	Да
Можно ли составить вязкую жидкость, совместимую с пластовыми флюидами?	Да
Имеются ли установки для эффективного разрушения и фильтрации вязкой жидкости?	Да
Можно ли составить солевой раствор заканчивания, совместимый с фильтрационной коркой БЖП?	Да
Можно ли составить солевой раствор заканчивания, совместимый с пластовыми флюидами?	Да

Продолжение табл. 2.10

Будет ли возможность закачать жидкости в интервал открытого ствола после установки компоновки заканчивания?	Да
Имеются ли инструменты, позволяющие закачивать или циркулировать жидкости для удаления корки после установки компоновки заканчивания?	Да
Планируется ли намыть в скважине гравийный фильтр?	Да
Планируется ли в качестве жидкости-носителя гравия иметь неводную нефтяную или синтетическую жидкость?	Нет
Планируется ли намыть в скважине гравийный фильтр с использованием вязкой жидкости?	Да
Будет ли интервал открытого ствола пройден расширителем?	Да
Планируется ли в компоновке низа ствола скважины использовать скважинные фильтры с отводными трубками?	Да
Планируется ли намыть в скважине гравийный фильтр солевым раствором?	Нет
Планируется ли иметь открытый ствол, компоновку низа со скважинными фильтрами с отводными трубками или щелевой фильтр?	Нет
Исключено ли использование чистой, вязкой жидкости вытеснения?	Нет
Известен ли состав чистой, вязкой жидкости, которая может быть использована в качестве жидкости вытеснения?	Да
Исключено ли использование солевого раствора заканчивания в качестве жидкости вытеснения?	Нет
Известен ли состав солевого раствора заканчивания, который может быть использован в качестве жидкости вытеснения?	Да
Вывод:	
Перед спуском скважинных фильтров: Вытеснить до 1) подготовленной БЖП или 2) неиспользованной БЖП или 3) вязкой жидкости без мехпримесей или 4) солевого раствора заканчивания.	
Варианты намыва гравия и удаления корки: 1) одновременно или 2) удаление корки после намыва гравийного фильтра.	

Специалисты компании BP исключают использование соляной и органических кислот из-за возможного наличия низких участков в горизонтальных стволах скважин, где возможен застой жидкости с повышением коррозии. Поэтому единственными возможными вариантами химреагентов стали одноэтапное использование энзимов, одноэтапное использование окислителей и комбинированное использование КОВ и энзимов (табл. 2.11). Все три варианта химреагентов применимы для обработок после намыва гравийного фильтра, но для этого требуется использование колонны гибких НКТ, поскольку сервисный инструмент MudSOLV отсутствует для проведения циркуляции сразу же после намыва гравийного фильтра. Затраты на химреагенты были приблизительно одинаковыми для технологий одновременного удаления и удаления корки после намыва гравийного фильтра, поэтому наиболее экономичными вариантами стали варианты с затратами на установку колонны гибких НКТ и затратами на станок при использовании технологии одновременного намыва гравийного фильтра и удаления фильтрационной корки.

После анализа осталось три варианта: открытие скважины и добыча без удаления фильтрационной корки и одновременный намыв гравийного фильтра с удалением корки с помощью только энзима или КОВ и энзима в жидкостиносителе. Лабораторные исследования позволили получить данные по давлениям вызова притока и остаточной проницаемости для этих трех вариантов, которые были использованы в моделях для расчета дебитов (рис. 2.81). Результаты определения добычи были практически одинаковыми, независимо от химической обработки или открытия скважины без удаления корки, но некоторое удаление фильтрационной корки было гарантировано, поскольку приток по горизонтальному участку мог быть неравномерным и привести к образованию конуса воды или газа и снижению срока эксплуатации скважины.

Таблица 2.11

Запросы по химреагентам и удалению фильтрационной корки и возможные варианты из вывода экспертной системы CBR для заканчиваний скважин на месторождении Хардинг в Северном море

Запросы экспертной системы CBR	Ответ
Требуется ли для создания требуемой плотности в качестве жидкости-носителя разрушающего агента использовать двухвалентный солевой раствор (Ca, Mg, Zn)?	Нет
Являются ли раскрепляющие агенты или выбуренные мехпримеси в БЖП в первую очередь $CaCO_3$?	Да
Являются ли раскрепляющие агенты или выбуренные мехпримеси в БЖП в первую очередь гранулированными солями?	Нет
Возможны ли низкие участки на участке заканчивания, в которых могут скопиться разрушающие агенты и оставаться в течение периода более, чем период начала закачки или добычи?	Да
Чувствителен ли пласт по минеральному составу (цеолиты, сидериты, хлориты) к минеральным кислотам?	Нет
Имеется ли несовместимость пластового флюида с соляной кислотой?	Нет
Имеется ли в пласте кальцит (карбонаты), несовместимые с муравьиной кислотой большой концентрации?	Нет
Исключает ли компания-оператор использование соляной кислоты?	Да
Исключает ли компания-оператор использование органических кислоты?	Да
Будет содержать БЖП значительное количество частично гидролизованного полиакриламида?	Нет
Имеет ли песчаник участка открытого ствола карбонатный цемент?	Нет
Могут ли промысловые сооружения (сепараторы и теплообменники) работать с кислотами?	Нет
Будет ли скважина нагнетательной без отработки на нефть?	Нет
Чувствителен ли пласт к ингибитору коррозии кислоты? (если неизвестно, связаться со специалистом)	Нет
Является ли БЖП жидкостью на нефтяной или синтетической основе?	Нет

Продолжение табл.2.11

Равно ли pH жидкости-носителя 3–10?	Да
Имеет ли БЖП в своем составе крахмал?	Да
Имеет ли БЖП в своем составе ксантан?	Да
Имеет ли БЖП в своем составе склероглюкан?	Нет
Имеет ли добываемый сухой газ немного нефтяного конденсата?	Нет
Совместим ли требуемый или необходимый солевой раствор-жидкость-носитель с ВУПАВ?	Да
Имеют ли пластовые флюиды способность образовывать эмульсии с ВУПАВ?	Нет
Можно ли использовать для намыва гравийного фильтра инструмент для циркуляции после намыва фильтра?	Нет
Превышает ли забойная температура 250°F (121°C)?	Нет
Вывод:	
Применимые химреагенты для удаления фильтрационной корки: 1) нет (открытие скважины) или 2) энзим или 3) окислитель или 4) КОВ и энзим	
Методика и состав реагентов для: одновременный намыв гравийного фильтра и удалени корки с помощью 1) ВУПАВ и энзим или 2) ВУПАВЮ КОВ и энзиме фильтрационной	
Методика и состав реагентов для: удаления фильтрационной корки после намыва гравийного фильтра с помощью 1) окислителя или 2) ВУПАВ и энзима или 3) ВУПАВ, КОВ и энзима	
Требование по закачке: установка колонны гибких НКТ	

Примечание. На стадии анализа варианта химреагентов в качестве вариантов предлагаются одноэтапное удаление с помощью энзимов, окислителей и комбинированное из КОВ и энзимов. Несовместимость с ВУПАВ исключает использование окислителей для одновременного намыва гравийного фильтра и удаления фильтрационной корки, оставляя в качестве потенциальных вариантов открытие скважины без очистки забоя, использование одного энзима и комбинированного состава из КОВ и энзима

Расчеты добычи с помощью программы узлового анализа NODAL были практически одинаковыми для открытия скважины (рис. 2.81 зеленая кривая), или химического удаления фильтрационной корки только с использованием энзима (рис. 2.81 фиолетовая кривая) или КОВ с энзимом

(рис. 2.81 голубая кривая) по сравнению с идеальным притоком (рис. 2.81 оранжевая кривая), показывающим, что КОВ может быть и не нужно для удаления раскрепляющих агентов.

Удаление фильтрационной корки	Давление вызова притока, psi	Остаточная проницаемость, %
Без очистки забоя	160	40
Только энзим	4	70
Энзим и КОВ	2	91

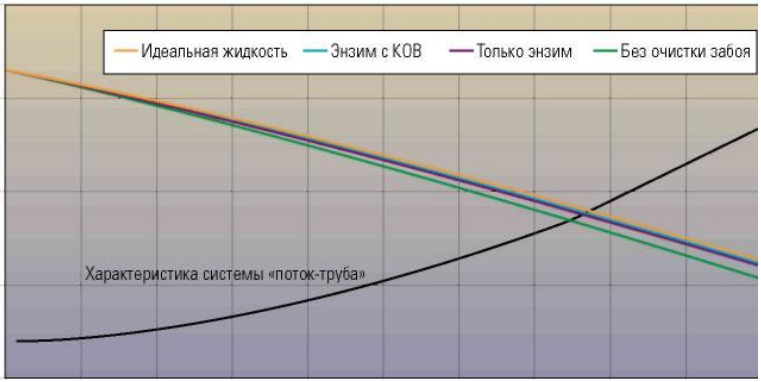


Рис. 2.81. Зависимость давления вызова притока и остаточной проницаемости для заканчивания скважин месторождения Хардинг, Северное море (вверху)

При открытии скважины без удаления фильтрационной корки давление начала притока составляет 160 psi (1,1 МПа), что намного больше, чем предел депрессии в 40 psi (275 кПа), установленный специалистами компании BP. Расчетная депрессия была почти 32 psi (220 кПа) без удаления корки, поэтому прирост затрат от обработки энзимом был оправдан, причем давление начала притока было гарантировано ниже требуемого предела.

После спуска хвостовика $7^{5}/_{8}$ дюйма в первой скважине для использования этой методики было пробурено около 300 футов (91 м) открытого ствола $8^{1}/_{2}$ дюйма с углом наклона 75° на том же синтетическом буровом растворе на нефтяной основе, что был использован для бурения верхних участков ствола скважи-

ны. Эта буровая жидкость была вытеснена БЖП на основе формата калия и натрия, содержавшей полимер, крахмал и $CaCO_3$, а участок открытого ствола был расширен от $8^1/_2$до 10 дюймов (от 22 до 25 см).

БЖП была профильтрована до фракции 63 мкм на вибросите с ситом 230 меш, после чего был спущен проволочный скважинный фильтр с отводными трубками и кожухом с наружным диаметром $4^1/_2$ дюйма и диаметром ячеек 400 мкм (16 сортамент), исключающим засорение фильтра. Инженеры по буровым растворам испытали подготовленную БЖП на тестовом скважинном фильтре в модифицированном приборе для определения ухода жидкости в пласт, чтобы убедиться в отсутствии засорения фильтра.

После спуска скважинных фильтров до полной глубины, из участка открытого ствола вытеснили жидкость фильтрованным солевым раствором NaCl, был посажен верхний пакер, и сервисный инструмент был приведен в положение циркуляции. Гравий закачивался темпом 5 баррелей/мин с жидкостью-носителем на основе ВУПАВ с энзимом для растворения полимеров фильтрационной корки до возникновения перемычки гравия. Когда поток пошел в отводные трубки, темп закачки был снижен до 2 барреля/мин.

Всего за один час было закачано 180 баррелей (28 $м^3$) жидкости-носителя с гравием, что свидетельствовало о полной набивке, если исходить из результатов расчетов по спуску шаблона. При намыве гравийного фильтра солевым раствором с низкой концентрацией гравия потребовалось бы три с половиной часа, и эффективность создания фильтра ставилась бы под сомнение. Компания BP провела серию замеров кривой восстановления давления после намыва гравийного фильтра. Они показали, что механический скин-эффект улучшился с 5,5 до 2,7 за первые восемь недель эксплуатации скважины. Скин-эффект для гравийных фильтров в открытом стволе в глинистом пласте, как правило, составляет около 8, т. е. дебит нефти этой скважины – 7700 баррелей/сут (1224 $м^3$/сут) был на 30% выше среднего по промышленности [91].

Создание гравийного фильтра при давлении выше давления разрыва

При намыве гравийного фильтра солевым раствором избегают разрыва пласта, чтобы сохранять целостность фильтрационной корки и минимизировать потери жидкости в пласт. Тем не менее, закачка жидкости-носителя с гравием при давлении выше давления разрыва пласта подтверждает необходимость использования скважинных фильтров Alternate Path.

Помимо того, что разрушается внешняя и внутренняя фильтрационная корка, которая не удаляется химическими обработками, возможные преимущества состоят в дополнительном воздействии, повышающем продуктивность или приемистость скважины и снижающем возможное засорение, в которых увеличение площади фильтрации позволяет продлить срок эксплуатации скважины.

В отличие от обычного ГРП и ГРП с созданием фильтра, при этом процессе не возникают и не развиваются трещины при закачке набивки жидкости без мехпримесей или гравия предельных концентраций для расширения трещины. Вместо этого при этом процессе требуется, чтобы только давление начала развития трещины было превышено при закачке и намыве гравия. Это простая технология и экономичный способ без сложности стандартных ГРП с созданием фильтра и методов создания многочисленных трещин.

При намыве гравийного фильтра при давлении выше давления разрыва используются вязкие жидкости закачивания в режиме задавливания. Обезвоживание жидкости-носителя с гравием происходит после того, как достигается давление разрыва, и небольшая трещина проникает в фильтрационную корку и пласт. Большой уход жидкости в созданные трещины приводит к быстрому образованию перемычки гравия и формированию набивки по всему сечению. Жидкость-носитель с гравием попадает в транспортные трубки к другому участку открытого ствола, инициируя множество трещин вдоль ствола скважины (рис. 2.82). Если промывочная труба и несущая труба не изолированы, то жидкость-носитель с гравием может обезводиться между скважинными фильтрами и открытым стволом, что позволяет жидкости-носителю уходить в ранее разорванные участки.

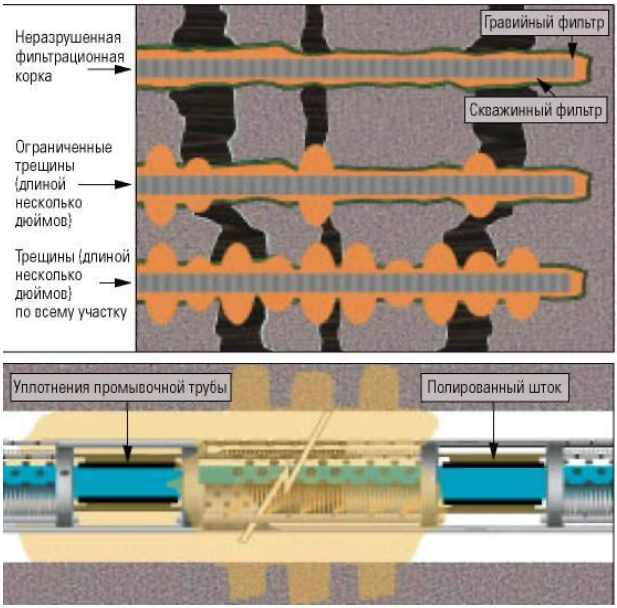


Рис. 2.82. Намыв гравийного фильтра при давлении выше давления разрыва

Два важных компонента компоновки позволяет намывать гравий при давлении выше давления разрыва пласта. Отводные трубки с транспортными трубками и трубками набивки обеспечивают развитие многочисленных трещин вдоль большого горизонтального участка открытого ствола (рис. 2.82 вверху). Для предотвращения ухода жидкости в плат на предварительно разорванных участках и для образования множества трещин на внутренней промывочной трубе устанавливают уплотнения, которые соответствуют полированным штокам в скважинных фильтрах и изолируют кольцевое пространство между обурочной трубой и скважинными фильтрами на отдельных интервалах (рис. 2.82 внизу).

Некоторая степень изоляции между внутренней промывочной трубой и несущей трубой скважинного фильтра на выбранных интервалах препятствует обезвоживанию жидкости-носителя с гравием через скважинные фильтры и уходу жидко-

сти на участки, которые были уже разорваны и в которых образовалась набивка. Такая скважинная компоновка позволяет выполнять селективный намыв гравия в нескольких интервалах и разрыв в других интервалах. Используя изолирующие устройства, компании-операторы в настоящее время могут намыть гравийный пакер у начала интервала в режиме циркуляции и выполнить ГРП с созданием фильтра у конца интервала в режиме задавливания, если это потребуется.

Аналогичный процесс, повторная закачка бурового шлама, позволяет создать множество трещин вокруг точек закачки и демонстрирует обоснованность намыва гравийного фильтра при давлении выше давления разрыва пласта. Закачка гравия при давлении выше давления разрыва была успешной в обсаженных скважинах месторождений Северного моря, Мексиканского залива и Западной Африки, позволяя получить скин-эффекты после намыва фильтра, аналогичные крупным работам по ГРП с созданием фильтра. В пластах с большим забойным давлением эта технология позволяет отказаться от утяжеления базовых жидкостей для контроля за скважиной. При закачке гравия в режиме задавливания в кольцевое пространство не нужно закачивать жидкость, при этом можно использовать любую жидкость-утяжелитель, даже загущенную нефть или солевой раствор низкой плотности.

Компания «Стоун Энерджи Корпорейшн» пробурила новый ствол из скважины В-1 для добычи запасов в восстающих пластах на месторождении в Мексиканском заливе, вдали от побережья шт. Луизиана, США[37]. Из первого ствола скважины В-1 добывали газ из нисходящих песчаных пластов начиная с сентября 1993 г. до февраля 2000 г., когда добыча газа прекратилась по причине большой обводненности. Объект разработки состоит из двух песчаных пластов, разделенных тонкой глинистой перемычкой. Верхний песчаный пласт представлен мелкозернистым песчаником с расчетной проницаемостью 150 мд, водонасыщенностью 60% и эффективной толщиной 6 футов (1,8 м). Нижний пласт представлен чистым крупнозернистым песчаником с проницаемостью 1000 мд, водонасыщенностью 10% и эффективной толщиной 16 футов выше водоносного горизонта.В результате зарезки второго ствола был пробурен

277-футовый (84 м) горизонтальный участок открытого ствола нанижний пласт.

По причине возможного выноса песка и сильного водонапорного режима специалисты компании Стоун Энерджи планировали намыть гравийный фильтр, который позволит минимизировать образования конуса воды и максимизировать коэффициент извлечения запасов без использования установки колонны гибких НКТ для удаления фильтрационной корки или исправительной обработки. Этим задачам подошли одновременный намыв гравийного фильтра и удаление фильтрационной корки с использованием жидкости-носителя MudSOLV и ClearPAC на основе ВУПАВ с КОВ и энзимом для растворения крахмала и $CaCO_3$. Заканчивание с индивидуальными скважинными фильтрами пришлось исключить по причине возможного засорения и эрозии скважинных фильтров после прорыва воды. Компоновка скважинных фильтров AIPAC с одной отводной трубкой позволила снизить риск неполного создания набивки, исключая необходимость использования материалов для борьбы с потерей циркуляции до намыва гравийного фильтра и позволила использовать проволочные скважинные фильтры вместо высокоэффективных сетчатых фильтров (рис. 2.83).

Специалисты компании «Стоун Энерджи Корпорейшн» выбрали одновременный намыв гравийного фильтра и удаление фильтрационной корки вместо использования индивидуальных скважинных фильтров во втором стволе скважины B-1 в Мексиканском заливе, чтобы избежать засорения скважинных фильтров и эрозию при прорыве воды. Специалисты компании-оператора не захотели проводить ГРП с созданием фильтра вблизи ВНК (рис. 2.83 слева), поэтому решили намыть гравий при давлении выше давления разрыва пласта на 277-футовом (84 м) горизонтальном участке открытого ствола с использованием скважинных фильтров AIPAC с одной отводной трубкой для обеспечения проводимости по стенке пласта (рис. 2.83 справа). Использование для намыва гравийного фильтра и одновременного растворения крахмала и $CaCO_3$ жидкости ClearPAC и MudSOLV с КОВ и энзимом позволило эффективно создать гравийный фильтр и равномерный приток, минимизировав образование конуса вода.

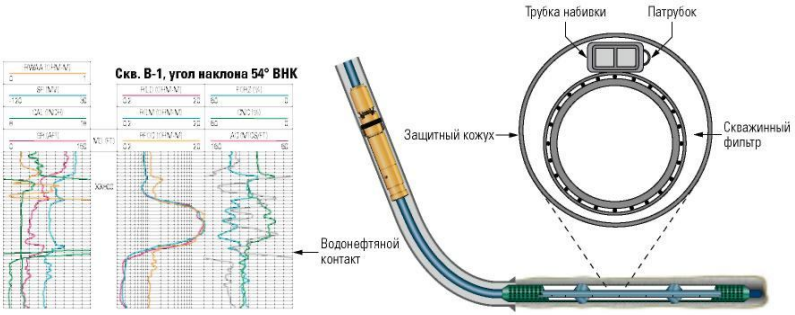


Рис. 2.83. Намыв гравия при давлении выше давления разрыва пласта, Мексиканский залив

Специалисты по заканчиванию скважин не хотели проводить ГРП с созданием фильтра вблизи ВНК, решив намыть гравийный фильтр при давлении выше давления разрыва, чтобы повысить проводимость стенок пласта. При намыве гравийного фильтра с использованием отводных трубок не требуется целостность фильтрационной корки, поэтому гравий был закачан с помощью сервисного инструмента в положении задавливания, чтобы повысить вероятность разрыва пласта при низких темпах закачки.

Закачку проводили с темпом 5 баррелей/мин, ниже пропускной способности в 6 баррелей/мин одной отводной трубки. После закачки 40% жидкости-носителя с гравием устьевое давление возросло до 3400 psi (23 МПа) при образовании перемычки гравия в кольцевом пространстве. В этот момент жидкость-носитель с гравием попала в отводную трубку, давления закачки упало до 2000 psi (14 МПа) и намыв фильтра продолжился.
После закачки 75% гравия работа была закончена при сервисном инструменте в положении циркуляции, чтобы добиться полного создания набивки в начале скважинных фильтров.

Более 150 % объема гравия потребовалось, чтобы заполнить расчетное кольцевое пространство вокруг скважинных фильтров и неперфорированной трубы. Начальный дебит газа составил 15 млн. ст.куб.футов/сут (430000 м^3/сут) с нулевой об-

водненностью. После заканчивания не потребовалось удалять фильтрационную корку. Проницаемость пласта в 1000 мд с нулевым скин-эффектом соответствовала расходам, полученным с помощью узлового анализа NODAL с использованием данных о фактической добыче, что говорит о 100%-ной эффективности потока.

Спустя пять месяцев после заканчивания скважины начала поступать вода и дебит газа начал падать с ростом дебита вода. Спустя 14 месяцев второй ствол скважины В-1 давал 2,5 млн. ст.куб.футов/сут (72000 $м^3$/сут) газа без песка и 2300 баррелей/сут (365 $м^3$/сут) воды, что позволило извлечь 4 трл. куб.фут. (143 млн. $м^3$) газа, большую часть подсчитанных извлекаемых запасов. Равномерное удаление фильтрационной корки позволило обеспечить эффективное дренирование вдоль структурного свода этого пласта.

Буровики часто предпочитают использовать синтетические БЖП на нефтяной основе вместо БЖП на водной основе по причине лучшей смазываемости, более высоких скоростей проходки, большей устойчивости ствола скважины и прекрасной стабилизации глин, особенно в сильно наклонных и горизонтальных скважинах [92, 93]. В дополнении к обширному опыту намыва гравийных фильтров с использованием буровых жидкостей и жидкостей заканчивания на водной основе, инженеры по заканчиванию скважин предпочитают БЖП на водной основе, поскольку у них возникают вопросы об образовании эмульсий или осадка при использовании некоторых составов на нефтяной основе и пластовых нефтей. Кроме того, синтетические жидкости-носители на нефтяной основе, которые бы позволяли контролировать скважинные давления при намыве гравийного фильтра, до недавнего времени не были известны.

При использовании жидкостей-носителей на водной основе требуется, чтобы компании-операторы переходили с БЖП на нефтяной основе на БЖП на водной основе на участках пласта или до начала намыва гравийного фильтра. В открытом стволе такой переход является дорогостоящим, требует замещения, что

иногда неэффективно и требует сложных операций управления жидкостями на буровой. Во многих случаях верхние участки скважин бурят на БЖП на нефтяной основе, а участки продуктивного пласта вскрывают на БЖП на водной основе, что опять требует замещения объемов и жидкостей.

Данные лабораторных и промысловых исследований показывают, что перепады давления для отделения фильтрационной корки буровой жидкости на нефтяной основе и открытого фонтанирования меньше, удаление легче и остаточные проницаемости выше, чем для фильтрационной корки буровой жидкости на водной основе (рис. 2.84). Однако давления отрыва варьируют, когда гравий имеет мелкую фракцию и проницаемость пласта изменяется по стволу скважины. В неоднородных пластах со значительной изменчивостью проницаемости открытое фонтанирование без очистки может привести к возникновению неравномерных профилей притока и преждевременному прорыву воды или газа. Как в случае с фильтрационной коркой буровых жидкостей на водной основе, сочетание химреагентов для удаления корки и жидкостей-носителей вместо открытого фонтанирования еще больше повышает продуктивность, поэтому желательно иметь компоновки для одновременного намыва гравийного фильтра и удаления корки при использовании БЖП на нефтяной основе [94].

Однако раскрепляющие и утяжеляющие агенты в фильтрационной корке БЖП на нефтяной основе покрыты нефтяной фазой, содержащей гидрофобные ПАВ для формирования обратных эмульсий. Это делает частицы $CaCO_3$ практически инертными к кислотам и трудными при удалении. Для решения этой проблемы в настоящее время созданы синтетические БЖП на нефтяной основе, которые инвертируют до прямых эмульсий и делают частицы $CaCO_3$ гидрофильными при воздействии на них модификатором кислотности.

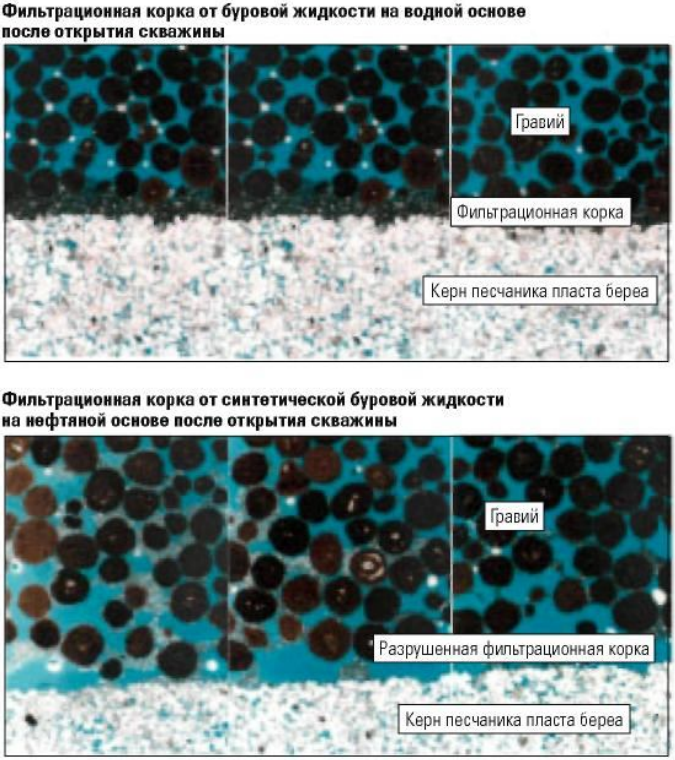


Рис. 2.84. Сравнение удаления фильтрационных корок буровых жидкостей на водной и на нефтяной основе

При наличии особых ПАВ БЖП на нефтяной основе превращаются в обратные эмульсии при определенной pH и в прямые эмульсии при pH ниже определенной величины. Подобно одновременному намыву гравийного фильтра и удаления фильтрационной корки в скважинах,пробуренных на БЖП на водной основе, такая чувствительная к pH химия позволяет исключить отдельный этап очистки забоя.

Как жидкости-носители на водной основе, так и жидкости-носители на нефтяной основе обеспечивают прекрасное удаление фильтрационной корки в скважинах, пробуренных на синте-

тической БЖП на нефтяной основе пока реологические свойства подходят намыву гравийного фильтра при использовании скважинных фильтров с отводными трубками, и водная фаза содержит модификатор кислотности и растворитель раскрепляющего агента. Обратные эмульсии, предпочтительнее с теми же базовой нефтяной фазой и типом солевого раствора во внутренней водной фазе, что и синтетические БЖП на нефтяной основе, являются альтернативой жидкости-носителю. В этом случае внутренняя фаза жидкости-носителя содержит модификатор кислотности и растворитель раскрепляющего агента, например, КОВ или кислоту.

Индивидуальные скважинные фильтры, намыв гравийного фильтра и ГРП с созданием фильтра не являются единственными вариантами стабилизации открытого ствола. Расширяющиеся скважинные фильтры имеют уменьшенный диаметр, который увеличивается до размеров ствола скважины после спуска в открытый ствол, и предлагают некоторые преимущества (рис. 2.85).

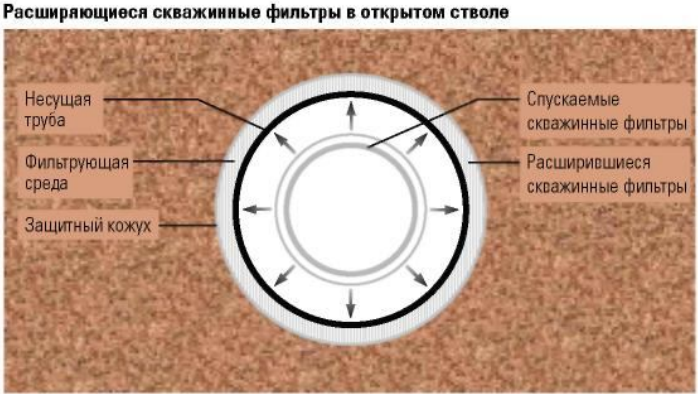


Рис. 2.85. Вид сверху на расширяющиеся скважинные фильтры в открытом стволе

Теория горной механики показывает, что скважинные фильтры создают усилие на стенки ствола скважины, то расширяющиеся скважинные фильтры могут предотвращать вынос песка, поскольку большие усилия сжатия требуются для начала разрушения породы и выноса песка на границе пласт-ствол скважины.

Эти скважинные фильтры позволяют отказаться от намыва гравийного фильтра, сокращают затраты на строительство скважины за счет бурения скважин меньшего диаметра и обеспечения больших внутренних диаметров для проведения ремонтных работ, позволяют получить больший приток и, возможно, лучше изолировать пласты при обычном заканчивании с открытым кольцевым пространством или заполненным гравием. Расширяющиеся скважинные фильтры также позволяют получить экономичный способ борьбы с выносом песка в пластах с высокими пластовыми давлениями и температурами в период начального заканчивания.

Единственная проблема состоит в том, что в результате размыва или увеличения диаметра отверстий или недостаточного расширения может остаться небольшое кольцевое пространство даже после установки скважинного фильтра. Если это кольцевое пространство достаточно большое и имеется на большом непрерывном интервале, то это может снизить эффективность расширяющегося скважинного фильтра до той, что имеют изолированные скважинные фильтры. Необходим расчет скважинного фильтра, который расширяется равномерно и соответствует стволу скважины.

Другая проблема – эффективность удаления фильтрационной корки после расширения фильтра. Однако на сегодняшний день испытания показывают, что скважинные фильтры, вдавленные в фильтрационную корку не препятствуют удалению корки и открытому фонтанированию, если БЖП правильно рассчитаны и жидкости правильно подготовлены. Эту проблему можно решить путем использования медленно реагирующих жидкостей для удаления фильтрационной корки после установки скважинного фильтра.

Длительная работа расширяющихся фильтров в качестве эффективного способа контроля выноса песка еще оценивается. Как лабораторные, так и промысловые исследования позволяют определить пластовые характеристики и пластовые условия, при которых лучше использовать эту технологию. Промысловый опыт применения расширяющихся скважинных фильтров еще ограничен, но количество фактических примеров применения

растет. Компания «Везерфорд», в настоящее время являющиеся единственным поставщиком этого типа скважинных фильтров, сообщает об установки около 23000 футов (7000 м) расширяющихся фильтров в около 25 скважинах по ноябрь 2000 г. [95].

За последние пять лет, работая совместно, компании-операторы и сервисные компании достигли значительных успехов в создании скважинных инструментов, способах намыва гравийных фильтров и химреагентах для буровых жидкостей и жидкостей заканчивания. В результате, существенное развитие получили технологии борьбы с выносом песка при заканчивании открытым стволом – от индивидуальных скважинных фильтров и намыва гравийного фильтра в открытом стволе до одновременного удаления фильтрационной корки, расширяющихся скважинных фильтров и ГРП с созданием фильтра в открытом стволе.

Лучшее понимание областей применения различных методов борьбы с выносом песка, основанное на промысловых результатах, помогает компаниям-операторам добиться оптимальной продуктивности скважин, большого извлечения запасов на скважину и получить надежные компоновки низа ствола скважин с минимальными ремонтными работами. Однако впереди еще крупные вопросы, связанные с увеличением разведки и разработки при больших глубинах моря и подводном заканчивании скважин. Ключом к прогнозу и успешной борьбе с пескопроявлением служит интеграция геологии и петрофизики с дисциплинами физики пласта, бурения и заканчивания скважин, обустройства месторождений, техники и технологии добычи.

2.10. Осложнения и их устранение при созданиигравийно-засыпных фильтров

Основные виды осложнений при создании гравийно-засыпных фильтров и освоении скважин классифицированы Г.П. Квашниным и приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12

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 сводообразующих 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

Продолжение табл. 2.12

	Плохая изоляция кольцевого пространства между надфильтровой 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, «пригруженного» крупнофракционным
Заполнение кольцевого пространства между фильтром и стенками скважины непроницаемыми или малопроницаемыми породами кровли или вышележащих пород	Некачественное цементирование башмака эксплуатационной колонны при потайной конструкции фильтра	Качественное цементирование или изоляция кольцевого пространства над фильтром от вышележащих неустойчивых пород	Способов ликвидации не разработано, поэтому все меры должны быть направлены на предупреждение осложнений
	Отсутствие изоляции кольцевого пространства над фильтром от вышележащих пород при одноколонной конструкции скважин	Создание гравийно-засыпных фильтров	

Продолжение табл. 2.12

Искусственное защемление зон глинизации гравием	Проведение гравийной обсыпки до удаления глинистой корки или зон глинизации со стенок скважины в интервале водоносного горизонта	Вскрытие водоносных горизонтов с промывкой чистой водой Удаление продуктов глинизации со стенок скважины до проведения гравийной обсыпки Применение гравийной обсыпки методом замещения	Методов полного устранения этого вида осложнения не разработано Частично устраняется при воздействии на пласт знакопеременными гидродинамическими импульсами. Поэтому необходимо стремиться к предупреждению этого вида осложнений
1	2	3	4
Защемление зон глинизации в результате заполнения кольцевого пространства между фильтром и стенками скважины, обрушенными породами самого водоносного горизонта	Обрушение пород в интервале водоносного горизонта до удаления со стенок скважины продуктов глинизации	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)	Устранение этого вида осложнений сводится к применению эффективных методов разглинизации, но полному устранению не поддается

Продолжение табл. 2.12

Зависание гравия (образование, пробок)	Заклинивание гравия в сужениях кольцевого пространства при гравийной обсыпке	Применение конструкций фильтров и способов гравийной обсыпки, исключающих зависание гравия в кольцевом пространстве (например, потайные конструкции фильтров, подача гравия через специальные трубы и др.)	Воздействие на трубы и гравий знакопеременными гидродинамическими или вибрационными нагрузками Взрыв ТДШ в интервале зависания гравия Подача гравия в струе промывочной жидкости высоконапорными насосами
Спаривание фильтровой и вспомогательной колонн	Засыпка большой порции гравия в кольцевой зазор в процессе обнажения фильтра	Строгое соблюдение режима засыпки, обеспечивающее столб гравия не более 1,5 - 2 м в кольцевом зазоре	Взрывы торпед ТДШ Вибрационное воздействие
Прорыв пластовых вод по затрубному пространству	Плохое качество цементирования эксплуатационных и промежуточных колонн	Качественное цементирование затрубного пространства	Перфорация эксплуатационной колонны над водоносным горизонтом и цементирование затрубного пространства через специальный пакер

Продолжение табл. 2.12

Открытое фонтанирование скважин	Неграмотное вскрытие водоносных горизонтов самоизливающихся скважин с высоким пластовым давлением	Вскрытие водоносного горизонта с применением промывочной жидкости расчетной плотности	Закачка в скважину промывочной жидкости с повышенным удельным весом Установка на устье скважины арматуры для фонтанирующих скважин
Разрыв сетки или обмоточной проволоки на фильтре	Забивка фильтра при спуске Взрыв торпеды ТДШ без центраторов при освоении. Низкое качество фильтров Извлечение вспомогательной колонны ударами (при ударно - канатном бурении)	Строгое соблюдение технологии спуска труб, фильтров и освоения скважин Проверка крепления обмоточного материала на каркасе фильтра перед спуском	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).

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;

- 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

Глава III. КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ГРАВИЙНО-ОПУСКНЫХ ФИЛЬТРОВ

При бурении глубоких скважин с малым конечным диаметром, а также при вскрытии напорных водоносных горизонтов, самоизливающихся на поверхность земли, создание гравийно-засыпныхфильтров 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 как у нас, так и за рубежом появилось направление по созданию фильтров на дневной поверхности с последующей их транспортировкой по стволу скважины и оборудованию ими водоносных горизонтов.

3.1.Технологии 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. 3.1), собираемых в звенья при помощи анкерных болтов. В других конструкциях корзинки фильтра отливали из бронзы и латуни [11].

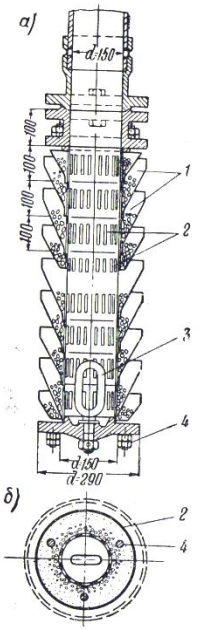


Рис. 3.1. Общий вид корзинчатого фильтра:
а – разрез; б – план;
1 – корзинки чугунные, заполненные гравием;
2 – проходные отверстия;
3 – спусковое кольцо;
4 – анкерные болты

Корзинчатые фильтры, изготовленные из чугуна ибронзы, устойчивы против коррозии, но в то же время эти конструкции не являются универсальными; опыт показал, что и при таких конструкциях наступает закупорка и кольматаж 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.

Коррозийное, нестойкое железо использовали для разрушения корзинок в забое для облегчения подъема фильтров при их ремонте.

На рис. 3.2 изображен корзинчатый фильтр, применявшийся в скважинах, предназначенных для эксплуатации подземных вод из аллювиального водоносного горизонта. В качестве опорного каркаса здесь использована буровая труба диаметром 150 ммс круглыми проходными отверстиями диаметром 7 мм.

Ввиду наличия мелкозернистых песков в фильтрах применялась 4-хслойная засыпка корзинок гравием следующего механического состава:

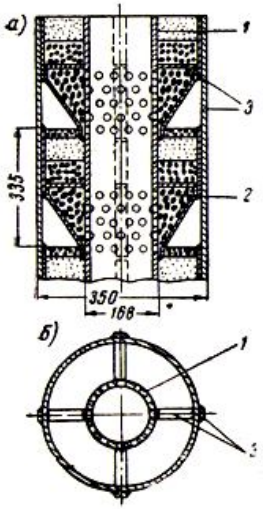


Рис. 3.2. Фильтр с корзинками из кровельного железа

1-й слой (от каркаса)	10–12 мм
2-й то же	3–5 мм
3-й	1–2 мм
4-й	3–5 мм

Фильтры устанавливали в скважинах с диаметром колонн 400 мм, глубиной 50 м.

При длине рабочей части фильтров 16–18 м и мощности водоносного горизонта около 40 м удельный дебит скважины с корзинчатым фильтром составляет от 3 до 4,5 $м^3$/час.

В других конструкциях корзинчатых фильтров проходные отверстия на опорных каркасах выполняются в виде больших квадратных прорезей, которые затягивались фильтровальной сеткой с крупными ячейками. Такая конструкция фильтра показана на рис. 3.3 основные его размеры применительно к различным диаметрам скважин приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Конструктивные размеры корзинчатого фильтра

Конструктивные элементы	Условные обозначения	Размеры в мм		
Диаметр скважины	*D*	250	300	350
Внешний диаметр:				
корзинчатого фильтра	*D1*	220	270	320
трубы каркас	d_n	89	114	140
Условный просвет каркаса	$d_в$	76	100	125
Высота проходной щели	*h*	60	80	100
Ширина проходной щели	*m*	35	45	55
Расстояние между щелямивертикали	*b*	80	100	120
Опорный пояс из полосовой стали	*k*	15	15	15
Высота корзинки	*a*	200	250	300
Толщина железа на корзинках	*б*	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

$$\Sigma F=0,785\ (D^2-d^2)ng, \qquad (3.1)$$

где D – диаметр корзинки; d – диаметр каркаса фильтра (трубы); n – количество корзинок; g – пористость гравия, засыпаемого в корзинки.

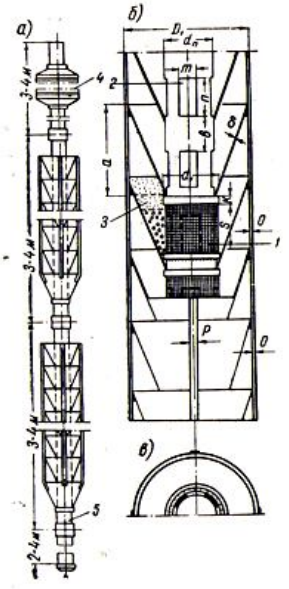


Рис. 3.3. Фильтр корзинчатый:
а – общий вид; б – детали фильтра; в – план;
1 – опорный каркас;
2 – проходные отверстия, затянутые сеткой; 3 – гравийная обсыпка; 4 – сальник;
5 – отстойник

Зная площадь фильтрации и величину скорости, принимаемой для расчета, нетрудно определить пропускную способность фильтра

$$Q=\upsilon\Sigma F=0.785\upsilon(D^2-d^2)ng. \qquad (3.2)$$

Следует отметить, что пропускная способность в значительной степени зависит от правильного подбора гравийной обсыпки в соответствии с породами, окружающими фильтр.

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 $м^3$/час, а по скважине с каркасно-стержневым фильтром, при двухслойной обсыпке – около 10 $м^3$/час. 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 малой дебитности, повышенной стоимости сооружения таких скважин, относительной сложности изготовлений фильтров эти конструкции не получили широкого распространения в практике отечественного водоснабжения.

3.2.Технологии создания гравийно-опускных кожуховых фильтров

Фильтры кожуховые 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 скважи-

ны вскрывают водоносные горизонты с напорными водами, изливающимися на поверхность земли, и засыпаемый гравий выносится из колонны, не достигая забоя скважин.

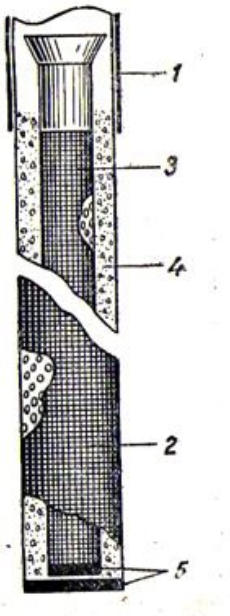


Рис. 3.4. Фильтр сетчатый, сдвоенный с гравийным заполнением: *1 – труба обсадная; 2 – фильтр сетчатый наружный; 3 – фильтр сетчатый внутренний; 4 – гравийная обсыпка; 5 – пробки*

К кожуховым 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 земли 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 плывунов, 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. 3.4 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 фильтра по предложению А.Г. Петрова [96] применялась для эксплуатации вод из песков с гранулометрическим составом, представленным в табл. 3.2 применялись кожуховые фильтры со следующими размерами: длина фильтра – 7 м; диаметр каркасной трубы, внешней – 152 мм и внутренней – 63 мм.

Таблица 3.2

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

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 $м^3$/ч.

Различные конструкции фильтров с гравийным заполнением для эксплуатации глубоких подземных вод из песчанистых толщ в Кызыл-Кумах описаны в работе [97]. 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. 3.5).

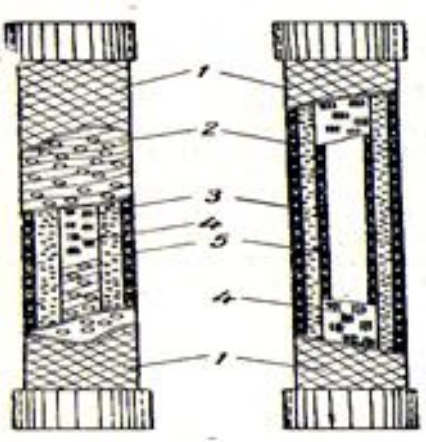


Рис. 3.5. Фильтр конструкции Магурдумова:
1 – сетка квадратного плетения;
2 – каркас наружногофильтра;
3 – гравийная обсыпка;
4– сетка; 5 – каркас внутреннего фильтра

Фильтр состоит из двух перфорированных труб диаметром 150 и 100 мм. Наружная труба обтянута сеткой квадратного плетения 0,5×0,5 мм, а внутренняя – покрыта сеткой с проходными отверстиями 0,25 мм. Пространство между двумя фильтрами засыпано разнозернистым гравием, диаметр которого составляет от 5 до 10 мм.

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 0,5–2 мм.

На этом же объекте были применены набивные фильтры, где в качестве опорного каркаса применялись чугунные трубы со 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. 3.6).

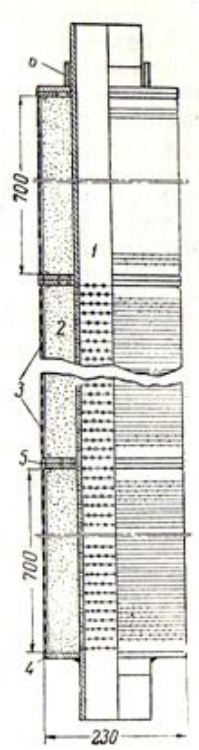


Рис. 3.6. Кожуховый фильтр Куличихина:
1– опорный каркас из трубы; 2 – гравийная обсыпка; 3 – кожух из кровельного железа; 4 – опорный фланец; 5 – фланец соединительный; 6 – муфта

Конструкция фильтра была предложена для эксплуатации вод глубоких водоносныхгоризонтов (до 280 м) в г. Барнауле (Алтайский край).

Фильтр состоит из опорного каркаса – стальной трубы диаметром 115 ммс круглыми проходными отверстиями диаметром 8 мм. Для удержания гравия на каркасе служит кожух, изготовленный из кровельного железа, поверхность которого покрыта отверстиями диаметром 3 мм. 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.

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 [98].

Для оборудования скважин, глубина которых составляет от 100 до 300 м, Трансводстрой применяет кожуховые фильтры, опорный каркас которых состоит из перфорированной трубы с проволочной обмоткой из нержавеющей стали (рис. 3.7, *а*) либо с каркасно-стержневой основой (рис. 3.7, *б*), на поверхности которых натягивается сетка из простой стали для удержания гравия.

Фильтры кожухового типа устанавливаются в скважинах, пробуренных роторным способом с глинистой промывкой. 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 частицы гравия составляют от 2 до 4 мм.

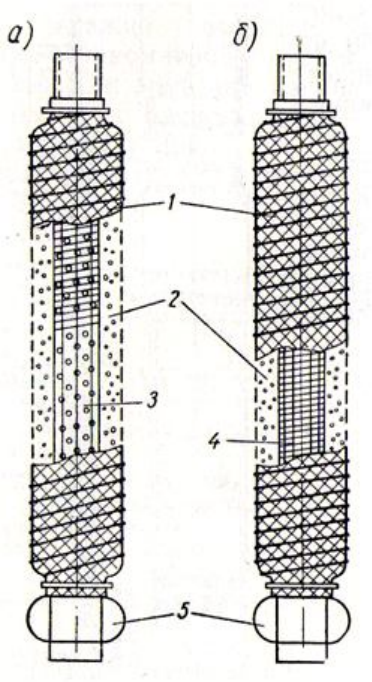


Рис. 3.7. Кожуховые фильтры с гравийной обсыпкой для оборудования глубоких скважин

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. 3.8). Резьбовые соединения на винипластовых трубах являются противопоказанными, так как они резко ослабляют прочность, а кожухи, выполняемые из гру-

бой, 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.

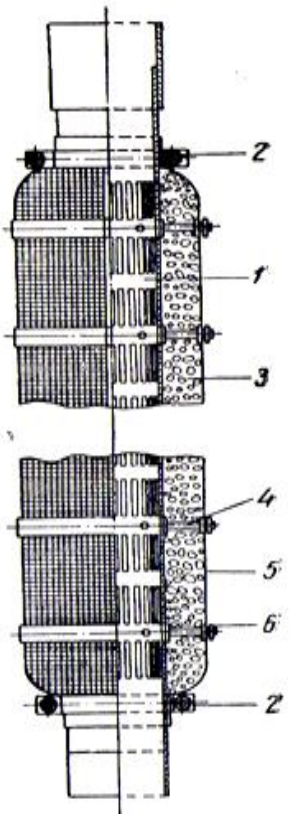


Рис. 3.8. Кожуховый фильтр с применением труб из пластмасс:
1 – опорный каркас из щелевой пластмассовой трубы; 2 – зажимной хомут; 3 – гравий; 4 – штыри для крепления сетки; 5 – сетка панцирная; 6 – обруч стальной для крепления сетки

Кожуховые фильтры щелевого типа применяются Литовской конторой Бурводмонтаж для скважин, глубина которых превышает 50 м, или в тех случаях, когда возникает необходимость в создании фильтров с однослойной гравийной обсыпкой. Здесь кожуховые фильтры представляли щелевые сдвоенные каркасы из металлических стержней, пространство между которыми засыпалось гравием (рис. 3.9). 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 ммпри диаметрах обсадных колонн 300–350 мм.

В 1940-х годах кожуховые фильтры с гравийным заполнением нашли широкое применение при оборудовании нефтяных скважин [99]. 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. 3.10, фильтр состоит из двух концентрически расположенных труб (кожухов) с гравийной обсыпкой между ними.

Данные по основным конструктивным элементам кожуховых фильтров сведены в табл. 3.3.

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 мфильтра фрезеруется 48 щелей (4 ряда щелей по 12 шт. в каждом, что эквивалентно 16–20 отверстиям с диаметром 12 мм).

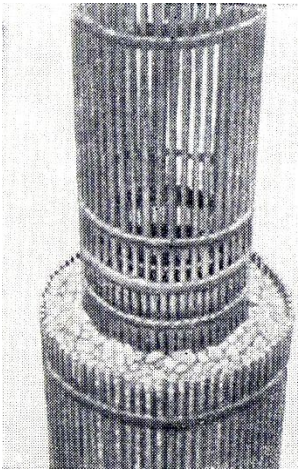


Рис. 3.9. Кожуховый фильтр из металлических стержней

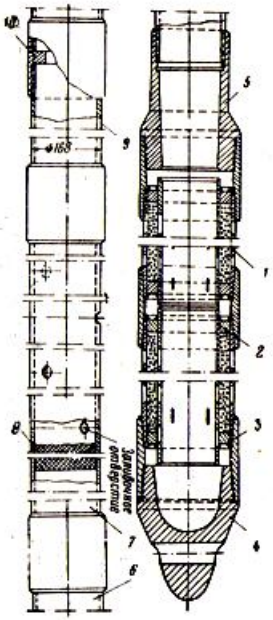


Рис. 3.10. Кожуховый фильтр для оборудования глубоких скважин:
1 – наружный корпус;
2 – внутренний корпус;
3 – кольцо; 4 – направление;
5 – переводник;
6 – патрубок D=760 мм;
7 – труба D= 6", l= 3160 мм; 8 – цементная пробка; 9 – труба; l= 10,16 мм;
10 – упорное кольцо

Таблица 3.3

Конструктивные элементы гравийных фильтров кожухового типа для глубоких скважин

Кожух 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

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. Гидропроектом была разработана конструкция фильтра кожухового типа, предназначаемого для установки в скважинах любой необходимой глубины, в водах с агрессивными свойствами или склонных к выделению солевых осадков.

Как следует из рис. 3.11, 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. 3.4.

Таблица 3.4

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

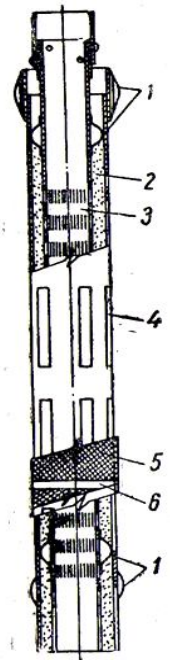


Рис. 3.11. Кожуховый фильтр с опорным корпусом из пластмассовых труб и защитным из стальных труб: *1 – направляющие фонари; 2 – гравий; 3 – щелевой каркас из пластмассы; 4 – щелевой каркас из стальных труб; 5 – сетка; 6 – пояса для крепления сетки*

Общими элементами конструкций опускных гравийных фильтров со съемным защитным кожухом [22–25] (рис. 3.12) 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*.

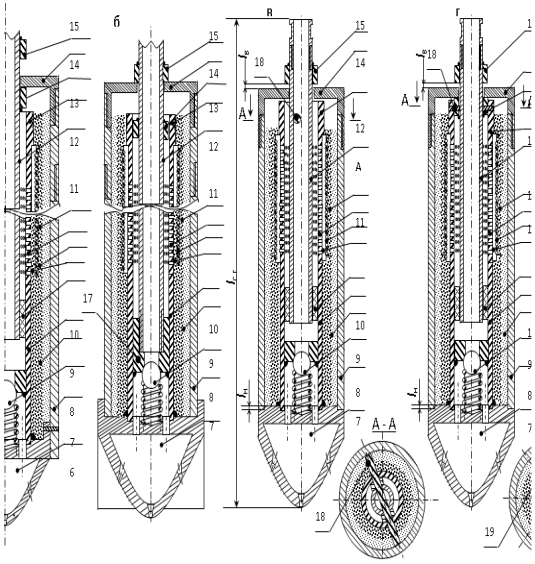


Рис. 3.12. Схема опускного гравийного фильтра со съемным защитным кожухом:
а – с жестким соединением съемного кожуха с башмаком шпильками; б – с соединением бурильной колонны с каркасом фильтра левой резьбой; в – с Т-образным соединением бурильной колонны с надфильтровой трубой; г – с жестким соединением бурильной колонны с надфильтровой трубой шпильками

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, водопонизительных, а также разгрузочных скважин.

Авторами на кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета разработаны технология оборудования водоносных горизонтов гидрогеологических, геотехнологических скважин и ряд конструкций гравийных фильтров, сооружаемых на дневной поверхности с последующей доставкой и установкой в водоносном горизонте.

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; центрирование 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 колоны *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*, которые 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. 3.12, *а*);
- муфты с левой резьбой *17,* жестко установленной во внутренней полости отстойника 5, функционально выполненной в виде обратного клапана (рис.3.12, *б*);
- Т-образного ключа *18*, фиксирующего соосное положение каркаса фильтровой колонны *9* с корпусом съемного кожуха *2* (рис. 3.12, *в*);

- срезаемых шпилек *19*, конструктивно расположенных в жестко закрепленном на бурильной колонне *11* упоре *13* и верхней части надфильтровой колонны *12* гравийного фильтра (рис. 3.12, *в*).

Посадка гравийного фильтра в водоносный горизонт может осуществляться:

- в раскрытый водоносный горизонт с проектным диаметром;
- в пилот-скважину, при этом его посадка осуществляется расширением водоприемеой части гидровмывом с применением технической воды;
- одновременное вскрытие водоносного горизонта и посадка гравийного фильтра гидровмывом.

В целом применение технологии оборудования гидрогеологических скважин гравийными фильтрами со съемным защитным кожухом позволит уменьшить расход гравийного материала и времени на его транспортировку к водоносному горизонту; избежать зависание 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 то, что: в реальных скважинных условиях эти фильтры не опробованы; за исключением гравийного фильтра первой конструкции, остальные имеют ограничение по длине рабочей поверхности, обусловленной длиной обсадной трубы и отсутствием возможности закрепления съемного кожуха над устьем скважины; в силу конструктивных особенностей и технологии оборудования водоносного горизонта, при извлечении съемного 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 [11], 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 протащить по стволу скважины, а затем, подняв на поверхность, проверить состояние обсыпки, и в случае необходимости произвести ее досыпку.

3.3. Технологии 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 диаметромсоздание гравийных фильтров с рыхлой обсыпкойстановится 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 у нас, так и за рубежом 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 [11]:

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 возникающих 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 [11]. 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 торцовый 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 процента 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 [100] 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 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 соответствующим диаметром, очищается от шлама, затем блоки фильтра опускают в скважину и устанавливают в ней вертикально друг на друга, а обсадную колонну при этом извлекают (рис. 3.13).

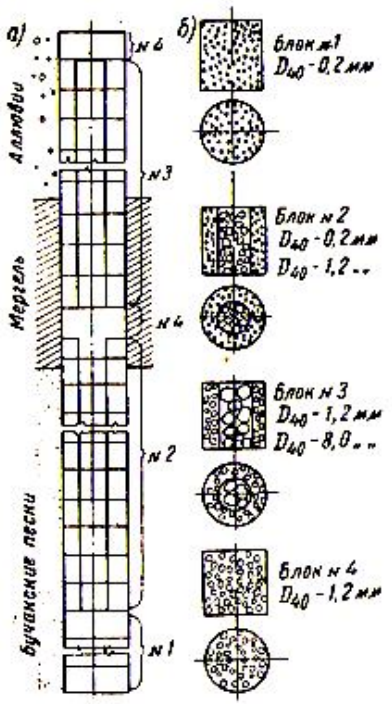


Рис. 3.13. Фильтры гравийные монолитные:
а – схема установки блоков в скважине; б – детали блоков

В скважинах, гранулометрический состав 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. 3.14).



Рис. 3.14. Гравийный фильтр из пористого бетона



Рис. 3.14. Гравийный фильтр из пористого Бетона

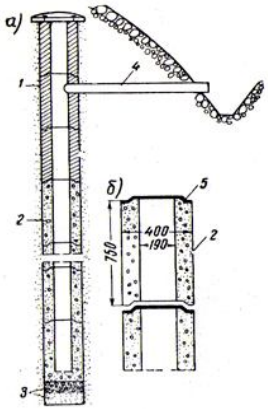


Рис. 3.15. Фильтр гравийный пустотелый: *а – общий вид скважины; б – детали фильтров; 1 – блоки из плотного бетона; 2 – блок из пористого бетона 3 – гравийно-песчаная подушка; 4 – отводная труба; 5 – войлочная прокладка на битуме*

На первом этапе внедрения подобного рода конструкции фильтров нашли широкое применение при осушении буроугольных месторождений в Германии, а затем и в других странах. В отечественной практике 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 ммне более 5%.

Расход материалов на 1 $м^3$ 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-мидневном возрасте 15–25 $кг/см^2$, а при 28-мидневном возрасте 25–45 $кг/см^2$.

Блоки изготавливались высотой 750 ммпри внутренних диаметрах 150, 160 и 190 мм и внешних 335, 400 и 345 мм. Из этих величин 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. 3.15). 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 пяту 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 ммногие 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 буроугольных месторождений занимался В.Р. Булдей [101]. Им в зависимости от целевого назначения рекомендовалось изготавливать фильтры следующих размеров (табл. 3.5).

Для изготовления фильтров из пористого бетона рекомендуется подбирать фракции щебня в зависимости от механического состава обводненных песков, пользуясь данными табл. 3.6.

Данные табл. 3.6 относятся к щебенке, которая может быть приготовлена из гранита, кирпича, керамзита, пемзы и котельного шлака.

Приготовление блоков пористого бетона из различных инертных материалов, при различной крупности фракций щебенки требует соответствующего соотношения щебенки, цемента и воды

Таблица 3.5

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

Таблица 3.6

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 м ……..	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

Не останавливаясь подробно на других материалах, укажем, что для приготовления пористых блоков из гранитной щебенки В.Р. Булдей рекомендует применять на 100 кг цемента 500–600 кг щебенки и 30–32 л воды; при этом употребляется цемент М-400. Приготовление блоков производится в формах, общий вид которых представлен на рис. 3.16.

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.

Прочность кубиков из пористого бетона с ребром 15 смзависит от размера и рода инертного материала – щебенки. Для гранитной щебенки она для проб 7-мидневного возраста составляет 25–55 кг/см^{2}и для 28-мидневного возраста 31–80 кг/см^2.

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.

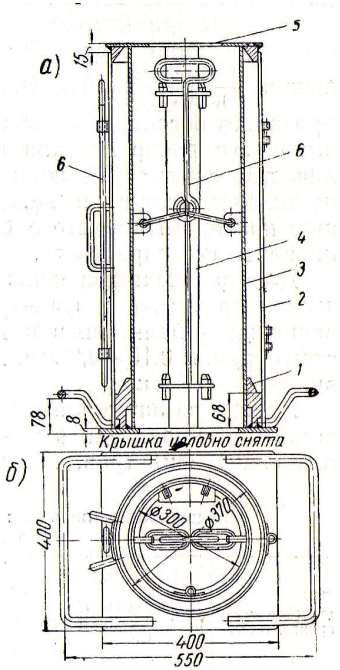


Рис. 3.16. Формы для изготовления бетонных фильтров диаметром 370/300 мм: *а – разрез; б – вид сверху; 1 – нижняя плита; 2 – наружная форма; 3 – внутренняя форма; 4 – шибер для внутренней формы; 5 – верхняя крышка; 6 – рычаг*

Большая работа по экспериментальному исследованию фильтров из пористого бетона и их широкому внедрению для оборудования водозаборных скважин и шахтных колодцев проведена в Новочеркасском гидромелиоративном институте [102]. Этими исследованиями 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 сцементированной 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 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 [102] рекомендует производить приготовление бетонных смесей для изготовления фильтров, пользуясь данными табл. 3.7.

Таблица 3.7

Спецификация на смеси для фильтров из пористого бетона (по М.Я. Елисееву)

Диаметр зерен гравия, мм	Доза цемента на 1 м^3 гравия, гр	Коэффициент фильтрации, м/сут		
		фильтрующий материал		
		чистый	сцементированный	
			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. 3.7 видно, что добавки цемента к гравию 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 кольматажу. Это положение имеет существенное значение для понимания механизма работы сцементированных 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 кольматаж обсыпок.

Согласно лабораторным исследованиям подбор зерен гравия для фильтров М.Я. Елисеев рекомендует пользоваться следующей зависимостью:

$$D=Ad, \qquad (3.1)$$

где D – расчетный диаметр зерен гравия в мм, равный $D_{ср}$ – 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 А применительно к зернам окатанного гравия рекомендуется пользоваться данными табл. 3.8.

Таблица 3.8

Рекомендации к определению коэффициента А применительно к качеству зерна (по М.Я.Елисееву)

Пески тонко и мелкозернистые		Пески среднезернистые	
однородные	разнозернистые	однородные	разнозернистые
16	18–20	18	20–22

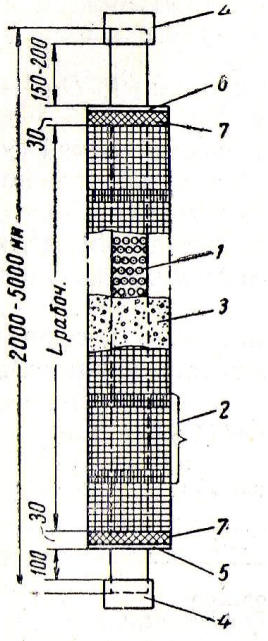


Рис. 3.17. Гравийно-сцементированный фильтр НИМИ:
1 – трубчатый каркас; 2 – сетка; 3 – гравий сцементированный; 4 – муфты; 5 – опорный фланец; 6 – надвижной фланец; 7 – торцы фильтра из монолитного бетона

Гравийные сцементированные фильтры изготавливаются на основе трубчатых или стержневых каркасов при их внутренних диаметрах от $1^1/_2$ до 8". Фильтры готовятся звеньями длиной от 2 до 5 л (рис. 3.17).

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 смесьюбетона.

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 сцементированных

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 $м^3$ 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 ммс коэффициентом фильтрации 0,0039 м/с при дозировке цемента 250 кг на 1 $м^г$ гравия,

при водоцементном факторе В/Ц – 0,5, коэффициент снижался до 0,0025 м/сек, а при В/Ц = 0,6 до 0,0017.

Это положение наглядно подтверждается фотографией на рис. 3.18 и диаграммой на рис. 3.19.

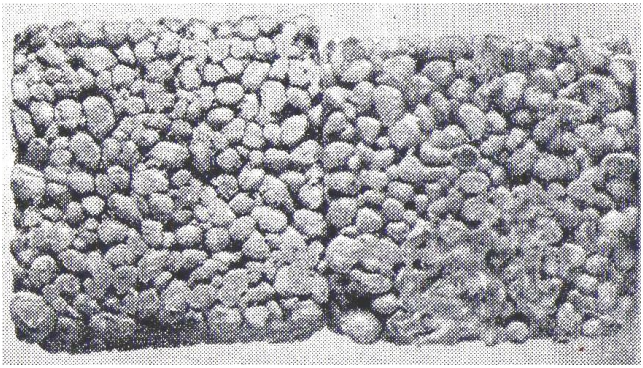


Рис. 3.18. Вид пористости бетона в зависимости от водоцементного фактора (по Герхардту)

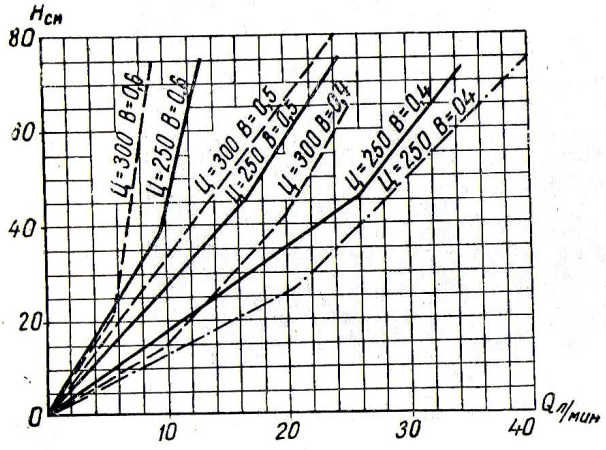


Рис. 3.19. График зависимости дебитаот напора и водоцементного фактора

Задачей проведенных исследований в цитированной работе ставилось определение минимальных доз цемента, обеспечи-

вающих 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 м^3 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. 3.20 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.

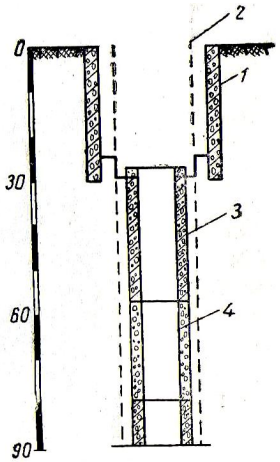


Рис. 3.20. Конструкция скважины при креплении бетонными трубами (по Герхардту): *1 – кондуктор;* 2 *– след стальной колонны; 3 – трубы из монолитного бетона; 4 – трубы из пористого бетона*

В случае посадки первой трубы из бетона 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 ниппе-

ля и муфты стандартного размера, рис. 3.21. Такая система позволяет вслучае необходимости осуществлять соединение железобетонных труб с буровыми 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 буроугольных месторождений в Германии. Фильтры из пористого бетона изготавливались заводским способом длиной в 1 м с фасонными шлифованными пазухами 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 м^3 раствора бетона.

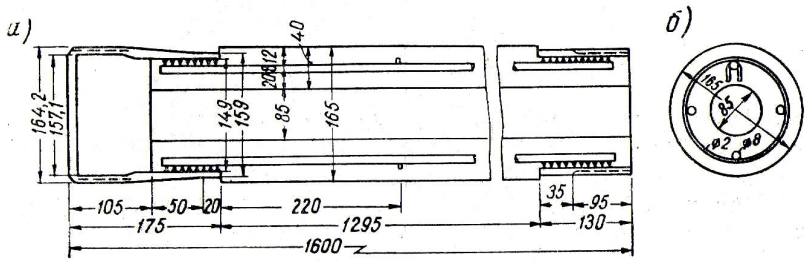


Рис. 3.21. Конструкция труб и фильтров из железобетона (по Герхардту) с металлическими соединениями:
а – разрез; б – план

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, неизвлекаются. 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 [105] 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:

$$D_{ср}/d_{50} = 5 - 8,$$

где $D_{ср}$ – 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. 3.9.

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 3.9

Подбор гравия для клеевых фильтров
(по Л.Ф.Быкадорову) [103]

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/см^2; после этого блок вместе с пресс-формой помещается в сушильный шкаф (рис. 3.22).

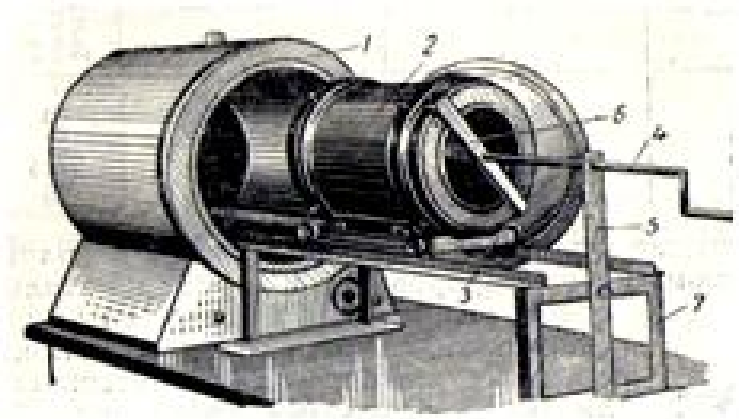


Рис. 3.22. Общий вид пресс-формы и печи для изготовления фильтров на клее БФ-4:
1 – сушильный шкаф; 2 – пресс-форма с изделием; 3 – тележка; 4 – рукоятка; 5 – стояк; 6 – металлическая планка; 7 – эстакада

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.

По условиям технологии гравийно-клеевые фильтры могут выпускаться различных диаметров от 1 дюйма и более.

Для характеристики фильтров в табл. 3.10 приведены размеры блоков; пользующихся наибольшим спросом у потребителей.

Таблица 3.10

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

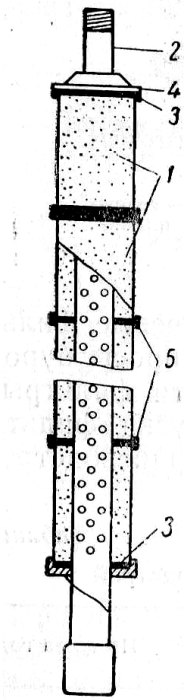


Рис. 3.23. Конструкция звена гравийного фильтра РИИЖТа:
1 – гравийный блок;
2 – опорный каркас из перфорированной трубы;
3 – опорный фланец;
4 – нажимной фланец;
5 – кольца резиновые для уплотнения

При монтаже фильтров блоки собираются в колонну следующимобразом: 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. 3.23. 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 [104], и другими организациями в скважинах ударно-канатного бурения. Фильтрами этой конструкции было оборудовано несколько десятков скважин.

Гравийно-звеньевые фильтры среди других конструкций блочного типа являются 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 ну 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. 3.11.

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. 3.24.



Рис. 3.24. Установка для испытания фильтров 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. 3.11.

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 3.11

Прочность образцов гравийно-клеевых фильтров в зависимости от длительности пребывания в воде (по Л.Ф. Быкадорову) [103]

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, ещенуждается 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. 3.12.

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 1950-х годов тре-

стом Трансводстрой при оборудовании скважин, пробуренных роторным способом [50], 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 Гидроэнергопроект и других организациях при оборудовании скважин для водоснабжения и водопонижения.

Большинство построенных скважин работает 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 вразличных районах страны и при различных гидрохимических условиях.

Гравийно-клеевыми фильтрами в экспедиции института Гидроэнергопроект 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 внедельный 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 обл. из 18скважин, построенных трестом-Союзшахтоосушение, прекратили работу из - за пескования почтивсескважины. Причины этого явления выяснены еще недостаточно, но не исключена возможность разрушения гравийных блоков под влиянием вибрации глубинных насосов типа АТН - 8, которыебыли установлены в рабочих частях фильтров.

Таблица 3.12

Характеристика механической прочности гравийно-клеевых фильтров в зависимость от времени пребывания в воде и количества профильтровавшейся воды (по В.М.Гаврилко) [11]

№ блока	Размер блоков				Испытания блоков до фильтрации		Испытания блоков прошедших фильтрации		Снижения прочности у блоков. Подвергающихся 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	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	60,6	с 4.10.1957. по 14.11.1958. 586 271 л
2	13	7,8	73,24	11	8000	109	3850	52,6	51,9	
3	13	7,8	73,24	11	7250	98	6300	86	12,3	
4	13	7,8	73,24	10,7	7730	105	6700	91,5	13	
Среднее	**13**	**7,8**	**73,24**	**10,8**	**7700**	**106**	**5000**	**68**	**35,2**	
1	13	9	69	9,8	6000	87	5000	72	18	с 1.03.1957. по 25.09.1957. 549 986 л
2	13	9	69	9,8	5600	81	7800	68	16	
3	13	9	69	9,8	5500	79	5200	76	4	
4	13	9	69	9,8	5400	78	4750	69	12	
Среднее	**13**	**9**	**69**	**9,8**	**5625**	**8102**	**4937,5**	**71,2**	**15,5**	

Примечание: в первом опыте блоки состояли из зерен 0,9 - 1,5мм во втором 1 - 2мм.Указанное количество воды фильтровалось через колону,состоящую из 4 блоков

Кчислу причин, сдерживающих более широкое, применениегравийно-клеевых фильтров, в скважинах питьевого назначениясследует 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. 3.25 представлено два вида таких фильтров.

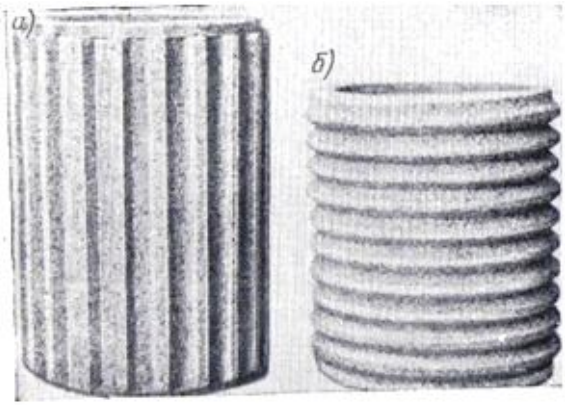


Рис. 3.25. Гравийный ребристый фильтр конструкции института ВСЕГИНГЕО:
а – с вертикальными ребрами; б – с горизонтальными ребрами

По мнению 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.

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.

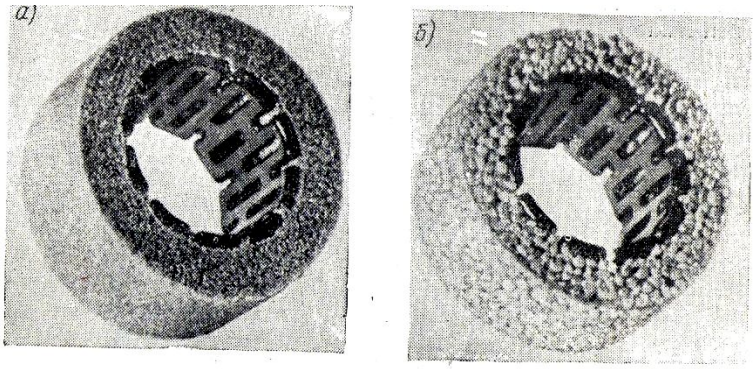


Рис. 3.26. Фильтр на основе склеивания гравия синтетическими смолами и опорным щелевым каркасом:
а – с мелкой обсыпкой; б – с крупной обсыпкой

На опытном стационаре ВОДГЕО в Нижегородской обл. была установлена 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.

Фильтры блочного типа, на основе склеивания гравия синтетическими смолами, известны применением также в Германии. Их общий вид представлен на рис. 3.26. 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 электрофоретическимспособом. 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. 3.27).

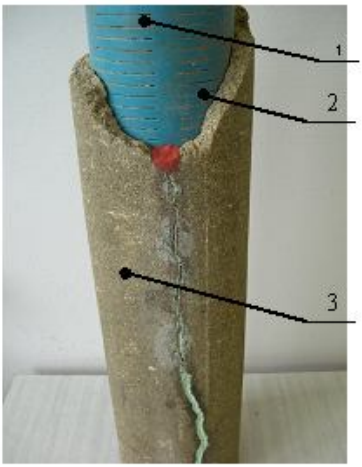


Рис. 3.27. Общий вид блочного фильтра фирмы «Пройссаг» извлеченный из скважины:
1 – трубчатый ПВХ каркас с щелевой перфорацией;
2 – гравийная обсыпка; 3 – трещина в блочном фильтре

Для обустройства скважин фирма "ПРОЙССАГ изделия, вода и окружающая среда" производит нормированные фильтровые и обсадные трубы из поливинилхлорида. Они и служат каркасом фильтровой колонны, на которую одевают 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 улучшая их гидравлические свойства, поскольку продольное расположение ребер не позволяет зернам гравия непосредственно прилегать в области перфорации фильтровой колонны.

Фильтры блочного типа на основе связи гравия битумом

Применение пористых смесей на битуме в качестве фильтров было предложено в 1930-х годах при строительстве плотины Швамменуэль [105], а в 1950-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 [106], фильтры из пористого асфальтобетона, в отличие от применяемых в настоящее время конструкций, обладают рядом преимуществ:

- для созданияфильтров не требуется употреблять сетку или нержавеющую 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 изготовленияне требуют дефицитных материалов, т. к. 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 незаиляемости 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. Любивым при оборудовании скважин, применяемых для водоснабжения и водопонижения, представляют собой полые или заполненные породой блоки-цилиндры, изготовленные из щебенки, обработанной битумом: При изготовлении блоков применяется гравий или каменная крошка (щебенка) в размере 95 и 5% битума марки БН-3 по весу. Порода, подогретая до температуры 160–170°С, смешивается с битумом, имеющим ту же температуру, после чего гравий или щебенка 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, предназначаемые для оборудования водозаборных и водопонизительных 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. 3.28). 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;
- 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.

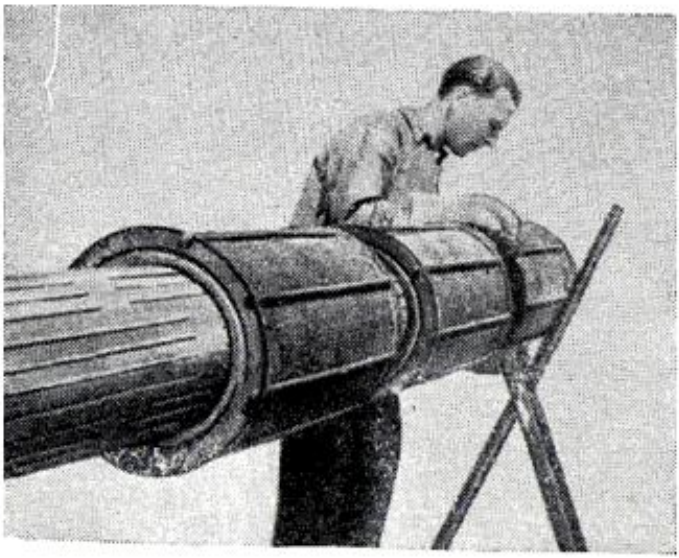


Рис. 3.28. Монтаж асфальтобетонного фильтра из звеньев

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 $м^3$/час; по двум скважинам (Р-18 и Р-179) наблюдалось периодическое пескование. Приведенная выше характеристика дана по скважинам за период внедрения и работы фильтров около 1 года. Имеются примеры выхода скважин из строя на 2, 4, 11, 26 суток после их ввода в эксплуатацию.

В конструкциях, рекомендуемых для оборудования разгрузочных дренажных скважин, полости блочных фильтров были заполнены щебенкой (рис. 3.29), а соединение отдельных звеньев фильтра в колонну осуществлялось при помощи металлических стержней и фланцев. Внешний диаметр фильтров таких блоков составлял 250 мм.

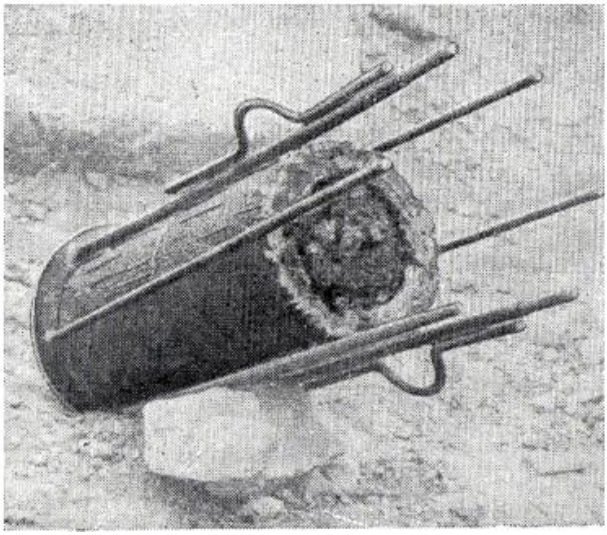


Рис. 3.29. Деталь блочного фильтра из асфальтобетона

Эти фильтры устанавливались в разгрузочные скважины под рисбермой здания ГЭС при диаметре скважин 600/500 мм с одновременной их обсыпкой крупнозернистым и разнозернистым песком [107].

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 [108, 109], 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 [105] и их результаты сводятся к следующему:

- асфальтобетонные фильтры, изготовленные по рецептуре Сталинградгидростроя, не могут быть использованы в конструкциях, воспринимающих нагрузку, без изготовления надежных каркасов, при ширине щелей не более диаметра применяемой щебенки;

- применяемый битум марки БН-3 обладает недостаточной водостойкостью и по этой причине прочность образцов после 8-мимесячного 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 [110]. Уместно отметить, что фильтры из пористого асфальтенобетона в Германии, в стране, первой давшей это предложение для водоснабжения и водопонижения не применяются.

Фильтры блочного типа на основе связи гравия бакелитовым лаком

В 1950-х годах под руководством П.М. Ким проводились работы по созданию конструкций гравийного фильтра на основе связи частиц гравия бакелитовым лаком [111]. 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, изготовляемых на основе клея БФ-4, предлагалось использовать более дешевый материал – бакелитовый лак, стоимость которого в три раза ниже.

Исследования образцов блоков [111], изготовленных с применением бакелитового лака, показали, что прочность кубиков размером 7×7×7 см на раздавливание доходит до 140–250 кг/см^2, что превышает прочность кубиков на клее 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 уплотнениягравия, 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 кг/см, т. е. дает снижение на 75–80%.

При проведении фильтрационных опытов была установлена способность гравиебакелита сорбировать на своей поверхности пузырьки газов (в частности, воздуха), в связи, с чем наблю-

далось 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 $i = 0{,}2 - k_ф = 0{,}067$, а при $i = 2 - k_ф = 0{,}012$. В опытах с кипяченой водой при $i = 0{,}2 - k_ф = 0{,}104$, а при $i = 2 - k_ф = 0{,}081$.

Следствием, вытекающим из данных лабораторных исследований, возникает необходимость проверки гравиебакелитовых фильтров в натурных условиях, т. к. 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 (клей 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 водопонизительных скважинах временного действия, устраиваемых при осушении буроугольных 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, обусловливают 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 [112], 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 ($R_{сж}$ =100 – 280 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. 3.30) для различных отраслей техники, характеристики которых приведены в табл. 3.13.

Таблица 3.13

Спецификация на керамические фильтры, выпускаемые Кучинским экспериментальным заводом

Габариты блоков		Размер пор, мк	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	20012	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

Длина изготовляемых труб ограничивается высотой печей, 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, изготовляемых на основе клея БФ-4.

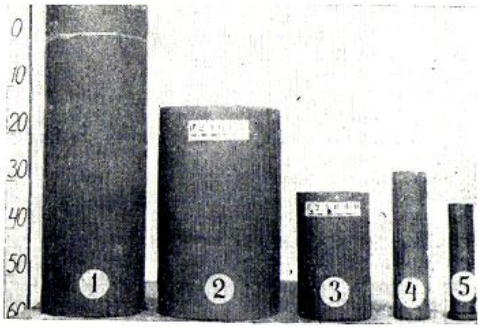


Рис. 3.30. Общий вид фильтров из пористой керамики различных диаметров

С применением разработанных клеев длина звеньев керамических труб может быть увеличена до 1000–1100 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 закончились 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 натриевое 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 мк. В случае применения шихты из шамота более крупных фракций с размером частиц 1–3 мм, обеспечивающих размер пор от 240 до 350 мк, 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 натриевое 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. 3.31).

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 $t = 900 – 950°C$. 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 $t = 1100 – 1150°C$.

Структура силикатных фильтровых блоков характеризуется наличием равномерно распределенных открытых пор, которые обеспечивают необходимую водопроницаемость.

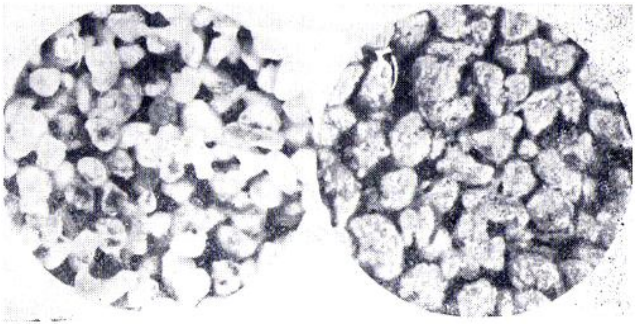


Рис. 3.31. Структура спекания зерен в пористых силикатных фильтрах (по Смирновой):
а – из зерен кварца; б – из зерен шамота
(зерна диаметром 2–3 мм увеличены в 3 раза)

Производство пористых блоков слагается 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 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 пропускается 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/см^2 или путем вибрации в течение 2–3 мин с пригрузкой формуемой массы сверху грузом весом, равным весу массы. После этого блоки остаются в формах для твердения при t = 20 – 25°С в течение 15–20 часов.

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 4–6 ч. Максимальная температура обжига для блоков из кварцевого песка составляет 900–950°, для блоков из шамота 1100–1150°.

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 [113, 114].

Московским заводом керамблоков производилось производство керамических фильтров для оборудования буровых скважин на воду, данные по которым приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

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 (приближенно)
наружный, мм	внутренний max/min, мм	наружный, мм	внутренний, мм				
108	99	92	64	14±2	57	500	2,5
127	119	110	80	15±2	73	±5	3,2
		116	76	20 ±2	57	500	4,5
146	137	126	82	22±2	73	±5	5,2
168	156/140	138	76	31±2	57	500	7,5
168		140	100	20 ±2	89	±5	5,5
219	156/140	165	120	22 - 2	112	500	7,2
219		186	138	24±2	127	±5	8,8
273	205/194	230	175	27±2	168	500±5	12,1
273		234	180	27±2	168		12,7
377	205/194	340	280	30±2	273	500 ±5	15,76
	255/249					200 ±5	
	255/249					500 ±5	
	357/353					500 ±5	
						500 ±5	
						340±10	

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%.

Размер зерен шамота и их количественное содержание в шихте находилось 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°С.

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 мк
коэффициент фильтрации	800–1000 м/сут.

В настоящее время заводом изготовлено для треста Промбурвод более 200 п.м фильтров диаметром 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 Средневолжской 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 [115] 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 мелкой щебенки резко возрастает опасность их заклинивания мелкими частицами песка. К преимуществам гравийных фильтров на основе каучука относятся их устойчивость при транспортировании, при химической и электролитическойагрессии жидкостей в скважине.

Криогенно-гравийные фильтры блочного типа

На сегодняшний день гравийные фильтры блочной конструкции не отвечают требованиям, которые были сформулированы В.М. Гаврилко [11] (п.3.3) .

Поэтому 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 минераловяжущего вещества.

В основу работы положена идея создания гравийного фильтра по комбинированной технологии, включающей изготовление элемента гравийного фильтра блочной конструкции с соединением гравийного материала в монолит при помощи минераловяжущего 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 минераловяжущим веществом под воздействием положительных температур пластовых вод реологических свойств воды [129–134].

Новая технология оборудования гравийным фильтром водоприемной части гидрогеологических скважин предназначена для водоносных горизонтов, представленных среднезернистыми, мелкозернистыми, тонкозернистыми и пылеватыми песками.

В работе [11] В.М. Гаврилко пишет, что: „ В зимних условиях блоки цементируются водой способом замораживания”, т.е. с использованием естественного холода. Однако эксперимерты показали, 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 на значительную глубину.

Поэтому 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 элементом.

Вяжущее вещество должно отвечать следующим требованиям:

- под действием температуры окружающей среды должен образовывать гель, надежно скрепляя 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 должен 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 последний ядовит (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 требования отвечает желатин.

Желатин [135, 136] – продукт переработки коллагена, распространенного в природе белкового вещества, образовывающего главную составную часть соединительной ткани хребетных, 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%), глютаминова 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 ха-

рактер. 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 кожаного производства (обрезки шкур, мездра) и сухожилия. В Японии для этой цели с недавнего времени применяют отходы китобойного промысла, что также содержат 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 кинопленок, 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 [137–142] 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 [138].

Для реализации предлагаемой комбинированной технологии, но с использованием искусственного холода, необходимо выполнить следующие технологические операции (табл. 3.15): 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 [129–134].

В табл. 3.15 приведены технологические операции и варианты их осуществления.

Таблица 3.15

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 колоне бурильных труб
	На колоне надфильтровых труб
	На тросе
	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

Изготовление цилиндрически полых элементов КГФ согласно предложенной технологии возможно: 1) в стационарных условиях предприятия; 2) в процессе его транспортировки на буровую; 3) на буровой. Для изготовления КГФ необходимо выполнить следующие операции.

1) Подготовка формы к изготовлению КГЭ фильтра. Высота КГЭ 6, а, следовательно, и высота цилиндров *5, 7, 8* (рис. 3.32) подбирается исходя из предельного веса КГЭ и условия его прочности, удобства изготовления и сборки КГФ. Предельный вес КГЭ зависит от его геометрических размеров – высоты Н и радиального размера δ, т. е. толщины гравийной обсыпки.

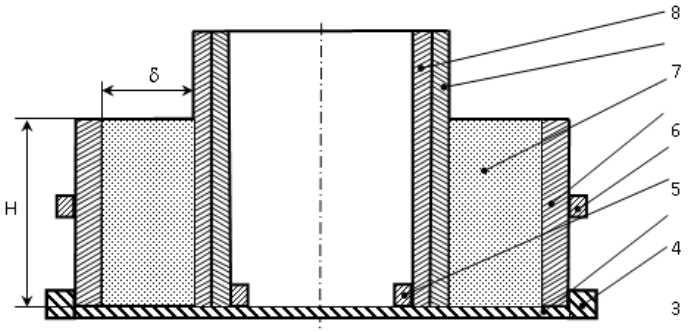


Рис. 3.32. Схема формы для изготовления КГЭ фильтра:
Н – высота гравийной обсыпки; δ – толщина гравийной обсыпки; 1 – ограничитель внешнего цилиндра; 2 – основание формы; 3 – ограничитель внутренних цилиндров; 4 – соединительный хомут; 5 – внешний цилиндр; 6 – криогенно-гравийный элемент фильтра; 7 – внутренний разрезной цилиндр; 8 – внутренний сплошной цилиндр

Для формирования единичного блока КГЭ фильтра *6* используются соответственно цилиндры *5, 7* и *8*, которые изготовляются из поливинилхлоридной трубы. Внешний цилиндр *5* состоит из двух половин соединенных между собой хомутом *4*.

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 изготовляется согласно [142]. Желатин марки П-11 является пригодным к использованию и не нуждается в предварительной его подготовке.

4) Подготовка гравийно-минераловяжущей смеси для изготовления КГЭ фильтра. Смесь гравийного материала и минераловяжущего вещества для изготовления КГЭ фильтра может изготовляться с разными концентрациями минераловяжущего вещества.

В табл. 3.16 приведенные массы веществ, необходимых для изготовления секции КГЭ фильтра.

Таблица 3.16

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 минераловяжущее вещество;

3. Все перемешивается миксером до получения однородной массы;

4. Полученная масса выдерживается 20−30 мин 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-минераловяжущую 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) Омоноличевание КГЭ фильтра по криогенной технологии осуществляется в морозильной камере при температуре – 16°С 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*.

8) Оценка качества изготовленного КГЕ 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. 3.33).

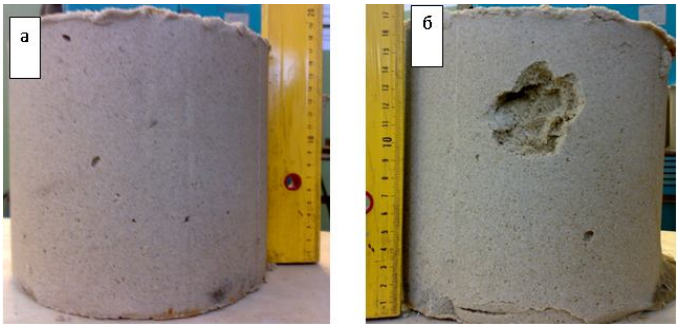


Рис. 3.33. Пример качественного (а) и некачественного (б) формирования КГЭ

Наличие таких недостатков изготовления элемента недопустимо.

Схема рабочей части гравийного фильтра приведена на рис. 3.34.

После сборки КГФ осуществляется его транспортировка на колонне бурильных труб по стволу скважины. При этом время транспортировки условно можно разбить на: $t_{ст}$ – время транспортировки по стволу скважины до статического уровня на глубину $h_{ст}$; $t_{о.св}$ – время транспортировки КГФ в водной среде на остаток длины свечи; $t_{н}$ – время наращивания бурильной колонны; $t_{св}$ – время спуска одной свечи в водной среде, где $l_{св}$ – длина свечи (рис. 3.35).

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. 3.35, его можно определить как

$$t_{об} = \sum t_{н} + \sum t_{св} + t_{сб} + t_{ст} + t_{о.св},$$

где $\sum t_{н}$ – суммарное время наращивания бурильной колонны; $\sum t_{св}$ – суммарное время спуска бурильной колонны; $t_{сб}$ – время сборки блочного фильтра.

В свою очередь

$$\sum t_н = t_н \, n_н \, ,$$

$$\sum t_{св} = t_{св} \, n_{сп} \, ,$$

где $n_н$ – число операций по наращиванию колонны бурильных труб; $n_{сп}$ – количество свечей в колонне.

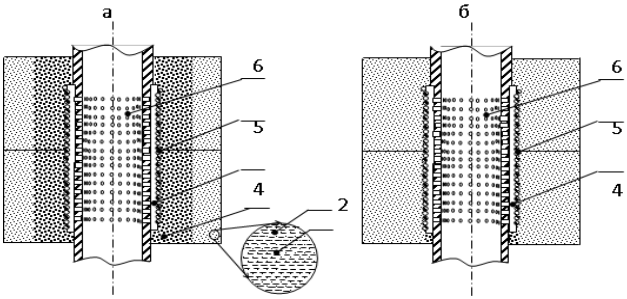


Рис. 3.34. Схема рабочей части гравийного фильтра:
а – многослойный фильтр в сборе; б – однослойный фильтр в сборе; 1 – материал внешнего слоя гравийной обсыпки; 2 – минераловяжущий материал; 3 – материал внутреннего слоя гравийной обсыпки; 4 – подкладные прутки; 5 – проволочная обмотка; 6 – трубчатый каркас фильтра

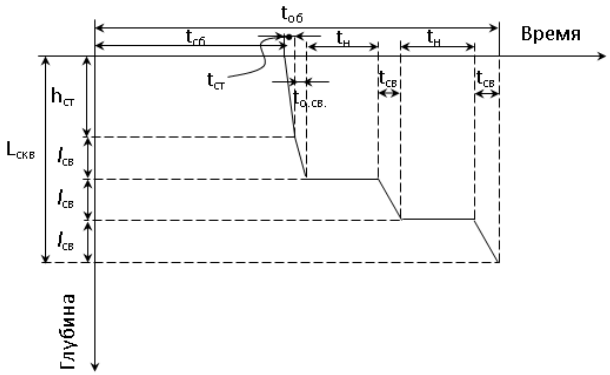


Рис. 3.35. Баланс времени, затрачиваемый на оборудование скважины КГФ

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

$$t_{КГФ} > t_{об.}$$

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

$$t_{КГФ}=kt_{об},$$

где k – коэффициент запаса времени.

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. 3.17).

Применение нетрадиционной технологии оборудования буровых скважин гравийным фильтром позволяет:

- 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 непроизводственных затрат времени и средств при улучшении качества работ.

Таблица 3.17

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

Продолжение табл. 3.17

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

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, авторами предлагается в производственных условия для оборудования водоприемной части буровых скважин применять манжетную технологию. Схема оборудования водоприемной части буровых скважин приведена на рис. 3.36.

Примечание:

где + – снижение материальных затрат;

– – увеличение материальных затрат;

X – операция отсутствует.

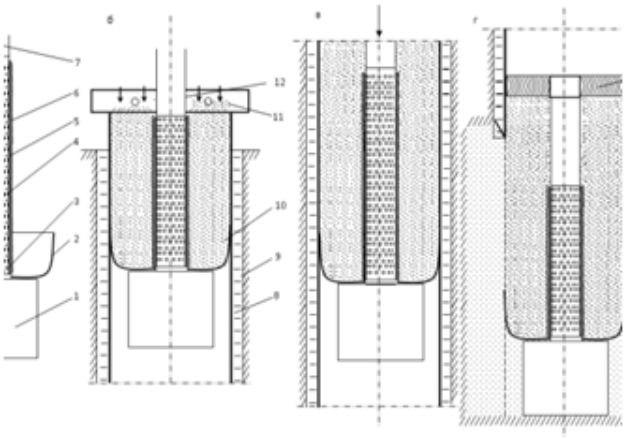


Рис. 3.36. Схема технологии оборудования гравийным фильтром водоприемной части скважины:
а – фильтровая колонна в сборе; б – формирование гравийного фильтра на устье скважины; в – транспортировка гравийного фильтра по стволу скважины; г – гравийный фильтр в рабочем состоянии;1 – отстойник повышенного контура; 2 – манжета; 3 – хомут манжеты; 4 – рабочая часть фильтровой колонны; 5 – подкладные прутки; 6 – проволочная 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

Каркас фильтровой колоны 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. 3.37) [12, 39].

Диаметры отстойника d_o и надфильтровой трубы $d_н$ обычно равны диаметру рабочей части фильтра $d_{рч}$ или его каркаса

$$d_o^{\,m}=d_{рч}=d_н,$$

при этом диаметр фильтра равен

$$d_{рч} = d^{б}_{вг} - 100, \text{ мм}$$

где $d^{б}_{вг}$ – 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.

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 авторами [128] предлагается к использованию в скважинах усовершенствованная фильтровая колонна с отстойником повышенного контура (рис. 3.38).

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

$$d_o^{пк} = d^{б}_{вг} - (1…20 \text{ мм}).$$

Тогда $d_o^{пк} > d_o^{т}$ 99…80 мм.

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, что в итоге улучшит качество сооружаемой скважины и ее эксплуатационные характеристики.

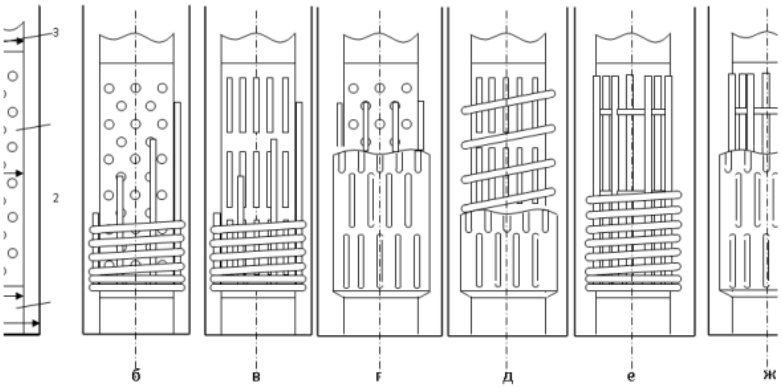


Рис. 3.37. Схемы фильтров:
а – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией;
б – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки;
в – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки;
г – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
д – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из штампованного листа;
е – стержневой фильтр с проволочной обмоткой;
ж – стержневой фильтр с водоприемной поверхностью из штампованного листа;1 – отстойник; 2 – трубчатый каркас фильтра;
3 – надфильтровая труба

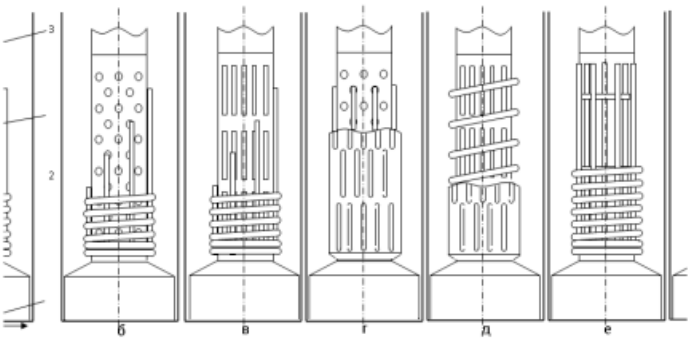


Рис. 3.38. Фильтры с отстойником повышенного контура:
а – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией;
б – трубчатый фильтр, с круглой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки;в – трубчатый фильтр, с щелевой перфорацией с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки;
г – трубчатый 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 проволочной обмоткой;
ж – стержневой фильтр с водоприемной поверхностью из штампованного листа;1 – отстойник повышенного контура;
2 – трубчатый каркас фильтра; 3 – надфильтровая труба

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*, выполненая 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 "впотай" длина надфильтровой трубы должна быть такой, чтобы верхняя часть ее находилась выше башмака обсадной колонны не 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. 3.36, *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. 3.36, *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 количеста гравийного материала;

г) транспортировка гравийного фильтра по стволу скважины (рис. 3.36, *в*). Осуществляется на колонне бурильных труб, присоединенных к левому переходнику;

д) приведение гравийного фильтра в рабочее состояние (рис. 3.36, *г*). Для этого колонну бурильных 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 бурильных трубах. При необходимости осуществляется досыпание гравия;

ж) кольцевой зазор над гравием перекрывается деревянным сальником.

3.5. Осложнения и их устранение присоздании 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 во-

доприемной 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 существуют причины неудовлетворительной работы фильтров блочного типа:

1. Введение склеивающих веществ в массу гравия приводит к образованию тупиковых пор (рис 3.39), 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.

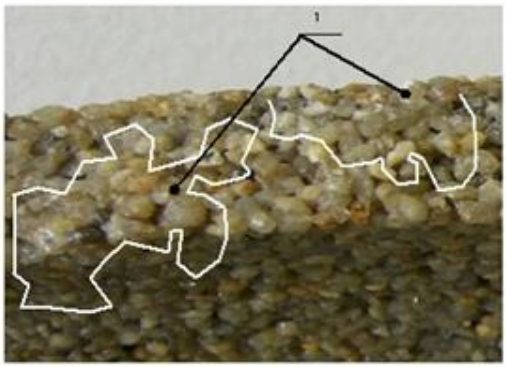


Рис. 3.39. Разрез гравийной обсыпки блочного фильтра фирмы «ПРОЙССАГ изделия, вода и окружающая среда»:
1 – эпоксидная смола, зона тупиковой пористости

2. Образование механического и химического кольматажа на внешней поверхности фильтров и химического кольматажа на внутренней поверхности вследствие проникновения продуктов коррозии, образующихся при разрушении стальных опорных каркасов.

3. 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.

4. 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых, ВСЕГИНГЕО. – М.: Недра, 1986.

2. Справочное руководство гидрогеолога. Т.1/ Под ред. В. Н. Максимова– Л.: Недра, 1979.

3. *Башкатов А.Д.* Современное состояние и тенденции развития методов и технических средств сооружения гидрогеологических скважин. – М.: ВИЭМС, 1988. – 50 с.

4. *Грикевич Э.А.* Гидравлика водозаборных скважин.– М.: Недра, 1986.

5. *Квашнин Г.П., Деревянных А. И.* Водозаборные скважины с гравийными фильтрами.–М.: Недра, 1981. – 216 с.

6. *Алексеев В.С., Ткаченко В.П.* Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения освоения // Труды ВОДГЕО. – М.: ВОДГЕО, 1972. Вып. 35, – С. 90–92.

7. *Гаврилко В. М.*, *Алексеев В. С.* Фильтры буровых скважин. –М.: Недра, 1976. –345 с.

8. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика.–М.: Высш. шк., 1972.

9. *Гольдипейн М. И.* О применении вариационного исчисления к исследованию оснований и откосов. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1969. – № 1. –С. 2–6.

10. *Гринбаум И. И.* О конструкциях фильтров скважин на воду и оценке их гидравлического параметра // Разведка и охрана недр. –М.: МГРИ, 1975. Вып. 5.–С. 53–56.

11. *Гаврилко В. М.* Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологических скважин. – М.: Госстройиздат, 1961. – 384 с.

12. *Гаврилко В. М., Алексеев В. С.* Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1985. – 334 с.

13. *Гаврилко В. М, Алексеев В. С., Гурки А. Я.* Сооружение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин.–М.: Колос, 1974. –176 с.

14. *Оводов В. С.* Сельскохозяйственное водоснабжение. – М.: Сельхозгиз, 1960.

15. *Карамбиров Н. А.* Гравитационные фильтры // Фильтры водозаборных скважин. – М.: Госсторйиздат, 1952.

16. *Башкатов Д. Н., Роговой В. Л.* Бурение скважин на воду.–М.: Колос, 1976. – 206 с.

17. *Гаврилко В. М.* Фильтры водозаборных, водопоказательных и гидрогеологических скважин.–М.: Стройиздат., 1968.

18. Справочник по оборудованию буровых скважин обсыпными фильтрами / *Пятикоп Ю. В., Бандырский И. Н., Дьяченко В. Д., Сенченко В. В.* – М.: Колос, 1983.

19. *Панков А. В.* Состояние и перспективы развития технических средств и технологий при бурении поисковых и разведочных скважин на воду. – М.: ВИЭМС, 1990. – 65 с.

20. *Башкатов Д. Н., Панков А. В., Коломиец А. М.* Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин. М.: Недра, 1992. – 286 с.

21. *Кожевников А. А., Судаков А. К.* Классификация способов создания гравийных фильтров// Науковий вісник Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2010. № 9–10 (119–120). – С. 70–74.

22. *Кожевников А. О.* Технологічні і технічні особливості застосування опускного двошарового 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.

23. *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.

24. *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.

25. *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.

26. *Кожевников А. А.* Анализ технологических и технических особенностей применения опускных двухслойных гравийных фильтров со съемным защитным кожухом. / *А. А. Кожевников, С. В. Гошовский, А. К. Судаков, А. А. Пащенко, А. А. Гриняк, М. А. Колесников* // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2007. Вип.10. –С.47–50.

27. 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. №17р.

28. *Кожевников А. А.* Технология оборудования криогенногравийными 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.

29. *Оноприенко М. Г.* Бурение и оборудование гидрогеологических скважин. – М.: Недра, 1978. – 168 с.

30. *Квашнин Г. П., Дерман А. С.* Технология сооружения скважин на воду с прямой промывкой водой. // Специальные работы в промышленном строительстве. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР. 1975. Вып. 10 (112). – С. 4–11.

31. *Фоменко В. И.* Подбор оптимальных параметров гравийно-засыпных фильтров дренажных и водозаборных скважин.// Тр. ЦНИИгоросушение. –М.: 1970. Вып. 12. –С. 61–70.

32. *Башкатов Д. Н.* Вскрытие и освоение водоносных пластов при бурении гидрогеологических и водозаборных скважин.// Техника и технология геолого-разведочных работ, организация производства. – М.: ВИЭМС, 1976.

33. *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. –М.: МГРИ. 1975.

34. *Драхлис С. Л., Беретов В. В.* Гидродинамические процессы при пробной откачке скважины на воду струйными аппаратами. // Специальные работы в промышленном строительстве. –М.: ЦВНТИ Минмонтажспецстроя СССР. 1975. Вып. 3 (105). – С. 14–18.

35. *Гаврилко В. М. и др.* Опыт оборудования глубоких скважин гравийными фильтрами уширенного контура / //Разведка и охрана недр. –М.: 1967. № 4. –С. 51–55.

36. *Башкатов Д. Н. и др.* Справочник по бурению скважин на воду.–М.: Недра, 1979. –560 с.

37. *Алексеев В. С., Ткаченко В. П.* Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения освоения.// Тр. ВОДГЕО. – 1972. –Вып. 35. – С. 90–92.

38. *Башкатов Д. Н., Олоновский Ю. А., Дрягалин Е. Н.* Разглинизация буровых скважин на воду. –М.: Колос, 1969.

39. *Башкатов А. Д.* Прогрессивные технологии сооружения скважин. – М.: Недра, 2003. – 554с.

40. *Квашнин Г. П., Калашников В. Н., Макаров Л. В.* Применение скважинных расходомеров при сооружении и эксплуатации скважин на воду// Специальные работы в промышленном строительстве. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1973. Вып. 9 (87). –С. 5–8.

41. *Белубеков А. А.*Крепление призабойных зон газовых скважин гравийно-намывными фильтрами. –М.: Газовая промышленность, 1965, № 9.–С. 53–56.

42. *Арестов Б. В., Бузинов С. Н., Доценко В. А. и др.* Опыт оборудования скважин действующего ПХГ проволочными фильтрами. Сер.: Транспорт и хранение газа. –М.: ВНИИЭ Газпром, 1983, № 5. –С. 15–17.

43. *Рабинович Е. З.* Гидравлика. –М.: Недра, 1980. –280 с.

44. *Арестов Б. М.* Разработка и исследование техники и технологии создания гравийных фильтров в скважинах: дис. докт. техн. наук: 05.15.06 / Всес. науч.-иссл. ин. прир. газ. – М., 1987. – 175 с.

45. *Мищенков И. О.* О составе закрепляющего материала трещин при гидравлическом разрыве пласта. –РНТС, Нефтепромысловое дело, № 12. –С.10–11.

46. *Басарыгин Ю. М., Будников В.Ф., Булатов А. И., Проселков Ю.М.*Технологические основы освоения и глушения нефтяных и газовых скважин: Учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 543 с.

47. *Басарыгин Ю. М., Булатов А.И., Проселков Ю. М.* Технология бурения нефтяных и газовых скважин. Учеб. для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 679 с.

48. *Вадецкий Ю. В.* Бурение нефтяных и газовых скважин: Учебник для нач. проф. образования. – М.: ИЦ «Академия», 2003.

49. *Алексеевский Г. В.* Буровые установки Уралмаш завода. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981.

50. *Середа Н. Г., Соловьев Е.М.* Бурение нефтяных и газовых скважин. Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1974. – 456 с.

51. *Вадецкий Ю. В.* Бурение нефтяных и газовых скважин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1978. – 471 с.

52. *Измайлов Л.Б., Булатов А.И.* Крепление нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1976. – 199 с.

53. Пат. RU 2125645 RU, МКИ E21B43/04. Способ установки гравийного фильтра в скважине / Басарыгин Ю. М., Будников В. Ф., Булатов А. И., Макаренко П. П., Павленко Б. А., Юрьев В. А., Царькова Л. М. (RU). – Заявка № 96124172/03. Дата подачи 24.12.1996. Опубликовано: 27.01.1999.

54. Пат. RU 2393339 RU, МКИ E21B43/04. Способ создания гравийного фильтра в скважине / Климовец В. Н., Фёдоров Ю. К., Четверик А.Д. (RU). - Заявка: 2009112893/03. Дата подачи 06.04.2009.

55. Пат. RU 2261957 RU, МКИ E03B3/24, E21B43/04. Способ оборудования гравийными фильтрами вертикальных и наклонных скважин и устройство для его осуществления / Басарыгин Ю. М., Баканов Ю. И., Будников В. Ф., Криворучко Е. П., Ахметов Р. А., Гераськин В. Г., Битаров В. М., Клименко Н. А., Ахметов Т. Р. (RU). – Заявка: 2001125194/03. Дата подачи 13.09.2001.

56. Пат. RU 2309244 RU, МКИ E21B43/04. Способ сооружения фильтровой скважины \ Башкатов А.Д., Керимов В.А (RU). –Заявка: 2006113272/03, Дата подачи 20.04.2006.

57. Пат. RU 2252303 RU, МКИ E03B3/24, E21B43/04. Способ и инструмент для сооружения фильтровой скважины / Башкатов А.Д., Керимов В.А., Петросов Д.А., Клюквин В.Ю. (RU). – Заявка: 2003133502/03. Дата подачи 20.11.2003.

58. Пат. RU 2213207 RU, МКИ E21B43/04, E03B3/24. Способ создания скважинного гравийного фильтра / Алфеев В.Н. (RU), ВяхиревВ.И. (RU), МиргородскийВ.Н. (UA), Подюк В.Г. (RU), СтаценкоВ.В. (RU), ШовкунВ.Н. (UA). – Заявка: 2001134703/03. Дата подачи 24.12.2001

59. Пат. RU 2121056 RU, МКИ E21B43/04. Способ и устройство для заполнения гравием участка буровой скважины и клапанно-выпускной узел устройства / Ллойд Г.Д., Томми Дж.Й. (US) – Заявка: 95115563/03. Дата подачи 06.01.1994.

60. Carlson J, Gurley D, King G, Price-Smith C and Walters F: “Sand Control: Why and How?” Oilfield Review 4, no. 4 (October 1992): 41–53.

61. Behrmann L, Brook JE, Farrant S, Fayard A, Venkitaraman A, Brown A, Michel C, Noordermeer A, Smith P and Underdown D: “Perforating Practices That Optimize Productivity,” Oilfield Review 12, no. 1 (Spring 2000): 52–74.

62. Sherlock-Willis TM, Morales RH and Price P: “A Global Perspective on Sand Control Treatments,” paper SPE 50652, presented at the SPE European Petroleum Conference, The Hague, The Netherlands, October 20-22, 1998. Parlar M and Albino EH: “Challenges, Accomplishments, and Recent Developments in Gravel Packing,” Journal of Petroleum Technology 52, no. 1 (January 2000): 50–58.

63. Houwen O, Ladva H, Meeten G, Reid P and Williamson D: “A New Slogan for Drilling Fluids Engineers,” Oilfield Review 9, no. 1 (Spring 1997): 2–16.

64. Tiffin D, Stevens B, Park E, Elliott F and Gilchrist J: “Evaluation of Filter Cake Flowback in Sand Control Completions,” paper SPE 68933, presented at the SPE European Formation Damage Conference, The Hague, The Netherlands, May 21–22, 2001.

65. Bennett CL: “Sand Control Design for Open Hole Completions,” SPE Distinguished Lecturer Program presentations, September 1999 to May 2000.

66. Parlar M, Bennett, Gilchrist J, Elliott F, Troncoso J, Price-Smith C, Brady M, Tibbles RJ, Kelkar S, Hoxha B and Foxenberg WE: “Emerging Techniques in Gravel Packing Open-Hole Horizontal Completions in High-Performance Wells,” paper SPE 64412, presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Queensland, Australia, October 16-18, 2000.

67. Richard BM, Montagna JM and Penberthy WL Jr : “Horizontal Completions—2 Stand-Alone Screens Vary in Effectiveness,” Oil & Gas Journal 95, no. 32 (August 11, 1997): 63–69.

68. Bennett C, Gilchrist JM, Pitoni E, Burton RC, Hodge RM, Troncoso J, Ali SA, Dickerson R, Price-Smith C and Parlar M: “Design Methodology for Selection of Horizontal Open-Hole Sand Control Completions Supported by Field Case Histories,” paper SPE 65140, presented at the SPE European Petroleum Conference, Paris, France, October 24–25, 2000.

69. Perdue JM: “Completion Experts Study Gulf of Mexico Horizontal Screen Failures, Petroleum Engineer International 69, no. 6 (June 1996): 31–32.

70. Tiffin DL, King GE, Larese RE and Britt LK: “New Criteria for Gravel and Screen Selection for Sand Control,” paper SPE 39437, presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 18–19, 1998. Bennett et al, ссылка 10.

71. Penberthy Jr WL, Bickham KL and Nguyen HT: “Horizontal Completions-Conclusion: Gravel Packing Prevents Productivity Decline,” Oil & Gas Journal95, no. 35 (September 1, 1997): 56–60.

72. Pitoni E, Ballard DA and Kelly RM: “Changes in Solids Composition of Reservoir Drill in Fluids During Drilling and the Impact on Filter Cake Properties,” paper SPE 54753, presented at the SPE European Formation Damage Conference, The Hague, The Netherlands, May 31–June 1, 1999.

73. Jones LG, Yeh CS, Yates TJ, Bryant DW, Doolittle MW and Healy JC: “Alternate Path Gravel Packing,” paper SPE 22796, presented at the 66th SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, USA, October 6–9, 1991.

74. Jones LG, Tibbles RJ, Myers L, Bryant D, Hardin J and Hurst G: "Gravel Packing Horizontal Wellbores with Leak-Off Using Shunts," paper SPE 38640, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA, October 5–8, 1997.

75. Karlstad S, Sherlock-Willis T, Rajan S, Samsonsen B and Monstad PA: "An Evaluation and Design Approach to Gravel-Pack Treatments in the Gullfaks Field," paper SPE 48978, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 27–30, 1998.

76. Sherlock-Willis T, Romero J and Rajan S: "A Coupled Wellbore-Hydraulic Fracture Simulator for Rigorous Analysis of Frac-Pack Applications," paper SPE 39477, presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 18–19, 1998.

77. Tibbles R, Blessen E, Qian X, Steven B, Pardo C, Hurst G, Kubota R and Mysko P: "Design and Execution of a 3000-ft Horizontal Gravel-Packed Completion (A Kazakhstan Case History)," paper SPE 64410, presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Queensland, Australia, October 16–18, 2000.

78. Smejkal KD and Penberthy WL Jr: "Horizontal Completions—1 Proper Drilling, Displacing Critical for Open Hole Completions," Oil & Gas Journal 95, no. 29 (July 21, 1997): 71–78.

79. Foxenberg WE and Lockett CD: "Displacement Technology to Ensure a Clean Well Bore," Petroleum Engineer International 71, no. 10 (October 1998): 23–28. Price-Smith C, Bennett C, Ali SA, Hodge RM, Burton RC and Parlar M: "Open Hole Horizontal Well Cleanup in Sand Control Completions: State of the Art in Field Practice and Laboratory Development," paper SPE 50673, presented at the SPE European Petroleum Conference, The Hague, The Netherlands, October 20–22, 1998.

80. Hodge RM, Augustine BG, Burton RC, Sanders WW and Atkinson DJ: "Evaluation and Selection of Drill-In Fluid Candidates to Minimize Formation Damage," SPE Drilling and Completion 12, no. 3 (September 1997): 174–179.

81. Burton RC and Hodge RM: "The Impact of Formation Damage and Completion Impairment on Horizontal Well Productivi-

ty," paper SPE 49097, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 27–30, 1998.

82. Brady ME, Bradbury AJ, Sehgal G, Brand F, Ali SA, Bennett CL, Gilchrist JM, Troncoso J, Price-Smith C, Foxenberg WE and Parlar M: "Filtercake Cleanup in Open-Hole Gravel-Packed Completions: A Necessity or a Myth?" paper SPE 63232, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, USA, October 1–4, 2000.

83. Parlar M, Tibbles RJ, Chang FF, Fu D, Morris L, Davison M, Vinod PS and Wierenga A: "Laboratory Development of a Novel, Simultaneous Cake-Cleanup and Gravel-Packing System for Long, Highly-Deviated or Horizontal Open-Hole Completions," paper SPE 50651, presented at the SPE European Petroleum Conference, The Hague, The Netherlands, October 20–22, 1998.

84. Brady ME, Ali SA, Price-Smith C, Sehgal G, Hill D and Parlar M: "Near Wellbore Cleanup in Openhole Horizontal Sand Control Completions: Laboratory Experiments," paper SPE 58785, presented at the SPE International Symposium on Formation Damage, Lafayette, Louisiana, USA, February 23–24, 2000.

85. Stanley FO, Rae P and Troncoso JC: "Single-Step Enzyme Treatment Enhances Production Capacity on Horizontal Wells," paper SPE/IADC 52818, presented at the SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, The Netherlands, March 9–11, 1999.

86. Barrilleaux MF, Ratterman EE and Penberthy WL Jr: "Gravel Pack Procedures for Productivity and Longevity," paper SPE 31089, presented at the SPE nternational Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 14–15, 1996. Penberthy et al, ссылка 14.

87. Becker TE and Gardiner HN: "Drill-In Fluid Filter Cake Behavior During the Gravel-Packing of Horizontal Intervals–A Laboratory Simulation," paper SPE 50715, presented at the SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas, USA, February 16–19, 1999.

88. Johnson MH, Ashton JP and Nguyen H: "The Effects of Erosion Velocity on Filter-Cake Stability During Gravel Placement of Openhole Horizontal Gravel-Pack Completions," paper SPE

23773, presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 26–27, 1992.

89. Saldungaray PM, Troncoso JC and Santoso BT: "Simultaneous Gravel Packing and Filter Cake Removal in Horizontal Wells Applying Shunt Tubes and Novel Carrier and Breaker Fluid," paper SPE 68205, presented at the SPE Middle East Oil Show, Bahrain, March 17–20, 2001.

90. Mason SD, Houwen OH, Freeman MA, Brady ME, Foxenberg WE, Price-Smith CJ and Parlar M: "e-Methodology for Selection of Wellbore Cleanup Techniques in Open-Hole Horizontal Completions," paper SPE 68957, presented at the SPE European Formation Damage Conference, The Hague, The Netherlands, May 21–22, 2001.

91. McKay G, Bennett CL and Gilchrist JM: "High Angle OHGP's in Sand/Shale Sequences: A Case History Using a Formate Drill-In Fluid," paper SPE 58731, presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 23–24, 2000.

92. Gilchrist JM, Sutton LW Jr and Elliott FJ: "Advancing Horizontal Well Sand Control Technology: An OHGP Using Synthetic OBM," paper SPE 48976, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, September 27–30, 1998.

93. Chambers MR, Hebert DB and Shuchart CE: "Successful Application of Oil-Based Drilling Fluids in Subsea Horizontal, Gravel-Packed Wells in West Africa," paper SPE 58743, presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA, February 23–24, 2000.

94. Price-Smith C, Parlar M, Kelkar S, Brady M, Hoxha B, Tibbles RJ, Green T and Foxenberg B: "Laboratory Development of a Novel, Synthetic Oil-Based Reservoir Drilling and Gravel-Pack Fluid System That Allows Simultaneous Gravel Packing and Cake-Cleanup in Open-Hole Completions," paper SPE 64399, presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Brisbane, Queensland, Australia, October 16–18, 2000.

95. Sanford BD, Terry C, Bednarz MJ, Palmer C and Mauldin DB: "Expandable Sand Screen Alternative to Fracture-Packing Sand Control," Offshore 61, no. 6 (June 2001): 78-81, 106.

96. *Петров Л. Г.* Фильтры для буровых колодцев для мелкозернистых песков. // Водоснабжение и санитарная техника. – М.: ГОНТИ, 1938. № 12.

97. *Магурдумов А. М.* Опыт бурения и эксплуатации вод из песчанистых плывунов в Кызыл-Кумах. //Разведка недр. – М.: Госгеолиздат, 1947. № 1.

98. *Айрапетян Г. Э.* Опыт бурения скважин на воду.–М.: Госгеотехиздат. 1957.

99. *Кулиев С. М.* Гравийные фильтры и опыт их применения в нефтяных промыслах.–Баку: Азнефтенздат, 1951.

100. *Щербина И. Н.* Сборные дренажи из пористых блоков.// Информационный сборник. –М.: Гидропроект. 1953. № 2.

101. *Булдей В. Р., Пастухов Г. И.* Опыт применения фильтров из пористого бетона для оборудования трубчатых водопонижающих колодцев. –М.: НИТИ Углестрой, 1955.

102. *Елисеев М. Я.* Клееные гравийные фильтры для буровых скважин // Гидротехника и мелиорация. –М.: 1955. –№ 3.

103. *Быкадоров А. Ф.* Гравийно-звеньевые фильтры для буровых скважин. // Транспортное строительство. –1956. – № 4.

104. *Мавриикий Б. Ф.* Опыт применения гравийного фильтра конструкций РИИЖТа в скважинах, пройденных вращательным способом. // Гидротехника и мелиорация. –1955. –№ 9.

105. *Глебов П. Д., Покровский Н. С.* К вопросу о применении пористых асфальтовых материалов для устройства фильтров трубчатых колодцев. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1958. – № 3.

106. *Медведев С. Р., Любивый П. Г.* Фильтры для трубчатых колодцев из пористого асфальтобетона // Гидротехническое строительство. –1954. – №2.

107. *Бондаренко В. И.* Вертикальный дренаж на строительстве Сталинградского гидроузла. // Гидротехническое строительство. –1959. – №10.

108. *Гаврилко В.М.* Фильтры из пористого асфальтобетона в водозаборных скважинах. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1956. – № 4.

109. *Гаврилко В. М.* О применении асфальтобетонных фильтров. // Гидротехническое строительство. – 1956. – №4.

110. *Спышнов П. А.* Об асфальтобетонных фильтрах. // Строительная газета. – 1957. – № 79 (433).

111. *Ким П. М.* Из опыта внедрения бескаркасных блочных фильтров.// Шахтное строительство. – М.: Госстройиздат. 1959. № 8.

112. *Матвеев М. А., Смирнова К. А.* Пористые силикатные изделия. –М.: Промстройиздат. 1956.

113. *Гаврилко В.М., Бессонов Н. Д.* Фильтры из пористых силикатных материалов для водозаборных скважин. // Водоснабжение и санитарная техника. – М.: Госстройиздат. 1959. № 4.

114. *Гаврилко В. М., Бессонов Н. Д.* Фильтры из пористых силикатных материалов для водозаборных и водопонизительных скважин. // Сб. технической информации. – М.: ГПИ Спецстройпроект и ЦБТИ Министерства строительства РСФСР, 1959.

115. Э. Биске, Bohbrunnen. Verlagvon R. Oldenbourg. Miinchen. 1953.

116. Shryock S. Test show method for improved gravel packing / S. Shryock. - Word Oil, Aug.1, 1979, pp.55–58.

117. Pat. 3973627. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Wellbore gravel pack method./ Hardy W., Schultze E., Shepard J. - publ. date 10.08.1976.

118. Pat. 2942664. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Liner and gravel packing apparatus for wells / Erwin, Burns. - publ. date 06.28.1960.

119. *Спасов В., Христов И.* Опыт проведения гидрогеологических скважин с гравийной засыпкой в Ливии. – М.: Всесоюзный центр переводов научно- технической литературы и документации, 1979.

120. Sausier R. Consideration in gravel pack design /R. Sausier. – J.: of Petroleum Technology, Feb.1974, P. 205– 212.

121. *Мартос В. Н.* Методы борьбы с выносом песка. – М.: ВНИИОЭНГ, 1973.

122. *Тесля А. Г.* Вскрытие пластов и опробование скважин при бурении на минеральные воды. –М.: Недра, 1983.

123. 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

124. Pat. 2014770. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Apparatus for placing gravel in wells /Layne L, Leslie A. - publ. date 09.17.1935

125. Pat. 2372461. United States, IC E21B43/04; E21B43/02. Apparatus for placing gravel in wells /Charles, Uren Lester. - publ. date 03.27.1945

126. СНиП II-31-74 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Строиздат, 1975. – 150 с.

127. *Кожевников А. А. и др.* О выборе компоновки фильтровой колонны. // Породоразрушаючий та металообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2006. Вып. 9. С.47–50.

128. Пат. UA 37193 U. UA, МПК E21 B43/00. Спосіб обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин гравійними фільтрами з пухким обсипанням / О. А. Кожевников, А. К. Судаков, О. А. Пащенко, О. Ф. Камишацький. – № U200805236. Замовл. 22.04.08; Друк 25.11.08, Бюл. №22.

129. Пат. 87993. UA, МКИ E21 B43/00. Гравійний фільтр / О.А.Кожевников, А.К. Судаков (UA). –№a200605532. Замовл. 22.05.06; Друк. 10.09.09; Бюл. №17р.

130. Пат. 88726. UA, МКИ E21 B43/00. Гравійний фільтр / О. А. Кожевников, А. К. Судаков, О. А. Пащенко, О. Ф. Камишацький, В. І. Тітов, О. А. Лексиков, В. П. Донцов. - №a200803913. Замовлено 28.03.08; Друк. 10.11.09; Бюл. №20.

131. *Кожевников А. А., Гошовский С. В., Судаков А. К.* Технология оборудования криогенно-гравийными фильтрами водоприемной части буровой скважины//// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2009. Вып.12. С.62 – 66.

132. *Кожевников А. А., Судаков А. К.* К вопросу об оборудовании водоприемной части буровых скважин криогенно-гравийными фильтрами. // Науковий вісник НГУ. – Д.: НГУ, 2009. № 7. С. 13–16.

133. К*ожевников А. А.,Судаков А. К., Гриняк А. А.* Гравийные фильтры с использованием эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния вяжущего вещества. // Поро-

доразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Киев: ИСМ им. Бакуля НАН Украины, 2008. Вып.11. – С.84–88.

134. *Коваль В. Д.* Производство желатины. –М.: Промстройиздат 1951.

135. Sauer E., Chemie und Fabrikation der tierischen Leime und der Gelatie, B., 1958.

136. *Пономарев С. В., Мищенко С. В., Дивин А. Г.* Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений.– Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2006.

137. *Цедерберг Н. В.* Теплопроводность газов и жидкостей. – М.: Энергоиздат, 1963. – 408 с.

138. *Волков Д. П., Кораблев В. А., Заричняк Ю. П.* Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теплофизические свойства веществ». – С-Пб: СПб ГУ ИТМО. 2006. – 66 с.

139. *Варгафтик Н. Б.* Теплофизические свойства веществ. –М.–Л., 1956. –257с.

140. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов / *Н. Б. Варгафтик, Л. П. Филлипов, А. А. Тарзиманов, Е. Е. Топкий*. –М.: Энергоатомиздат, 1990. –352 с.

141. *Теляшева Г. Д.* Теплопередача. – М.: Энергоатомиздат, 1998. –76 с.

142. Желатин. Технические условия: ГОСТ 11293 - 89. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. –35 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие	3
	ГЛАВА I. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАВИЙНЫХ ФИЛЬТРОВ БУРОВЫХ СКВАЖИН	6
1.1	Типы и конструкции фильтровых скважин на вод	6
1.2	Долговечность буровых скважин	14
1.3	Рекомендуемая область применения гравийных фильтров в буровых скважинах	30
1.4	Требования, предъявляемые к конструкциям фильтров	35
1.5	Схемы оборудования водоприемной части буровых скважин гравийными фильтрами	48
1.6	Классификация способов сооружения гравийных фильтров буровых скважин	49
	ГЛАВА II. КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ГРАВИЙНО-ЗАСЫПНЫХ ФИЛЬТРОВ	64
2.1	Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с прямой промывкой промывочной жидкостью	64
2.2	Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с обратной промывкой промывочной жидкостью	92
2.3	Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с применением метода замещения	103
2.4	Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносных песков роторным бурением с комбинированной промывкой	105

2.5 Технология создания гравийно-засыпных фильтров при вскрытии водоносного пласта с одновременной посадкой фильтровой колонны и прямой промывкой водой 122
2.6 Технология создания гравийно-засыпных фильтров в гидрогеологических скважинах глубиной 500–1000 м и более 130
2.7 Технология создания гравийно-засыпных фильтров при ударно-канатном бурении 143
2.8 Технология создания гравийно-засыпных фильтров в скважинах подземных хранилищ газа 150
2.9 Технология создания гравийно-засыпных фильтров при сооружении эксплуатационных скважин на нефть 163
2.10 Осложнения и их устранение при создании гравийно-засыпных фильтров 271
ГЛАВА III. КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ГРАВИЙНО-ОПУСКНЫХ ФИЛЬТРОВ 278
3.1 Технологии создания гравийно-опускных корзинчатых фильтров 279
3.2 Технологии создания гравийно-опускных кожуховых фильтров 283
3.3 Технологии создания гравийно-опускных блочных фильтров 298
3.4 Технология создания гравийно-опускного манжетного фильтра 353
3.5 Осложнения и их устранение при создании гравийно-опускных фильтров 358
Библиографический список 361

Учебное издание

Анатолий Александрович Кожевников
Майлыбай Отебаев
Андрей Константинович Судаков
Боранбай Товбасарович Ратов

ГРАВИЙНЫЕ ФИЛЬТРЫ БУРОВЫХ СКВАЖИН НА ЖИДКИЕ И ГАЗООБРАЗНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Нач. РО ИИЦ *З. А. Губайдулина*
Редактор *Г. М. Дюсенбаева*
Компьютерная верстка *С. Е. Орысбекова*

Подписано в печать 25.11.2016 г.
Тираж 300 экз. Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.
Уч.-изд.л. 23,5. Усл.п.л. 21,9. Заказ № 770. Цена договорная.

Издание Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева
Департамент по связям с общественностью КазНИТУ
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-008-5

