

УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ФАКУЛЬТЕТОВ ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ
И СПЕЦИАЛИСТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Д.Н. БАШКАТОВ, В.Л. РОГОВОЙ

БУРЕНИЕ СКВАЖИН НА ВОДУ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для слушателей факультетов повышения квалификации руководителей кадров и специалистов сельского хозяйства.

МОСКВА,
«К О Л О С», 1976

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение

Глава I. Современные способы бурения скважин на воду

Глава II. Буровые установки

Глава III. Крепление скважин

- § 1. Конструкции скважин
- § 2. Обсадные трубы
- § 3. Цементирование скважин

Глава IV. Пластмассовые фильтры буровых скважин

- § 1. Основные требования, предъявляемые к фильтрам буровых скважин
- § 2. Конструкции пластмассовых фильтров
- § 3. Гидравлическое сопротивление на контакте фильтров с водоносными породами
- § 4. Разработка фильтров-каркасов из пластмасс
- § 5. Испытания пластмассовых фильтров в полевых условиях и их внедрение

Глава V. Технология бурения

- § 1. Выбор типа и модели долота
- § 2. Осевая нагрузка и частота вращения бурового инструмента
- § 3. Промывка скважины
- § 4. Конструкция бурильного вала

Глава VI. Вскрытие и освоение водоносных пластов

- § 1. Современные представления о процессе коагуляции пласта
- § 2. Способы вскрытия пласта
- § 3. Современные способы освоения (разглинизации)
- § 4. Оценка различных способов вскрытия и освоения пласта
- § 5. Бурение скважин с прямой промывкой водой
Указатель литературы

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в нашей стране строят около 30 тыс. буровых скважин на воду, которые используют в народном хозяйстве для водоснабжения, обводнения пастбищ, водопонижения, добычи минеральных, термальных вод и рассолов, при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях.

По определению академика В. И. Вернадского, подземные воды — самое ценное полезное ископаемое. Поистине неопределима роль подземных вод в жизнедеятельности человека. Академик А. П. Карпинский так определил ее: «Вода — это самое драгоценное ископаемое. Вода — это не просто минеральное сырье; это не только средство для развития промышленности и сельского хозяйства; вода — это действенный проводник культуры; это живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было»*.

Для сельского хозяйства наибольшее значение имеют пресные подземные воды, используемые для водоснабжения, обводнения пастбищ и для орошения.

Наша страна располагает огромными ресурсами пресных подземных вод — около 6—8 тыс. м³/с. Но запасы подземных вод по территории страны распределены крайне неравномерно, поэтому в ряде областей (юг Украины, многие районы Средней Азии, Казахстана и др.) имеется дефицит в подземных водах. Этим объясняется, что в среднем используется около 10% подземных вод от общего объема прогнозных ресурсов.

Буровые скважины — наиболее эффективные сооружения для добычи подземных вод. В настоящее время в стране эксплуатируется около 500 тыс. скважин и 600 тыс. шахтных колодцев.

Бурение и оборудование скважин на воду занимает важное место в народном хозяйстве страны, стоимость

* Карпинский А. П. Собр. соч. М — Л., Изд. АН СССР, 1939, т. II, с. 77.

строительно-монтажных работ составляет более 350 млн. руб. в год.

За последние годы существенно изменились технические средства бурения скважин, а также технология и организация буровых работ. Разработаны и успешно внедрены в производство новые буровые установки 1БА-15В, УВБ-600, освоено бурение скважин с обратной промывкой. Существенные достижения имеются в области технологии бурения, освоения скважин и их гидрогеологического опробования.

Основное внимание в книге уделено изложению новых и наиболее важных вопросов техники и технологии буровых работ, не получивших еще достаточно широкого освещения в учебной и технической литературе. Авторами рассмотрен лишь вращательный способ бурения с прямой промывкой, на долю которого приходится около 90% всего объема буровых работ.

Развитие химической промышленности, появление новых материалов создали предпосылки для разработки более совершенных и долговечных конструкций фильтров, в частности из пластмасс. Особое внимание в книге уделено разработке и исследованиям пластмассовых фильтров, а также исследованиям гидравлического сопротивления фильтров на контакте с породой. Подробное освещение большинства конструкций фильтров, основы их расчета, подбора, монтажа и эксплуатации содержатся в специальной литературе (Гаврилко, 1968; СНиП II-31—74, ч. II; Логинов, Шуссер, 1974).

Такие вопросы, как водоподъемные средства, промысловые жидкости, аварии в скважинах, техника безопасности, ударно-канатное бурение, организация работ, эксплуатация водозаборных скважин и другие, или достаточно полно описаны в технической литературе, или представляют самостоятельный интерес и требуют особого рассмотрения, что в объеме настоящей работы выполнить не представлялось возможным.

Д. Н. Башкатовым написаны введение и главы I, II, III, V, VI, В. Л. Роговым — глава IV.

Глава I

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ВОДУ

В практике бурения скважин на воду наиболее широкое применение получили следующие способы: вращательный с прямой промывкой, вращательный с обратной промывкой, вращательный с продувкой воздухом и ударно-канатный.

Каждый из этих способов имеет преимущества и недостатки, а следовательно, и рациональную область применения применительно к решению конкретных задач, а также гидрогеологическим и другим условиям производства работ.

До середины 40-х годов основным способом бурения скважин на воду в нашей стране был ударно-канатный. Далее началось интенсивное внедрение вращательного способа бурения с прямой промывкой глинистым раствором. В настоящее время наиболее широкое распространение получил вращательный способ бурения с прямой промывкой. В последние годы в практику буровых работ с большим успехом внедряется вращательный способ бурения с обратной промывкой.

Первые попытки применения вращательного способа бурения с продувкой воздухом относятся к началу 60-х годов, но из-за специфических особенностей он используется в настоящее время в ограниченном масштабе.

Преимущества, недостатки и рекомендации по применению различных способов бурения приведены в таблице 1.

Большими преимуществами отличаются установки комбинированного бурения, в которых используются не один, а два способа бурения, например вращательное бурение с обратной промывкой с ударно-канатным (УКС-22М-ОП, УКС-30М-ОП) и вращательным способом с прямой промывкой (УРБ-2А-ОП, УРБ-3АМ-ОП, 1БА-15В-ОП, 1БА-15К и др.). Причем бурение с обратной

Характеристика способов бурения

Способ бурения	Рекомендации по применению	Буровые установки
Вращательный с прямой промывкой	<p>При бурении скважин в породах различной твердости и на разную глубину. В случае применения испытательных снарядов и геофизического комплекса скважинных методов. При технологических приемах, обеспечивающих минимальную кольматацию призабойной зоны пласта (бурение с водой, посадка фильтров расходкой, применение азрированных растворов, разглинизации через промывочные окна и др.). При бурении скальных пород с поверхности использовать буровые установки колонкового бурения</p>	<p>1БА-15В, УРБ-3А2, УРБ-3А3, УРБ-2А2, СБУДМ-1503ИВ, УРБ-4ШМ, 1БА-15К, 1БА-15Н, УВБ-600, УБШ-1м, БУ-50Бр1, БУ-50БрД, БУ-75Бр, БУ-75БрМ, БУ-75БрД, БУ-80БрД, БУ-80БрЗ, ЗИФ-650М, ЗИФ-1200МР и др</p>
Вращательный с об-ратной промывкой	<p>При бурении скважин в мягких и рыхлых породах до глубины 200—300 м. При залегании уровня воды на глубине более 2—3 м от поверхности земли</p> <p>При бурении скважин большого диаметра (до 1000—1500 м)</p>	<p>ФА-12, 1БА-15К, УРБ-3АМ-ОП, УРБ-2А-ОП, УКС-22М-ОП, УКС-30М-ОП, УВД-100, УШБ-16-ОП</p>

Способ бурения	Рекомендации по применению	Буровые установки
Вращательный с продувкой воздухом	При бурении в устойчивых против обрушения породах и при водопритоках не более 2—3 л/с. При бурении скважин на глубину до 300—400 м (для имеющегося парка передвижных компрессоров типа ЗИФ-55, ДК-9М и др). В случае применения азрированных растворов, поверхностно-активных веществ и других средств борьбы с образованием пробок породы в стволе скважины	УРБ-3А2, 1БА-15В, 1БА-15Н, УВБ-600, ЗИФ-1200МР, ЗИФ-650М и др.
Ударно-канатный	При бурении скважин в сложных гидрогеологических условиях на глубину до 100—150 м. В случае применения вибрационных механизмов для принудительной посадки и извлечения обсадных труб, а также технологии бурения при доливе воды в ствол скважины и др.	УКС-22М, УКС-30М, КС-24
Комбинированный (вращательный шнековый, ударно-канатный и вращательный с промывкой)	При бурении шнековым способом в мягких и рыхлых породах до глубины 50 м и оборудовании водоприемной части скважины по технологии ударно-канатного или роторного бурения	ЛБУ, УГБ-50М, УШ-1Т, УШ-2Т и др

Показатели гидрогеологической информации у различных способов бурения

Способ бурения	Количественные и качественные показатели гидрогеологической информации			
	фиксирование водоносных горизонтов, встреченных в процессе бурения	ориентировочная погрешность установления границ залегания водоносных горизонтов	предварительная оценка гидрогеологических параметров водоносных горизонтов при бурении скважин	оценка гидрогеологических параметров водоносных горизонтов откачками или нагнетаниями (наливами)
Вращательный с прямой промывкой глинистым раствором: сплошным забоем	Маломощные и малоледбитные горизонты могут быть не зафиксированы, поэтому после окончания бурения требуется проведение каротажных работ	От $\pm 1,0$ м и более. При каротажных работах $\pm (0,5—1,0$ м)	Весьма неполная. Требуется проведение специальных работ по опробованию водоносных горизонтов испытателями пластов скважинными расходами и др.	За счет глинизации продуктивных горизонтов и фильтров наблюдаются значительные сопротивления прифилтровой зоны и фильтра, что искажает природную характеристику пласта и достоверность проводимых исследований. Требуется проведение работ по разглинизации скважин
кольцевым забоем	При уменьшенной длине рейса все водоносные горизонты могут быть зафиксированы. С увеличением длины рейса имеется возможность пропуска маломощных и малоледбитных горизонтов	При малой длине рейса до $\pm 0,1$ м	То же	То же

Способ бурения	Количественные и качественные показатели гидрогеологической информации			
	фиксирование водоносных горизонтов, встреченных в процессе бурения	ориентировочная погрешность установления границ залегания водоносных горизонтов	предварительная оценка гидрогеологических параметров водоносных горизонтов при бурении скважин	оценка гидрогеологических параметров водоносных горизонтов откачками или нагнетаниями (наливами)
Вращательный с прямой промывкой водой:	Практически можно определять все водоносные горизонты То же	До $\pm 1,0$ м. При каротажных работах $\pm (0,5-1,0)$ м При малой длине рейса до $\pm 0,1$ м	Весьма полная	Весьма качественная
сплошным забоем				
кольцевым забоем	»	»	»	»
Вращательный с обратной промывкой водой	»	»	»	»
Ударно-канатный	Практически можно определять все водоносные горизонты. Маломощные водоносные горизонты при бурении с подливом воды могут быть не зафиксированы	До $\pm (0,5-1,0)$ м	»	»
Комбинированный	Можно определять первый водоносный горизонт при шнековом бурении	При шнековом бурении до $\pm 0,5$ м	При шнековом способе бурения весьма неполная	Весьма качественная при оборудовании водоприемной части скважины по технологии ударно-канатного бурения

промывкой проводят путем несложной переоснастки серийных буровых установок.

Наиболее полным показателем оценки того или иного способа бурения и типа установки является стоимость 1 м³ добываемой воды. При этом необходимо также учитывать и проектный показатель возможного количества добытой воды за весь срок работы скважины. Срок эксплуатации скважины и снижение ее производительности (уровня) также могут оказать существенное влияние на выбор способа бурения. Так, скважины, пробуренные вращательным способом с промывкой глинистым раствором, сравнительно быстро (иногда в течение 2—3 лет) снижают настолько производительность, что требуется их восстановление или бурение новых скважин.

При бурении водозаборных скважин в районах со слабой гидрогеологической изученностью, а также при бурении разведочных скважин для обоснования выбора того или иного способа бурения должны быть известны показатели гидрогеологической информации (Башкатов, Тесля, 1970), которые приведены в таблице 2.

Если данный способ бурения не удовлетворяет этим требованиям, то его заменяют или применяют новые технические средства и технологию опробования водоносных горизонтов. Так, широкоизвестный роторный способ бурения с промывкой глинистым раствором в рыхлых разрезах, содержащих малоомощные и слабонапорные водоносные горизонты, в том числе и соленых вод, не может гарантировать решение задачи правильного выбора и оборудования скважины фильтром, так как при разработанной на сегодня технологии бурения практически невозможно определить в разрезе пресные водоносные горизонты и выделить из них наиболее перспективные в фильтрационном отношении. Эту задачу в значительной степени могут решить геофизические каротажные способы (Гринбаум, 1965), а также опробование водоносных горизонтов с помощью испытателей пластов и опережающего способа опробования (Шестаков и др., 1974). Весьма перспективен в этом отношении способ вскрытия водоносных горизонтов с прямой или обратной промывкой водой (Гаврилко и др., 1974).

Анализ указанных факторов позволяет обосновать применение наиболее эффективного способа бурения и типа буровой установки применительно к конкретным условиям производства работ и целевым задачам.

Глава II

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Наибольшее распространение в практике буровых работ вплоть до середины и конца 60-х годов получили передвижные установки на автомашинах типа УРБ-ЗАМ, УРБ-2А, УРБ-2ТМ, АВБ-ТМ, СБУДМ-150ЗИВ, а также установки блочного типа УРБ-4ПМ, УРБ-4ШМ и УБШ-1М.

Эти буровые установки широко освещены в технической литературе (Медведев, Гланц, Григоровский, 1973), поэтому их описание здесь не дается. Технические характеристики этих установок приведены в таблице 3.

Учитывая, что установки ударно-канатного бурения типа УКС-22М и УКС-30М широко известны и описаны в различных справочных руководствах и учебниках (Вортман, 1972), в настоящей работе их описание также не приводится.

ЦНИИподземмаш разработан новый ударно-канатный станок КС-24 в двух модификациях: с электрическим и дизельным приводом. Станок успешно прошел испытания, но вопрос о его серийном изготовлении еще не решен. Установки ударно-вращательного бурения типа БУК-80 и БУК-100 конструкции Гидропроекта применяются в ограниченных масштабах и не представляют интереса для широких кругов специалистов.

Отечественной промышленностью выпускаются новые самоходные установки УРБ-2А2, УРБ-3А2, УРБ-3А3, 1БА-15Н, 1БА-15В, 1БА-15К и УВБ-600.

Установка роторного бурения УРБ-2А2 смонтирована на шасси автомобиля ЗИЛ-157КЕ или ЗИЛ-131. На раме установки крепятся следующие узлы:

раздаточная коробка, передающая вращение на два гидронасоса ПМ № 10 и шестеренчатый гидронасос НШ-10л, которые осуществляют привод гидropодъемника и вращателя;

Техническая характеристика установок вращательного бурения

Показатели	АВБ-ТМ	УРБ 2А	УРБ-2Т
Глубина бурения, м	100	100	200
Конечный диаметр бурения, мм	140	118	151
Грузоподъемность на крюке, т	1,25	2,5	10 (максимальная 12,5)
Установленная мощность главного привода, кВт	79,49	76,54	55,2
Лебедка (тип)	Однобарабанная, четырехскоростная	Двухбарабанная, трехскоростная	Двухбарабанная, трехскоростная
Усилие натяжения каната, кН	12,5	25	25
Скорость подъема бурового инструмента, м/с:			
минимальная	0,24	0,67	0,114
максимальная	1,58	2,03	0,487
Ротор (тип)	Откидной	Откидной	Отсоединяющийся
Размер проходного сечения, мм	76	150	250
Частота вращения, об/мин:			
минимальная	52	106	75
максимальная	334	320	321
Число скоростей	4	3	3
Насос буровой (тип)	НГР250/50	11ГрБ или 11ГрИ	11ГрБ или 11ГрИ
Подача, л/мин:			
минимальная	—	225	225
максимальная	250	300	300
Давление, МПа:			
минимальное	3	4	4
максимальное	3	6,3	6,3
Привод насоса	трактора	От двигателя автомобиля	трактора
Число насосов	1	1	1
Вышка буровая		Мачта высотой	
	9,42 м	11 м	8,9 м

Таблица 3

УРБ-ЗАМ	СБУДМ-150ЗИВ	СБУЭ-150ЗИВ	УРБ-4ЩМ	УБШ-1М
300	150	150	1200	2000
145	151	151	76	76
5 (максимальная 8)	6	6	15 (максимальная 22,5)	28 (максимальная 50)
39,74 или 45,63 Однобарабанная, трехскоростная	35,33 Однобарабанная	35,33 Однобарабанная	147,2 Однобарабанная, четырехскоростная	250,8
30	20	20	57,5	85
0,54 1,56 Стационарный	0,18 1,15 Шпиндельный	0,47 0,95 Подвижный вращатель	0,278 1,24 Стационарный	0,25 1,39
250	44	—	360	360
110	88	95	83	82
314	510	360	215	276
3	5	3	4	3
11ГрБ или 11ГрИ (устанавливается отдельно)	ГР-16/40	ГР-16/40	9МГр или 9МГр-61	9МГр или 9МГр-61
225	32	32	219	219
300	267	267	1002	1002
4	—	—	3,5 (4,5)	3,5 (4,5)
6,3	4	4	16	16
От двигателя автомобиля		От электродвигателя	От двигателя: Д-108	В2-300А-С2
1	1	1	2	2
	Вышка высотой 16 м		Мачта А-образная высотой 27,8 м	Вышка башенного типа высотой 27,6 м

Показатели	АВБ-ТМ	УРБ-2А	УРБ-2ТМ
Талевая оснастка Подача инструмента	1×1 Принудительная с помощью ручной лебедки и свободная с лебедки	1×1 Принудительная канатно-цепная с усилием до 20 кН и свободная с лебедки	2×3 Гидравлический механизм с канатно-цепной подачей и усилием до 20 кН
Монтажно-транспортная база	Гусеничный трактор Т-100М	Шасси автомобиля ЗИЛ-157КЕ	Трактор трелевочный ТДТ-75
Масса буровой установки, т	14,83	10,56	13,7

Техническая характеристика установки УРБ-2А2

Глубина бурения при использовании бурильных труб диаметром 60,3 мм, м	200
То же, при бурении с продувкой воздухом, м	50
То же, при бурении шнеками, м	30
Конечный диаметр бурения, мм	130
Установленная мощность главного привода, кВт	76,54
Главный привод	Бензиновый, отбор мощности 44,16 кВт от ходового двигателя автомобиля ЗИЛ-157КЕ мощностью 76,54 кВт при 2600 об/мин
Подъемный механизм	Одноцилиндровый гидравлический подъемник двойного действия, обеспечивающий с помощью вращателя спусковые и подъемные операции, дополнительное давление и разгрузку инструмента, а также подъем и опускание мачты. Талевый блок прикреплен к штоку гидроподъемника и имеет три канатных ролика для талевой оснастки
Скорость подъема инструмента, м/с	0—0,64

Продолжение

УРБ-ЗАМ	СБУДМ-150ЗИВ	СБУЭ-150ЗИВ	УРБ-4ШМ	УБШ-1М
1×2 Свободная с лебедки	1×1 Свободная с лебедки и рычажно-дифференциальная	1×1 Свободная с лебедки и цепная через ведущую трубу	3×4 Свободная	3×4 с лебедки
Шасси автомашины МАЗ-500	Шасси автомашины ЗИЛ-157КЕ		Стационарные блоки на салазках или колесах	Блочные основания на салазках
13,6	10,2	8,7	54	56,5

Продолжение

Число скоростей
Привод подъемного механизма

Бесступенчатое изменение скоростей
Три гидронасоса с приводом от ходового двигателя. Подача каждого гидронасоса 142 см³ масла за один оборот вала, рабочее давление 10 МПа. Вспомогательный насос НШ-10 с подачей 10 см³ масла за один оборот

Рабочее давление в гидросистеме, МПа

8

Вращатель

Подвижный, с гидравлическим приводом

частота вращения, об/мин:

минимальная
максимальная

0—125
0—335

длина хода вращателя, м

5,4

Кронблок:

грузоподъемность, т
число канатных шкивов

4
2

диаметр канатных шкивов, мм

390
11ГрИ

Насос буровой
приводная мощность, кВт

35,33

подача, л/с:	
минимальная	3,7
максимальная	6,5
давление, МПа:	
минимальное	4
максимальное	6,3
вид привода	Клиноременная передача
масса, т	1,15
Управление механизмами установки	Гидравлическое, с пульта буриль- щика
Вышка буровая	Мачта трубчатая высотой 8,3 м и с винтовыми опорными домкратами
Подача инструмента на забой	Принудительная, гидравлическим подъемником с усилием до 23 кН
Погрузочные и разгру- зочные работы	Консольно-поворотный кран грузо- подъемностью 0,5 т, смонтированный на прицепе
Компрессорная установка	При бурении с продувкой воздухом вместо насоса используется компрес- сор КТ-7 с подачей 8 м ³ /мин и макси- мальным давлением до 0,45 МПа
Монтажно-транспортная база	Шасси автомобиля ЗИЛ-157КЕ и самоходный прицеп
Масса буровой установ- ки, т	10,06
Техническая характеристика установки УРБ-3А2	
Глубина бурения при использовании бурильных труб диаметром 60,3 мм, м	600
Диаметр бурения, мм:	
начальный	243
конечный	97
Грузоподъемность на крюке, т:	-
номинальная	6
максимальная	10
Главный привод	Дизельный (отбор мощности 77,28 кВт от ходового двигателя авто- мобиля МАЗ-500), дизель ЯМЗ-236 мощностью 132,48 кВт при 2100 об/мин
Аварийный привод	Для аварийного привода установки предусмотрен отбор мощности от трактора Т-100 или дизеля КДМ-100 мощностью 73,6 кВт при 1050 об/мин
Лебедка буровая	Однобарабанная, с безопасной ка- тушкой и фрикционной муфтой вклю- чения барабана, с цепным приводом от коробки передач
Скорость подъема крюка при наибольшей оснастке талевого системы, м/с:	
минимальная	0,4
максимальная	1,48

Число скоростей	3 (основные)
Усилие натяжения подвижного конца талевого каната, кН	52
Оснастка талевой системы	1×2
Ротор	P-250
диаметр проходного отверстия, мм	250
частота вращения стола ротора, об/мин:	
минимальная	80
максимальная	300
Число скоростей	3 (основные)
Насос буровой	11ГрИ (смонтирован на раме буровой установки)
число насосов на установке	1
приводная мощность, кВт	35,33
гидравлическая мощность, кВт	28,02
подача, кВт:	
минимальная	3,8
максимальная	6,5
давление, МПа:	
минимальное (при максимальной подаче)	4
максимальное	6,3
вид привода	Клиноременная передача
масса, т	1,15
Кронблок	Наголовник мачты
грузоподъемность, т	30
расположение канатных шкивов	На двух параллельных осях (два шкива на одной оси, один шкив на оси, параллельной первой)
число канатных шкивов	3
диаметр канатных шкивов, мм	320
Управление установкой	Рычажное, ручное и пневматическое (используется пневматическая система автомобиля) с поста бурильщика
Вышка буровая	Мачта трубная высотой 18,4 м, с открытой передней гранью, складывающегося типа, с винтовыми опорными домкратами; смонтирована (постоянно) на буровой установке
Механизация работ: подача инструмента на забой	Гидравлический механизм принудительной подачи инструмента на забой с усилием до 40 кН; поставляется по требованию потребителя

погрузочные и разгрузочные работы

Кран консольно-поворотный грузоподъемностью 1,2 т со стрелой длиной 3 м; смонтирован на буровой вышке-мачте

Компрессорная установка

Компрессор автомобиля МАЗ-500 и один компрессор аварийный М-155, имеющий привод от трансмиссии шасси автомобиля МАЗ-500

Монтажно-транспортная база, способ транспортирования

Самоходная, с двусосным автоприцепом для бурильных труб и инструмента

Масса, т

19,3

Техническая характеристика агрегата 1БА-15В

Рекомендуемая глубина бурения при использовании бурильных труб диаметром 73 мм, м

500

Диаметр скважины, мм:
начальный

394

конечный

190

Грузоподъемность на крюке, т:

номинальная

12,5

максимальная

20

Установленная мощность главного привода, кВт

174,79 (211,97)

Главный привод

Дизельный (отбор мощности 77,28 кВт от ходового двигателя автомобиля МАЗ-500), дизель ЯМЗ-236 мощностью 132,48 кВт при 2100 об/мин и автономный дизель Д-108 мощностью 79,49 кВт при 1070 об/мин для привода компрессора К-9М (смонтированного вместе с дизелем на одном прицепе) и для аварийного привода механизмов бурового блока

Лебедка буровая

Однорабанная, с безопасной катушкой и фрикционной муфтой включения барабана, односкоростная, с цепным приводом от коробки перемены передач

Скорость подъема крюка при наибольшей оснастке талевого системы, м/с:

минимальная

0,2

максимальная

1,4

Число скоростей

4 (основные)

Оснастка талевого системы

2×3

Ротор

Р-410

диаметр проходного отверстия, мм

410

частота вращения стола ротора, об/мин:		
минимальная		65
максимальная		250
Число скоростей		3 (основные)
Насос буровой	11Гри (смонтирован на блоке-автомобиле МАЗ-500)	буровом
число насосов в агрегате		1
приводная мощность, кВт		35,33
гидравлическая мощность, кВт		28,02
подача, л/с:		
минимальная		3,8
максимальная		6,5
давление, МПа:		
минимальное (при максимальной подаче)		4
максимальное		6,3
вид привода		Клиноременная передача
масса, т		1,15
Кронблок		Наголовник мачты
грузоподъемность, т		30
расположение канатных шкивов		На двух параллельных осях (два шкива на одной оси, один шкив на оси, параллельной первой)
число канатных шкивов		3
диаметр канатных шкивов, мм		320
Управление агрегата		Рычажное, ручное и пневматическое
Вышка буровая		Мачта трубная высотой 18,4 м, складывающегося типа, с открытой передней гранью и винтовыми опорными домкратами; смонтирована (постоянно) на буровом блоке агрегата
Механизация работ:		
подача инструмента на забой		Осуществляется ручным растормаживанием тормоза буровой лебедки
погрузочные и разгрузочные работы		Кран консольный, поворотный, грузоподъемностью 1,2 т, со стрелой длиной 3 м; смонтирован на буровой вышке
Компрессорная установка	Для обеспечения сжатым воздухом пневматического управления буровыми механизмами используется компрессорная установка автомобиля МАЗ-500 и компрессорная установка М-155, смонтированная на буровом блоке и предназначенная для аварийной подачи сжатого воздуха	Для пробной откачки воды из скважины после окончания бурения используется компрессорная установка, смонтированная на компрессорно-силовом блоке

тип и число компрессоров	Компрессор К-9М автомобиля МАЗ-500 и один компрессор аварийный М-155
подача компрессоров, м ³ /мин:	
К-9М	10
МАЗ-500	0,2
М-155	0,3
максимальное давление компрессоров, МПА:	
К-9М	0,6
МАЗ-500	0,75
М-155	1
Монтажно-транспортная база	Шасси автомобиля МАЗ-500 для бурового блока, автоприцеп МАЗ-5207В для компрессорно-силового блока
Масса бурового агрегата, т	35,9

буровой насос или компрессор при бурении скважин с продувкой воздухом;

мачта с подвижным вращателем, кронблоком и одноцилиндровым гидроподъемником двухстороннего действия;

масляные баки для обеспечения маслом гидросистемы;

пульт управления механизмами буровой установки.

С помощью вращателя производится свинчивание и развинчивание бурильных труб, наращивание инструмента без отрыва от забоя, принудительная подача инструмента. Установка УРБ-2А2 заменит УРБ-2А.

Установка роторного бурения УРБ-3А2 смонтирована на шасси автомобиля МАЗ-500А. На раме крепятся следующие узлы:

коробка отбора мощности;

четырёхскоростная коробка скоростей;

буровая лебедка с безопасной катушкой;

электрогенератор ЕСС-62-4М;

ротор;

буровой насос 11Гр;

механизм принудительной подачи инструмента на забой;

мачта с кронблоком и талевым блоком;

гидравлический масляный шестеренчатый насос НШ-32Д для привода механизма принудительной подачи инструмента на забой и привода двух гидродомкратов подъема и опускания мачты;

два гидравлических домкрата подъема и опускания мачты.

Глиномешалку с электроприводом, желобную систему, а также емкость поставляют заказчику по его требованию.

Установка УРБ-ЗА2 является базовым буровым блоком буровых агрегатов 1БА-15В и 1БА-15Н.

Буровой агрегат 1БА-15В состоит из бурового (установка УРБ-ЗА2) и компрессорно-силового блоков. Буровой блок отличается тем, что вместо ротора Р-250 с проходным отверстием 250 мм используется ротор Р-410 с проходным отверстием 410 мм. Мачта также имеет большую грузоподъемность, а талевая оснастка принимается 2×3 .

Буровой агрегат 1БА-15В — первая специализированная установка для бурения скважин на воду (рис. 1).

В последнее время к установке УРБ-ЗА2 и агрегатам 1БА-15В и 1БА-15Н выпускают укрытия, представляющие собой каркас из металлических трубок и прорезиненной ткани, состоящие из отдельных частей и соединяющиеся между собой. Для удобства монтажа и транспортировки секции выполнены в двух частях и имеют полозья. Масса комплекта для укрытия бурового и компрессорно-силового блоков около 4 т.

В настоящее время Кунгурским заводом осваиваются новые модели установок: УРБ-ЗА3 (класс УРБ-6,ЗА по ГОСТ 16151—70) и 2БА-15Н (класс УРБ-20А по ГОСТ 16151—70).

Буровой агрегат 1БА-15Н представляет собой установку УРБ-ЗА2, дополнительно укомплектованную насосно-силовым блоком (насос 9МГр), и вместо талевой системы 1×2 принята талевая система 2×3 .

Буровой агрегат 1БА-15К позволяет осуществлять комбинированное вращательное бурение с прямой и обратной промывкой. Агрегат монтируют на шасси автомашины МАЗ-500А и прицепа МАЗ-5207В. Грузоподъемность агрегата аналогична 1БА-15В (12,5 и 20 т). Агрегат можно использовать для роторного бурения с прямой промывкой и для бурения с обратной промывкой диаметром скважин до 1270 мм с помощью эрлифта и центробежного насоса.

Буровой блок агрегата имеет наклонную мачту высотой 15 м, двухбарабанную лебедку (буровая и желоноч-

ная) с длиной каната 250 м, двухступенчатый редуктор и откидной ротор Р-410, генератор мощностью 20 кВт и центробежный насос с обвязкой.

В комплект агрегата входят: компрессорно-силовой блок, сальник-вертлюг с проходным сечением 150 мм, ведущая труба длиной 4,5 м, гидрозелеватор, наддолотный утяжелитель массой 4,8 т, сварочный трансформатор, такелажный блок с грузоподъемным устройством на автоприцепе, служащий для перевозки бурильных труб и механизации их разгрузки и подгрузки.

Таким образом, у агрегатов 1БА-15В, 1БА-15Н и

1БА-15К есть общие особенности: значительный уровень унификации узлов и деталей, что обеспечивает удобство эксплуатации, ремонта и изготовления; достаточная маневренность и малые затраты времени на монтажные и демонтажные работы; возможность привода механизмов агрегатов от двигателя автомашины и двигателя, установленного на прицепе; достаточная мощность двигателей; широкий диапазон частот



Рис. 1. Общий вид установки 1БА-15В:

1 — буровой блок УРБ-3А2 с ротором Р-410; 2 — глиномешалка; 3 — прицеп для перевозки труб, 4 — компрессор тига ПК-10.

вращения ротора и лебедки; наличие насосно-силового и компрессорно-силового блоков, расширяющих эксплуатационные возможности агрегатов; надежное и оперативное управление механизмами путем применения пневматической системы.

Гидрораскрепитель и устройство для развинчивания бурильных труб повышают безопасность работ. Это же относится к противозатаскивателю талевого блока. Все агрегаты снабжены металлическими мостками. Новым является механизм подачи, который состоит из гидроцилиндров двойного действия, монтируемых на мачте, гидравлического механизма зажима ведущей трубы и пульта управления. Механизм подачи позволяет осуществлять дополнительное принудительное усилие на забой до 40 кН (вниз) и 80 кН (вверх) с ходом 600 мм.

Установка вращательного бурения УВБ-600 состоит из вышечно-лебедочного, насосного и роторного блоков.

Вышечно-лебедочный блок представлен агрегатом для освоения скважин А-50 с некоторыми изменениями. Блок смонтирован на базе автомобиля КрАЗ-257, двигатель которого используется в качестве привода механизмов блока. Мачта поднимается в рабочее положение двумя гидродомкратами двухстороннего действия, приводимыми в действие от гидравлического насоса ПМ № 20, который приводит в действие также приспособление для забуривания шурфа и гидравлический раскрепитель резьбовых соединений труб.

Мачта телескопическая, внутренняя секция выдвигается из внешней секции с помощью талевого системы.

Лебедка двухбарабанная, с цепным приводом от трансмиссии.

Компрессорно-силовой блок смонтирован на автоприцепе МАЗ-5207В и состоит из компрессора К-9М с ресивером, дизелем Д-108 или ЯМЗ-236 и углового редуктора. Дизель является аварийным для буровой установки.

Глиномешалка с электродвигателем монтируется рядом с буровой установкой.

По требованию заказчика к буровому агрегату может дополнительно поставляться ударный механизм пневматического типа, приводится от компрессора КТ-7 насосного блока, масса ударной части 1 т, высота подъема 0,9 м, частота 30 ударов в минуту.

Механизм подачи аналогичен механизмам, устанавливаемым на агрегатах 1БА-15В и др.

Насосный блок смонтирован на шасси автомобиля КраЗ-257, двигатель которого используется для привода двух насосов 9МГр-61, компрессора КТ-7 и электрического генератора ЕС83-6С. Двигатель может также использоваться как аварийный для привода механизмов вышечного-лебедочного блока.

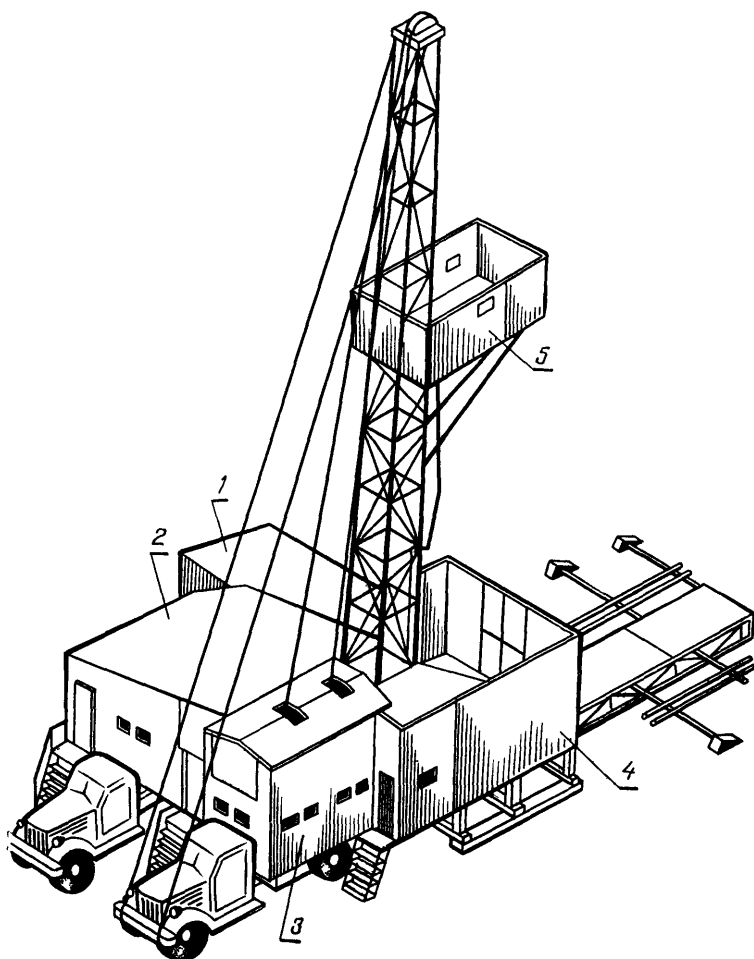


Рис. 2. Укрытие буровой установки УВБ-600:

1 — блок очистки; 2 — насосный блок; 3 — лебедочно-мачтовый блок; 4 — рабочая площадка; 5 — балкон верхового рабочего.

Техническая характеристика установки УВБ-600

Глубина бурения при использовании бурильных труб диаметром 114 мм, м	600
Диаметр скважины, мм:	
начальный	490
конечный	214
Грузоподъемность при использовании барабана, т:	
бурового	50
тартального	3
Установленная мощность главного привода, кВт	309 (приводная мощность двигателей двух автомобилей КраЗ-257, ходовой двигатель каждого мощностью 154,5 кВт)
Главный привод	Дизельный (отбор мощности 250,8 кВт от ходовых двигателей двух автомобилей КраЗ-257, из них 125,4 кВт от ходового двигателя автомобиля КраЗ-257 бурового блока для привода лебедки, ротора и стационарного компрессора модели 155 и 125,4 кВт от ходового двигателя автомобиля КраЗ-257 насосного блока для привода двух буровых насосов, компрессора КТ-7 и электрогенератора ЕС83-6С)
Лебедка	Двухбарабанная (буровой и тартальный барабаны), с пневматическим управлением, двухскоростная, а в комбинации с двумя скоростями коробки отбора мощности на буровом барабане получается четыре скорости
Скорость подъема талевого блока при наибольшей оснастке талевой системы, м/с:	
минимальная	0,181
максимальная	1,215
Число скоростей	4
Скорость намотки каната на тартальный барабан, м/с:	
минимальная	1,07
максимальная	1,87
Число скоростей	2
Усилие натяжения (максимальное) талевого каната на барабане, кН:	
буровом	100
тартальном	30
Оснастка талевой системы при работе на барабане:	
буровом	3×4

таргальном	Прямая
Ротор	Р-410
диаметр проходного отверстия, мм	410
частота вращения стола ротора, об/мин:	
основные (при работе на четвертой прямой скорости коробки перемены передач автомобиля)	105 и 183
вспомогательные (при использовании скоростей коробки перемены передач автомобиля)	30; 54 и 235
Число скоростей	5
Буровой насос	9МГр-61
число насосов в установке	2
приводная мощность, кВт	95,68
гидравлическая мощность, кВт	80,22
подача, л/с:	
минимальная	5,1
максимальная	17,6
давление, МПа:	
минимальное (при максимальной подаче)	4,5
максимальное	16
вид привода	Клиноременная передача
масса, т	2,67
Кронблок:	
грузоподъемность, т	70
расположение канатных шкивов	Трехосное (для бурового каната на двух осях, соосное; для таргального каната одноосное, на оси, параллельной осям шкивов бурового каната)
число канатных шкивов для каната:	
бурового	4
таргального	1
диаметр канатных шкивов для каната, мм:	
бурового	470
таргального	470
Управление механизмами установки	Дистанционное, пневматическое и гидравлическое с пультов управления бурового и насосного блоков. Управление буровым ротором и коробками отбора мощности бурового и насосного блоков осуществляется системой рычагов
Вышка буровая	Мачта трубная высотой 22,4 м (до оси кронблока), телескопич-

		ческая; смонтирована постоянно на буровом (лебедочно-мачтовом) блоке
Механизация работ: подача инструмента на забой		Осуществляется ручным растормаживанием ленточного тормоза буровой лебедки с электроприводом
Вспомогательная лебедка		Предназначена для свинчивания круговыми ключами, свинчивания и развинчивания резьбовых соединений труб машинными ключами, производства такелажных и других вспомогательных работ на буровой и на мостках
Грузоподъемность вспомогательной лебедки, т		1
Компрессорная установка	Для обеспечения сжатым воздухом пневматического управления буровыми механизмами установки (при необходимости может использоваться также компрессорная установка автомобиля КрАЗ-257 бурового блока)	Для привода пневматического ударника и пробной откатки воды после окончания бурения скважины
тип и число компрессоров	Один компрессор модели М-155	Один компрессор КТ-7
подача, об/мин	0,5	5,3
максимальное давление, МПа	1	0,85
Монтажно-транспортная база		Шасси автомобиля КрАЗ-257 для бурового (лебедочно-мачтового) блока; шасси автомобиля КрАЗ-257 для насосного блока
Масса буровой установки, т:		
транспортная масса блока бурового		22,7
насосного		20,9
масса комплекта		55

Краткая техническая характеристика насосов типа НБ-40

Приводная мощность, кВт	. . . . .	62,7
Максимальная подача, л/с	. . . . .	9,02
Максимальное давление, МПа	. . . . .	6,3

Таблица 4

Техническая характеристика станков колонкового бурения

Параметры	УКБ-300/500	СБА-500	ЗИФ-300М	ЗИФ-650М	ЗИФ-1200МР
Глубина бурения, м	При диаметре 112 мм — 300	При диаметре 112 мм — 300	При диаметре 93 мм — 300	При диаметре 93 мм — 650	При диаметре 93 мм — 1500
Начальный диаметр бурения, мм	151	151	151	200	250
Диаметр бурильных труб, мм	50	42; 50	42; 50	50; 63,5	50; 63,5; 73
Угол поворота шпинделя, град	70—90	60—90	75—90	60—90	80—90
Частота вращения шпинделя, об/мин	120; 195; 280; 430; 700; 1015	120; 195; 280; 430; 700; 1015	102; 181; 237; 480	87; 118; 188; 254; 340; 460; 576; 800	75; 136; 231; 288; 336; 414; 516; 600
Подача инструмента	Гидравлическая	Гидравлическая с автоматическим перехватом		Гидравлическая	
Ход подачи, мм	400	400	430	500	800
Усилие подачи, кН	60	60	50	80	150
Грузоподъемность лебедки, т	2	2	2	3,5	5,5
Скорость навивки каната на барабан, м/с	1,0; 1,6; 2,4	1,0; 1,6; 2,4	0,48; 0,87; 1,12; 2,36	0,7; 0,95; 1,5; 2,04; 2,72; 3,7; 4,6; 6,25	0,7; 1,24; 3,76; 4,7; 2,1; 2,61; 3,04; 5,24
Тип насоса	Гр 16/40	Гр 16/40	НГр 250/50	НГр 250/50	11ГрИ (2 шт.)
Мощность привода, кВт	30; 22	22; 22	17; 14	30; 22	55; 2×30
Масса, т	4,5, с шасси и мачтой 11 500	1,4	1,4	3,6	5,2

Роторный блок состоит из двух ферм, на которых установлены ротор Р-410, подсвечник, приспособление для забуривания шурфа и оборудование для свинчивания и развинчивания долота под ротором. К роторному блоку придаются мостки с выдвигаемыми стеллажами и трубной тележкой.

Для работы в зимних условиях к установке разработано резиноканевое укрытие (рис. 2). Общая масса укрытия 2500 кг, стоимость его около 1500 руб.

В настоящее время ведутся работы по оснащению буровых установок типа 1БА-15В, 1БА-15Н и других более совершенными насосами НБ-40 вместо насосов типа 11ГрИ.

Для бурения неглубоких скважин, главным образом при изысканиях и мелиоративных исследованиях, используют буровые установки шнекового бурения УГБ-50М, ЛБУ-50М, КБУ-15, УШБ-16, вращательного бурения, бурения всухую УБР-1 и БУУ-2.

Для бурения скважин глубиной более 1500 м в зависимости от конечной глубины бурения и конструкции скважин применяют установки, предназначенные для бурения скважин на нефть и газ: БУ-50Бр1, БУ-50БрД, БУ-75Бр, БУ-75Бр-70, БУ-75БрЭ, БУ-75БрЭ-70, БУ-75БрМ, БУ-80БрД, БУ-80БрЭ, Уралмаш 5Д-61, Уралмаш 6Э-61, БУ-125БрД, БУ-125БрЭ, Уралмаш 125БД, Уралмаш 125БД-67, Уралмаш 125БД-70, Уралмаш 125БЭ, Уралмаш 125БЭ-67, Уралмаш 125БЭ-70, Уралмаш 125ДГ-П, Уралмаш 125Э, Уралмаш 3Д-61, Уралмаш 3Д-67, Уралмаш 3Д-ГТП-П, Уралмаш 4Э-61, Уралмаш 4Э-67 и др. (Белоусов, Рошупкин, 1973).

Если бурение ведут в скальных породах, часто залегающих с поверхности, то в ряде случаев с успехом можно использовать буровые установки шпиндельного типа с гидравлической подачей (табл. 4).

КРЕПЛЕНИЕ СКВАЖИН

§ 1. КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИН

Выбор и обоснование конструкции скважин — важнейшие мероприятия, от которых зависят качество выполняемых работ, их экономичность. Конструкции скважин в зависимости от назначения должны отвечать определенным требованиям. Так, конструкции разведочных скважин должны обеспечивать:

- высококачественное опробование всех или в зависимости от назначения некоторых из вскрытых водоносных горизонтов;

- экономичность (стоимость применяемых материалов, трудовые затраты и др.);

- наименьший по возможности диаметр ствола скважины;

- повторное использование фильтра и обсадных труб;

- простоту ликвидации скважины и высококачественный ликвидационный тампонаж.

Конструкции эксплуатационных скважин должны обеспечивать:

- высококачественное вскрытие продуктивных водоносных горизонтов с целью их эксплуатации при минимальных сопротивлениях прифилтровых зон;

- длительный срок эксплуатации и минимальный темп снижения производительности;

- выполнение ремонтных и восстановительных работ;

- тщательную изоляцию водоносных горизонтов друг от друга, за исключением тех, которые эксплуатируются совместно;

- экономичность (стоимость применяемых материалов, трудовые затраты и др.);

- минимально возможный диаметр ствола скважины;

- наименьшие сопротивления при подъеме воды насосом.

Таким образом, приведенные требования к конструкциям скважин весьма специфичны и в ряде случаев находятся в сложной зависимости между собой. Поэтому выбор и обоснование той или иной конструкции скважин должны базироваться на тщательной оценке всех факторов и в первую очередь тех, которые для конкретных условий производства работ являются главными.

Построение конструкции скважины начинают с прифилтровой зоны после определения конечного диаметра скважины, типа и конструкции прифилтровой зоны. Конечный диаметр, как известно, должен обеспечивать определенную производительность и проведение необходимого комплекса гидрогеологических исследований и наблюдений. Тип и конструкция фильтра зависят от водовмещающих пород, химического состава подземных вод, возможного срока службы фильтра и др. (см. главу IV).

Для эксплуатационных скважин проводят тщательную затрубную цементацию, что исключает, с одной стороны, связь отдельных водоносных горизонтов между собой, их загрязнение и смещение, а с другой — повышает антикоррозионные свойства обсадных труб и увеличивает срок их службы.

Диаметр долота в этом случае определяют из условия:

$$D_d = D_m + 2\delta, \quad (1)$$

где D_d — диаметр долота, мм;

D_m — диаметр муфты обсадной трубы, мм;

δ — зазор, мм. При $D_m < 250$ мм $\delta = 25$ мм, при $D_m > 250$ мм $\delta = 20-50$ мм.

Чем больше выход колонн, тем больше принимается зазор.

В последние годы при бурении скважин на нефть и газ применяют уменьшенные значения зазоров — 7—15 мм. Однако это возможно только при использовании высококачественных цементных растворов и правильной технологии цементирования скважин.

Первая колонна — кондуктор служит для крепления верхних интервалов ствола скважины и устья. Эксплуатационная колонна обеспечивает крепление ствола скважины на больших глубинах. В эксплуатационной колонне обычно устанавливают насос для подъема воды. В скважинах глубиной более 300 м и в случае вскрытия неблагоприятных интервалов (сильное поглощение промывочной жидкости и др.) может устанавливаться про-

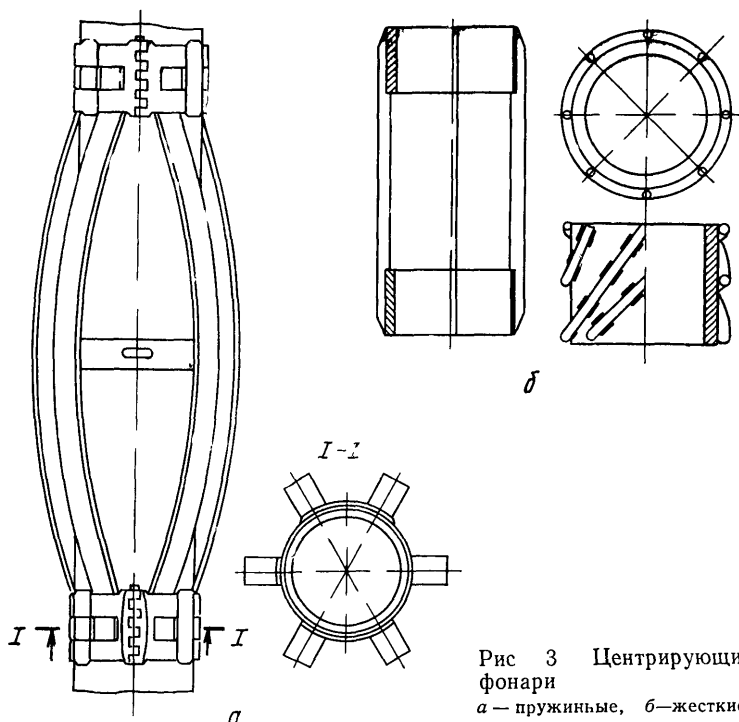


Рис 3 Центрирующие
фонари
а — пружинные, б — жесткие

межуточная техническая колонна. Цементацию проводят при высоких значениях скоростей подъема цементных растворов в затрубном пространстве (более 1,0—1,5 м), иначе качество затрубной цементации будет неудовлетворительным.

Во всех случаях обсадные колонны снабжают центрирующими фонарями (рис. 3). В конструкции скважины различают следующие элементы кондуктор (направление), эксплуатационную колонну и фильтр. В устойчивых водовмещающих породах фильтр не устанавливают (рис. 4, а, б, в). В неустойчивых водовмещающих породах применяют фильтры различных типов и конструкций. Чаще всего фильтр устанавливают впопай (рис 4, г, д), так как в этом случае его можно при выходе из строя поднять и заменить новым. Фильтр может быть смонтирован на эксплуатационной колонне, а изоляцию вышележащих водоносных горизонтов осуществляют путем затрубной цементации через манжету (рис 4, е). Если у та-

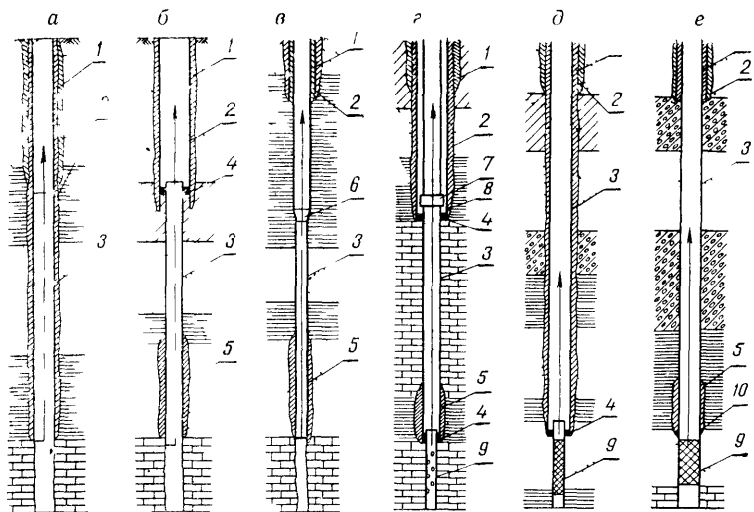


Рис 4 Схемы конструкций скважин (Логинов и Шуссер, 1974)

1 — кондуктор, 2 — затрубная цементация, 3 — эксплуатационная колонна, 4 — сальник, 5 — подбашмачная цементация, 6 — переходник, 7 — муфта с левой резьбой, 8, 9 — техническая и фильтровая колонны, 10 — манжета для цементации

кой скважины при эксплуатации снижается производительность, то заменить фильтр в случае выхода его из строя практически невозможно

Понятно, что рекомендации по применению одноколонных конструкций скважин на воду, несмотря на их простоту и дешевизну, могут относиться только к тем районам, где срок службы составляет не менее 10—15 лет, в противном случае это может привести к неоправданному увеличению объема бурения скважин и расходу обсадных труб. При установке высокопроизводительного насоса верхний интервал ствола бурят и обсаживают колонной соответствующего размера (рис 4, б). В случае каптажа высоконапорных, самоизливающихся и термальных водоносных горизонтов их герметизацию осуществляют обязательно цементацией обсадных колонн до устья с применением цемента высокого качества. При больших глубинах бурения в ряде случаев затрубную цементацию до устья можно заменить подбашмачной, если исключены гидравлическая связь водоносных горизонтов, потери напоров и загрязнение подземных вод.

Если проводят манжетную цементацию на какой-либо интервал, но не до устья скважины, то затраты средств

и времени мало отличаются от соответствующих затрат при затрубной цементации обсадных колонн до устья, но хорошее качество цементации при этом гарантировать трудно.

Манжетную цементацию проводят после работ по освоению и разглинизации, в противном случае фильтр и сам водоносный пласт будут длительное время находиться в контакте с глинистым раствором, а это усложнит работы по разглинизации.

Применение подбашмачной цементации обуславливает наличие в конструкции скважины участка обсадной колонны, которая непосредственно контактирует с породой. Если скважина эксплуатационная и подземные воды агрессивны к металлу, то из-за возможности коррозии и преждевременного выхода обсадной колонны из строя такую конструкцию не применяют.

В ряде случаев (при большой глубине скважин, частом переслаивании пород разной твердости, агрессивности подземных вод) применяют обсадные колонны, в том числе и хвостовики с затрубной цементацией и последующим прострелом перфораторами или вскрытием гидropескоструйным способом.

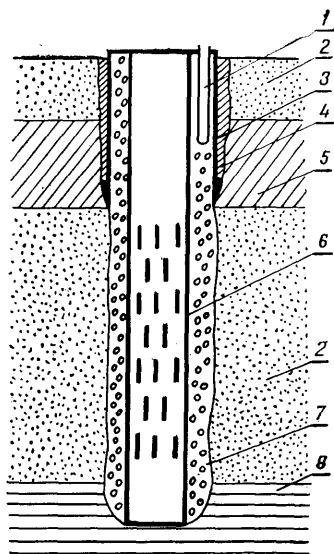


Рис. 5. Скважина, оборудованная гравийно-обсыпным фильтром:

1 — питательная трубка; 2 — водонасыщенные пески; 3 — направление (кондуктор); 4 — цементация; 5 — суглинистые породы; 6 — фильтровый каркас; 7 — гравий; 8 — глины.

При каптаже водоносных горизонтов, представленных неустойчивыми трещиноватыми и гравелистыми породами, их крепят фильтрами дырчатого и щелевого типа. В рыхлых неустойчивых породах используют сетчатые, проволочные, блочные и гравийные фильтры.

Гравийно-обсыпные фильтры широко применяют в скважинах, пройденных вращательным способом с обратной промывкой (Гаврилко, 1974). Гравийно-обсыпные фильтры требуют установки дырчатого или щеле-

вого каркаса, причем последний обычно является эксплуатационной колонной (рис. 5). Установку каркасов фильтров впотай проводят реже, так как это связано с определенными трудностями оборудования скважин, а замена таких каркасов практически все равно трудновыполнима. Гравий засыпают через устье (при небольшой глубине скважины) крупными порциями, чтобы не было расслоения обсыпки. При глубинах скважины более 80—100 м обсыпку ведут через питательные трубы диаметром от 70 до 100 мм.

Гравий засыпают в скважину с таким расчетом, чтобы его уровень был выше кровли водоносного горизонта. Учитывая возможное снижение уровня гравия при эксплуатации скважин, гравийную обсыпку делают с некоторым запасом. Если все же уровень гравия понизится до кровли водоносного горизонта, то проводят повторную обсыпку. В тех случаях, когда водоносные пески представлены тонкозернистыми и мелкозернистыми разностями, используют двухслойные гравийные обсыпки. Для этого применяют дополнительную колонну обсадных труб. Двухслойные гравийные обсыпки наиболее распространены при ударно-канатном способе проходки скважин. В практике водоснабжения и гидрогеологических исследований двухслойные обсыпки из-за технологической сложности используют весьма редко.

В рыхлых породах при устойчивой кровле с успехом применяют бесфильтровые скважины (Беляков и др., 1974). Если проводят каптаж двух водоносных горизонтов, часто гидравлически активно связанных между собой и представленных различными породами, то устанавливают два фильтра различной конструкции на одной колонне (рис. 6). Верхний фильтр сетчатого типа отделен от нижнего фильтра дырчатого типа цементной пробкой. Разглинизацию (освоение) фильтров ведут отдельно, причем вскрытие водонасыщенных известняков рекомендуется проводить с промывкой водой. Из-за технологической сложности такие конструкции скважин применяют довольно редко.

Наблюдательные (пьезометрические) скважины на первый (верхний) водоносный горизонт оборудуют одной колонной труб с фильтром на конце (рис. 7). В верхней части делают цементный или глинистый замок на глубину до 0,5 м для предупреждения загрязнения водоносного горизонта, а колонну оборудуют охранным оголовком.

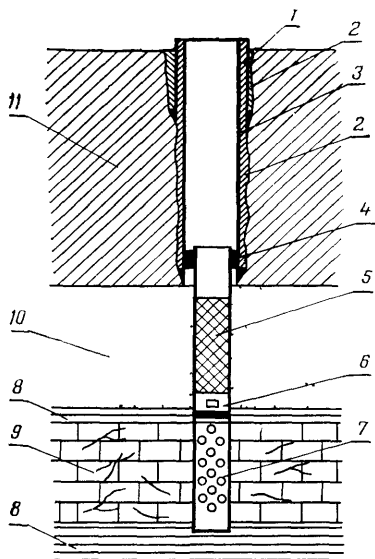


Рис 6 Схема конструкции скважины с двумя фильтрами

1 — кондуктор (направление) 2 — цементация 3 — эксплуатационная колонна 4 — сальник 5 — фильтр сетчатого типа 6 — ниппель с промывочным окном и цементной пробкой 7 — фильтр дырчатого типа 8 — глины 9 — трещиноватые известняки 10 — водонасыщенные пески 11 — суглинок

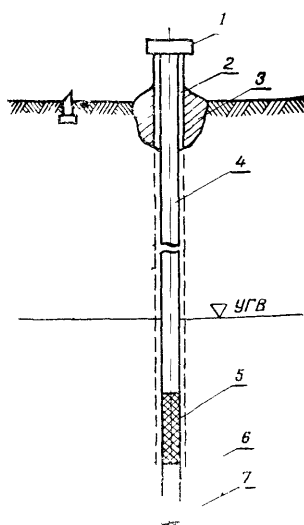


Рис 7 Наблюдательная скважина

1 — оголовок 2 — трубы 3 — цементный замок 4 — фильтровая колонна 5 — фильтр 6 — отстойник 7 — пробка

Если наблюдательную скважину бурят на второй и более глубокие водоносные горизонты, то его необходимо изолировать от вышележащих водоносных горизонтов. Это достигается спуском обсадной колонны до кровли водупорных пород и установкой фильтра впотай. Тампонаж чаще всего проводят с помощью задавливания башмака в глинистые породы или путем установки глинистой пробки.

Установку фильтра в наблюдательные скважины рекомендуется проводить без применения глинистой промывки, в противном случае необходима тщательная разглинизация. Конструкции фильтров наблюдательных скважин подбирают, так же как и в опытных скважинах, по литологическому составу водоносного слоя, но в связи с тем что фильтры наблюдательных скважин не рассчитывают на длительный отбор из них воды, можно использовать фильтры больших сопротивлений.

После оборудования скважины проводят экспресс налив, по результатам которого строят график зависимости превышения уровня налива над статическим от скорости снижения уровня (Шестаков и др., 1974). Этот график служит характеристикой инерционности пьезометра, так как позволяет при известной скорости изменения уровня в скважине судить о погрешности пьезометра.

Если сопротивление фильтра оказывается слишком большим, то проводят повторную прокачку скважины или заменяют фильтр.

В настоящее время неглубокие пьезометрические скважины (до 50 м) бурят в основном установками комбинированного и роторного типа.

Способ установки пьезометра заключается в заливании его в водоносные пески, на дневной поверхности делают цементный или глинистый замок. После проходки шнеками водоносных песков на требуемую глубину шнеки извлекаются из скважины, и, несмотря на то, что стенки скважины обрушаются, под принудительным давлением системы подачи вращателя буровых установок пьезометр вводится в пласт (Башкатов, Олоновский, 1968).

Станки комбинированного бурения типа УГБ до водоносного горизонта используют в их шнековом варианте, оборудование же скважины фильтром проводят по технологии ударного способа. Оборудование скважин завинчивающимися фильтрами (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969) позволяет повысить производительность работ в 2—3 раза.

В изыскательских организациях Союзводпроекта и других получил распространение способ установки фильтров внутри колонны шнеков.

При залегании водоносного горизонта на глубине до 10—15 м скважину можно оборудовать без предварительной проходки, используя забивные пьезометры (фильтры). Рабочая часть фильтров этих пьезометров, установленных на бурильных трубах, состоит из перфорированной трубы длиной до 0,5 м, обтянутой сеткой с заостренным наконечником, который несколько шире фильтра.

При вращательном бурении с глинистым раствором можно использовать также фильтры с защитным кожухом (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969).

Если бурение ведут в рыхлых породах и надо опробовать все встреченные при бурении водоносные горизонты,

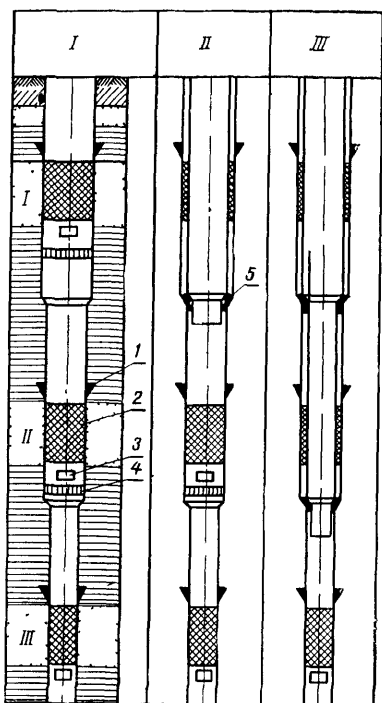


Рис. 8. Схема конструкции скважины, позволяющей поинтервально опробовать I, II и III водоносные пласты

1 — сальник-зонг, 2 — фильтр, 3 — промывочное окно, 4 — цементная пробка, 5 — сальник

то существующие способы опробования гребуют обсадки скважины трубами, установки фильтра, его разглинзации и последующей откачки. Такая схема опробования требует смены диаметра бурения, из-за чего практически более 2—3 опробований в одной скважине провести нельзя. Известны случаи, когда для проведения таких исследований закладывают не одну, а две скважины: одна скважина опробует два верхних водоносных горизонта, другая — два нижних.

В. И. Блажков предложил схему отдельного опробования водоносных горизонтов, которые каптуются одной колонной. Изоляция фильтров друг от друга достигается установкой цементных пробок (мостов) и специальной водоподъемной колонной с эластичным сальником (рис. 8). Опробование водоносных горизонтов про-

водят отдельно сверху вниз. После извлечения водоподъемных труб может быть проведено суммарное опробование всех водоносных горизонтов (Шестаков и др., 1974).

При данной конструкции скважин затрубную цементацию не проводят. Несмотря на кажущуюся неправомочность такой схемы, она между тем вполне оправдана, так как малые кольцевые зазоры и наличие в стволе скважины глинистого раствора практически исключают движение воды по кольцевому зазору от одного фильтра к другому.

Разглинизацию при этом способе опробования проводят комбинированным способом либо обратновсасывающей промывкой через окна в нижней части фильтра, что обеспечивает получение дебитов, близких к дебитам скважин ударного бурения. Указанная конструкция скважины имеет следующие преимущества:

позволяет без потери диаметра опробовать 3—5 водоносных горизонтов в одном стволе скважины;

высокие производительность и качество опробования; малую металлоемкость конструкции скважины и отсутствие необходимости затрубной цементации;

бурение ствола скважины ведется одним диаметром.

Описанная конструкция скважины прошла длительную производственную проверку в Краснодарском крае и в других областях страны, где бурение разведочных скважин ведется в рыхлых породах.

В последние годы в практику гидрогеологических исследований для крепления скважин на воду успешно внедряются антикоррозионные трубы (Алтухов, Вакман, 1974; Логинов, Шуссер, 1975). Наиболее перспективны полиэтиленовые трубы, которые можно спускать на глубину до 300 м. Наиболее рациональный тип соединения труб на сварке. Широкое распространение должны получить также каркасы из полиэтиленовых труб.

§ 2. ОБСАДНЫЕ ТРУБЫ

Для крепления скважин применяют бесшовные металлические обсадные трубы муфтового соединения (ГОСТ 632—64). Трубы изготавливают из стали марок С, Д, К, Е, Л, М и Р, которые удовлетворяют следующим требованиям (табл. 5).

Обсадные трубы изготавливают с короткой, нормальной и удлиненной резьбой. Длина труб от 9,5 до 13,0 м, до-

Таблица 5

Характеристика материала труб

Показатели	Марки стали						
	С	Д	К	Л	Л	М	Р
Временное сопротивление, мПа	550	650	700	750	800	900	1100
Предел текучести, мПа	320	380	500	550	650	750	950

пускается поставка труб в количестве до 20% длиной от 8,0 до 9,5 м и не более 10% длиной от 5 до 8 м.

Обсадные трубы по ГОСТ 632—64 выпускают с короткой, нормальной и удлиненной резьбой. Обсадные трубы с удлиненной резьбой применяют для бурения глубоких скважин.

Для небольших глубин в случае необходимости трубы с толщиной стенки 12 мм могут быть перенарезаны на безмуфтовое соединение труба в трубу.

Для крепления наблюдательных скважин, имеющих, как правило, диаметр бурения менее 150 мм, используют обсадные трубы геологоразведочного стандарта по ГОСТ 6238—52.

Скважины большого диаметра крепят стальными электросварными трубами по ГОСТ 10706—63. Такие трубы соединяют газовой или электрической сваркой с помощью продольных металлических планок. Трестом «Союзшахтоосушение» разработана технология сварки труб на специальном стеллаже. Для сварки труб применяют электроды ОМУ-1 марки Э-50. Расход электродов составляет около 1,8 кг на 1 кг наплавленного металла. Крепление скважин трубами большого диаметра ставит весьма сложные задачи в связи с тем, что современное буровое оборудование не приспособлено для этих целей. Институтом ВИОГЕМ (г. Белгород) разработаны два типа гидравлических подъемников грузоподъемностью 100 и 300 т, которые можно применять соответственно с установками УВБ-600, А-50 и БУ-75Бр, БУ-125Бр.

Для крепления скважин можно использовать бесшовные горячекатаные стальные трубы (ГОСТ 8732—58). Во многих водохозяйственных организациях для крепления скважин освоены и успешно применяются асбестоцементные трубы (Логинов, Шуссер, 1975).

Асбестоцементные трубы рекомендуется использовать для крепления скважин на глубину до 350—400 м, главным образом при вращательном способе бурения. Асбестоцементные трубы, выпускаемые промышленностью для прокладки напорных трубопроводов и водопроводных сетей, рассчитаны на давление 0,3; 0,6; 0,9 и 0,12 МПа. Для крепления скважин используют трубы, рассчитанные на давление не ниже 0,6 МПа, т. е. трубы ВТ-6, ВТ-9 и ВТ-12. Трубы ВТ-6 применяют до глубины 30—40 м.

Основные типоразмеры асбестоцементных труб приведены в таблице 6.

Таблица 6

Основные размеры асбестоцементных труб по ГОСТ 539—65

Условный проход, мм	ВТ-3, ВТ-6, ВТ-9	ВТ-12	ВТ-3	ВТ-6	ВТ-9, ВТ-12	ВТ-3	ВТ-6	ВТ-9	ВТ-12	Длина трубы, мм	ВТ-3, ВТ-6	ВТ-9, ВТ-12	ВТ-3	ВТ-6	ВТ-9	ВТ-12
	внутренний диаметр, мм	наружный диаметр обточенных концов, мм									толщина стенок обточенных концов, мм						длина обточенных концов, мм		масса труб, кг
50	50	—	58	68	68	9	9	9	—	2950	300	350	11	11	11	—
75	75	—	93	93	93	9	9	9	—	2950	300	350	16	16	18	—
100	100	—	118	118	122	9	9	11	—	2950	300	350	21	21	25	—
125	119	—	137	139	142	9	10	11,5	—	2950/3950	300	350	24/33	26/35	31/41	40/48,5
150	141	135	161	163	168	10	11	11,5	16,5	2950/3950	300	350	32/47	35/47	43/57	50/67
200	189	181	209	217	224	10	14	17,5	21,5	3950	300	350	57	80	95	118
250	235	228	259	265	274	12	15	19,5	23	3950	300	350	86	106	134	152
300	279	270	305	314	324	13	17,5	22,5	27	3950	300	350	142	146	188	218
350	322	312	352	361	373	15	19,5	25,5	30,5	3950	360	380	145	184	238	278
400	368	356	402	414	427	17	23	29,5	35,5	3950	360	380	185	245	315	317,5
500	456	441	498	511	528	21	27,5	38	43,5	3950	400	380	279	364	466	549

- Примечания. 1. Условный проход асбестоцементных труб соответствует внутреннему диаметру чугунных труб, чугунные фасонные части которых используют в асбестоцементных трубопроводах.
 2. В числителе указана масса труб длиной 2950 мм, в знаменателе — труб длиной 3950 мм.
 3. При отсутствии железобетонных труб больших размеров по требованию заказчика после согласования с планирующими органами допускается изготовление по республиканским техническим условиям асбестоцементных труб марок ВТ-3 и ВТ-6 с условным проходом 600, 700, 900 и 1000 мм с цилиндрическими асбестоцементными муфтами под зачеканку.
 4. Асбестоцементные трубы, как правило, завод-изготовитель поставляет в условных метрах. Для пересчета количества асбестоцементных труб и муфт в условные метры используют переводные коэффициенты

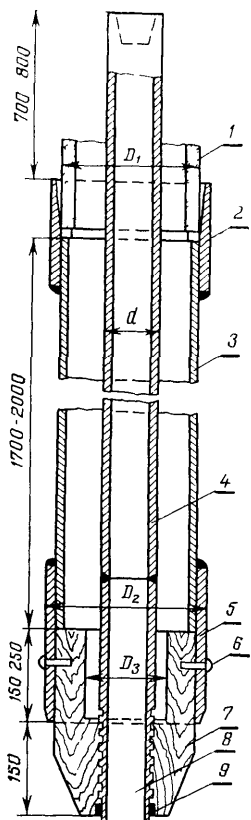


Рис. 9. Поддерживающий башмак:

1 — асбестоцементная обсадная труба; 2 — муфта; 3 — стальной патрубков; 4 — буровая труба, 5 — стальной патрубков для пробки; 6 — шурупы; 7 — деревянная пробка; 8 — монтажный стальной патрубков с ленточной резьбой; 9 — пеньковая промасленная прядь.

асбестоцемента, пластмассы и стали. Предпочтительнее использовать стальные муфты, так как они при прочих равных условиях имеют меньший наружный диаметр и, следовательно, могут быть использованы в скважинах меньшего диаметра. Соединение труб с муфтой может

Перед спуском колонн скважину прорабатывают долотом соответствующего размера. До глубины 100—150 м асбестоцементные трубы опускают с поддержкой за верхний конец, при больших глубинах — на бурильных трубах с нижней поддержкой. Для этих целей в нижней части колонны устанавливают стальной опорный несущий поддерживающий башмак (рис. 9), спуск колонны труб можно вести и на опорных башмаках других конструкций (Лерман, Володько, 1968). После спуска колонны бурильные трубы левым вращением отсоединяют от опорного башмака и извлекают из скважины. Скважины, закрепленные асбестоцементными трубами, цементируют на всю длину, т. е. до устья. Если водоносный горизонт вскрывают через закрепленную колонну, то на колонне буровых труб устанавливают резиновые протекторы и бурение ведут при пониженном осевом давлении и на первой (минимальной) частоте вращения. Это объясняется тем, что асбестоцементные трубы весьма хрупки и не выдерживают динамических нагрузок. Транспортировка асбестоцементных труб также требует мер предосторожности против ударных нагрузок.

Асбестоцементные трубы соединяют между собой с помощью муфт. Муфты изготовляют из асбестоцемента, пластмассы и стали.

быть резьбовое и на заклепках. Научно-исследовательским институтом асбестоцемента и институтом «Укррипроводхоз» разработан способ соединения труб с помощью асбестоцементных муфт на ленточной резьбе. Герметичность обеспечивается применением битумной смазки (Лерман, Володько, 1968). Глубина спуска таких колонн достигает 200 м.

Получила распространение конструкция соединения асбестоцементных труб с помощью фанерных муфт с использованием резиновых прокладок, предложенная В. М. Гаврилко.

Спуск колонны в этом случае осуществляют на бурильных трубах с нижней поддержкой.

Все большее применение получают трубы из термопластов и стеклопластиков. Полимерные трубы характеризуются высокой стойкостью к коррозии, небольшой плотностью и более низкими гидравлическими сопротивлениями. Вместе с тем эти трубы имеют и недостатки — старение и ползучесть, особенно в условиях солнечной радиации.

Технические характеристики труб из термопластов приведены в таблицах 7, 8, 9.

Трубы из термопластов соединяют с помощью муфт из металла и термопласта на резьбе и заклепках. Наибо-

Таблица 7

Сортамент труб из полиэтилена низкой плотности (ПНП) по МРТУ 6-05-918—67

Средний наружный диаметр, мм		Легкий тип ($P=0,25$ МПа)		Среднелегкий тип ($P=0,4$ МПа)		Средний тип ($P=0,6$ МПа)		Тяжелый тип ($P=1$ МПа)	
номинальный	предельное отклонение	толщина стенки, мм							
		номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение
50	+1,0	2,4	+0,4	3,7	+0,6	5,4	+0,7	8,3	+1,0
63	+1,1	3,0	+0,5	4,7	+0,7	6,7	+0,9	10,5	+1,2
75	+1,3	3,6	+0,6	5,6	+0,8	8,0	+1,0	12,5	+1,4
90	+1,6	4,3	+0,6	6,7	+0,9	9,6	+1,2	15,0	+1,7
110	+1,8	5,2	+0,7	8,1	+1,0	11,8	+1,4	18,3	+2,0
125	+2,1	6,0	+0,8	9,3	+1,1	13,4	+1,5	20,8	+2,3
140	+2,3	6,7	+0,9	10,4	+1,2	—	—	—	—
160	+2,6	7,7	+1,0	11,9	+1,4	—	—	—	—

Сортамент труб из полиэтилена высокой плотности (ПВП) по МРТУ 6-05-917-67

номинальный	пределное отклонение	толщина стенки, мм							
		Легкий тип ($P=0,25$ МПа)		Среднелегкий тип ($P=0,4$ МПа)		Средний тип ($P=0,6$ МПа)		Тяжелый тип ($P=1$ МПа)	
		номинальная	пределное отклонение	номинальная	пределное отклонение	номинальная	пределное отклонение	номинальная	пределное отклонение
50	+1,0	—	—	2,0	+0,4	2,8	+0,5	4,5	+0,6
63	+1,1	—	—	2,5	+0,5	3,6	+0,6	5,7	+0,8
75	+1,3	2,0	+0,4	2,9	+0,5	4,3	+0,6	6,8	+0,9
90	+1,6	2,2	+0,4	3,5	+0,6	5,1	+0,7	8,2	+1,0
110	+1,8	2,7	+0,5	4,5	+0,6	6,2	+0,8	10,0	+1,2
125	+2,1	3,1	+0,5	4,8	+0,7	7,1	+0,9	11,4	+1,3
140	+2,3	3,5	+0,6	5,4	+0,7	7,9	+1,0	12,7	+1,5
160	+2,6	3,9	+0,6	6,2	+0,8	9,1	+1,1	14,6	+1,7
180	+2,7	4,4	+0,6	7,0	+0,9	10,2	+1,2	16,4	+1,8
200	+2,8	4,9	+0,7	7,7	+1,0	11,4	+1,3	18,2	+2,0
225	+2,9	5,5	+0,8	8,7	+1,1	12,8	+1,5	20,5	+2,2
250	+3,0	6,1	+0,8	9,7	+1,2	14,2	+1,6	22,8	+2,5
280	+3,1	6,9	+0,9	10,8	+1,3	15,9	+1,8	25,5	+2,8
315	+3,3	7,7	+1,0	12,2	+1,4	17,9	+2,0	—	—
355	+3,4	8,7	+1,1	13,7	+1,6	20,1	+2,2	—	—

лее простым и достаточно надежным является соединение путем сварки.

Трубы из стеклопластиков имеют механическую прочность, близкую к прочности стали. Содержание стекловолокна в этих трубах составляет 60—74%.

Прочность стеклопластика зависит от направления укладки волокна и может различаться в продольном и поперечном направлении в 15—20 раз. Трубы из стеклопластика в 2—3 раза дороже стальных. При температуре выше 100—120°C эти трубы значительно снижают свои прочностные свойства и устойчивость. Кроме того, они имеют низкую герметичность, поэтому требуется дополнительная футеровка их эпоксидными смолами и другими веществами.

Соединение стеклопластиковых труб может быть резьбовое с помощью муфт и ниппелей. При таком способе возможно перерезание продольных волокон и значительное снижение прочности соединения. Более совершенным

Сортамент труб из полипропилена (ПП) по ТУ 38-2-54—69

Наружный диаметр, мм		Легкий тип ($P_y=0,32$ МПа)			Средний тип ($P_y=0,6$ МПа)		
номинальный	допустимое отклонение	толщина стенки, мм		масса 1 м труб, кг	толщина стенки, мм		масса 1 м труб, кг
		номинальная	допустимое отклонение		номинальная	допустимое отклонение	
50	1,25	2,0	+0,40	0,30	2,8	+0,50	0,41
63	1,45	2,0	+0,40	0,39	3,6	+0,55	0,66
75	1,65	2,4	+0,45	0,55	4,3	+0,65	0,94
90	1,85	2,8	+0,50	0,77	5,1	+0,70	1,33
110	2,15	3,5	+0,55	1,16	6,2	+0,80	1,97
125	2,40	3,9	+0,60	1,46	7,1	+0,90	2,56
140	2,50	4,4	+0,65	1,85	7,9	+1,00	3,19
160	2,50	5,0	+0,70	2,39	9,1	+1,10	4,19
180	2,50	5,6	+0,75	3,00	10,2	+1,20	5,28
200	2,90	6,2	+0,80	3,72	11,4	+1,35	6,55
225	2,90	7,0	+0,90	4,68	12,8	+1,50	8,27
250	2,90	7,8	+1,00	5,79	14,2	+1,60	10,10
280	3,20	8,7	+1,05	7,21	15,9	+1,80	12,70

является изготовление специальных полукруглых резьб путем намотки их и склеивания с трубой, а также склеивание концов труб с металлическими муфтами.

Трубы из стеклопластиков имеют хорошее сцепление с цементным камнем, особенно при пескоструйной обработке.

Максимальные напряжения растяжения в трубах при их спуске наблюдаются, когда колонна находится в подвешенном состоянии. В глубоких скважинах масса таких колонн и напряжения в теле труб могут быть значительными, поэтому для их снижения в нижней части устанавливают обратные клапаны и внутрь колонн доливают воду. Такие колонны как бы находятся во взвешенном состоянии. В дальнейшем клапаны разбуривают.

Расчет колонн на осевые нагрузки ведут по формуле Ф. И. Яковлева, позволяющей определить усилие, при котором расстраивается резьбовое соединение. В нижней части колонна испытывает сминающее напряжение, особенно в глубоких скважинах и при опорожнении внутренней полости колонны. Величину допустимых сминающих условий определяют по формуле Г. М. Саркисова.

Цементная оболочка вокруг обсадной трубы снижает сминающие давления на 10,6—82,3% (Владимиров, 1974).

Толщину стенок и материал обсадных труб подбирают так, чтобы по всей длине колонна была одинаково прочной.

При расчете обсадной колонны на осевые нагрузки для колонн диаметром до 168 мм при длине до 3500 м коэффициент запаса прочности принимают равным 1,5—1,6, для колонн диаметром выше 168 мм и всех длин и колонн диаметром до 168 мм и при длине свыше 3500 м — 1,7—1,8.

При расчете фильтра на сминающую нагрузку для скважин с неустойчивыми стенками коэффициент запаса прочности принимают равным 1,3, а в скважинах с устойчивыми стенками — 1,15.

При расчете колонны на смятие коэффициент запаса принимают равным 1,15, для участков колонн, перекрывающих высокотемпературные соленосные отложения, запас прочности принимают равным 1,3. Для труб группы прочности Д и в случае применения цементов, отвечающих требованиям ГОСТ 1581—63, запас прочности принимают равным 1,05—1,10 (Владимиров, 1974).

§ 3. ЦЕМЕНТИРОВАНИЕ СКВАЖИН

При креплении скважин стальными, асбестоцементными трубами затрубное пространство обязательно цементируют. Это повышает прочность конструкции скважин и исключает связь отдельных водоносных горизонтов, вскрытых скважиной. Последнее обстоятельство имеет особое значение, так как предотвращает истощение и загрязнение подземных вод. Кроме того, цементное кольцо изолирует обсадную колонну от корродирующего влияния подземных вод.

Цементирование скважин осуществляют, как правило, до устья скважины, так как подбашмачная цементация не решает ранее перечисленные задачи.

Тампонажные цементы выпускают для «холодных» скважин с температурой забоя до 40°C, для «горячих» скважин с температурой забоя до 75°C и для глубоких скважин с температурой забоя 100—120°C. Цемент для «холодных» скважин должен обеспечивать начало схватывания не ранее чем через 3 часа и не позднее чем через

7¹/₂ часа после затворения; конец схватывания — не позднее чем через 3 часа после начала схватывания; сопротивление изгибу через двое суток 2,7 МПа. Цемент для «горячих» скважин должен обеспечивать начало схватывания не ранее чем через 1³/₄ часа и не позднее чем через 2³/₄ часа после затворения; конец схватывания — не позднее 1¹/₂ часа после начала схватывания; сопротивление изгибу 6,2 МПа.

В зависимости от природных условий применяют различные цементы. Так, песчанистый цемент представляет смесь тампонажного цемента с кварцевым песком в количестве до 20%. Такой цемент обладает плотным контактом с горными породами благодаря отсутствию давления усадки и применяется для цементирования направлений и кондукторов.

Волокнистый цемент — смесь тампонажного цемента с волокнистыми добавками асбеста, бумаги, тростника и других веществ в количестве 1—3% от общей массы. Такой цемент находит применение, если надо уменьшить глубину проникновения в трещиноватые породы с малым пластическим давлением или ликвидировать поглощение промывочной жидкости.

Расширяющиеся цементы увеличивают объем при твердении до 2% и используются для создания непроницаемого и прочного цементного камня.

Пуццолановые цементы, отличающиеся высокой стойкостью в сульфитных водах и большой водопроницаемостью, применяют при изоляционных работах. Такие цементы получают при добавке в тампонажные цементы диатомита, трепела и др.

Утяжеленный тампонажный цемент применяют в скважинах, которые бурят утяжеленными глинистыми растворами с плотностью до 2,2 г/см³. В качестве утяжелителя используют гематит.

Сроки схватывания цементного раствора регулируются специальными добавками. В качестве замедлителей схватывания используют различные поверхностно-активные вещества, сульфитно-спиртовую барду и др. Замедлители схватывания применяют при цементировании глубоких скважин, при работе с низкопроизводительными цементировочными насосами, при цементировании скважин, пробуренных на термальные воды.

При цементировании неглубоких скважин с невысокой забойной температурой в качестве ускорителей схватыва-

ния цементного раствора используют NaCl и CaCl_2 в количестве 2% по массе.

Важным показателем цементного раствора является водоцементное отношение, т. е. отношение массового количества воды к массовому количеству сухого цемента. Водоцементное отношение обычно составляет 0,4—0,5. Нижний предел его характеризуется снижением текучести, а верхний — понижением прочности цементного камня и увеличением срока схватывания. В зависимости от водоцементного отношения изменяется плотность цементного раствора:

водоцементное отношение	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
плотность цементного раствора, г/см ³	1,95	1,90	1,84	1,77	1,69

Сухой цемент (ГОСТ 1581—63) имеет плотность около 3,15 г/см³, хранение его в мокрых и влажных помещениях недопустимо. Проверку основных свойств цемента проводят путем замешивания проб раствора и определения сроков начала и конца схватывания, а также прочностных характеристик.

Ареометром определяют плотность раствора, прибором Вика — растекаемость.

В практике бурения скважин на воду наиболее распространена одноступенчатая (нормальная) схема цементирования с одной и двумя пробками. Цементировочные головки (рис. 10) применяют для цементирования и промывки колонны. Процессу цементирования должна предшествовать опрессовка цементировочной головки на давление, превышающее в 1,5 раза максимальное расчетное, в течение трех минут. Вначале в цементировочную головку опускают нижнюю пробку, затем после закачки в колонну необходимого объема цементного раствора начинают его продавливание. Существуют две схемы продавливания: с одной и двумя пробками. Первую схему (рис. 11) применяют при цементировании скважин глубиной до 100—150 м, при цементировании же более глубоких скважин эта схема приводит к перемешиванию цементного раствора и продавочной жидкости, что, в свою очередь, снижает качество цементации. Широкое распространение получила схема с двумя пробками (рис. 12). После промывки и установки нижней пробки проводят закачку необходимого объема цементного раствора и устанавливают верхнюю пробку. Затем осуществляют

Рис. 10. Цементовочная головка 2ГУЦ-400.

1 — обвязка, 2 — корпус, 3 — крышка, 4 — накидная гайка, 5 — пробковый кран; 6 — цементовочная пробка, 7 — стопорный винт

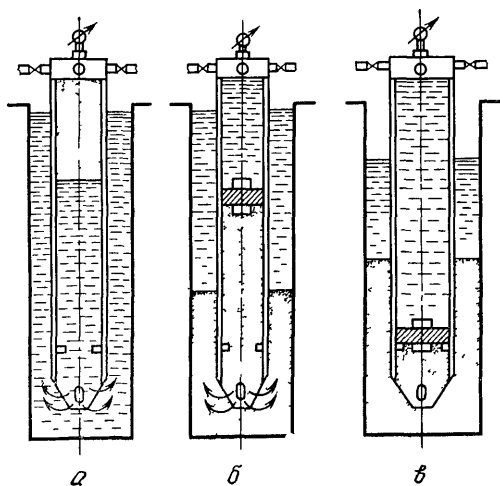
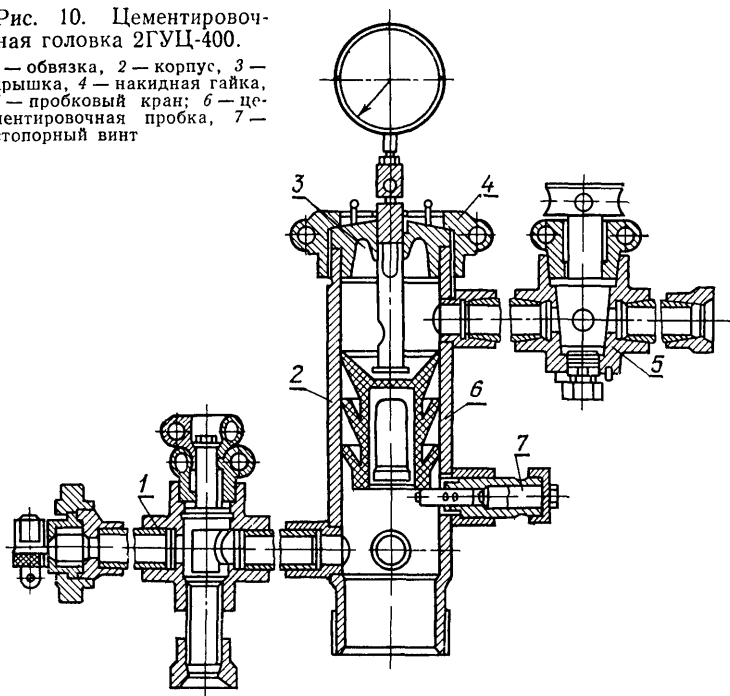


Рис 11 Схема цементирования с одной пробкой

а — закачка цементного раствора, *б* — продавливание цементного раствора, *в* — посадка пробки на стоп кольцо.

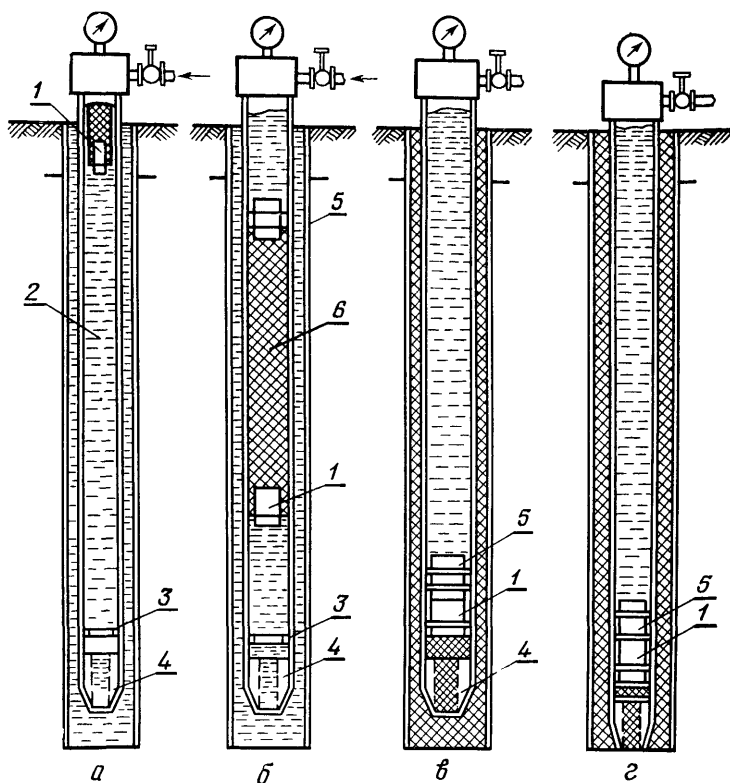


Рис 12. Схема цементирования с двумя пробками

a — скважина заполнена промывочной жидкостью 2, в колонну введена нижняя пробка 1, начинается закачка цементного раствора в колонну, *б* — после закачки требуемого объема цементного раствора *б* устанавливается верхняя пробка 5, цементный раствор продавливается до стоп кольца 3, *в* — цементный раствор выдвинут в затрубное пространство, *г* — обсадные трубы 4 опущены на забой

продавливание цементного раствора в затрубное пространство. После того как верхняя пробка дойдет до кольца «стоп», давление на манометре резко повышается, что служит окончанием цементации. В качестве продавочной жидкости обычно используют глинистый раствор. При цементировании учитывают количество закачиваемой продавочной жидкости, чтобы до прокачки оставшихся 0,5—1,0 м³ перейти на работу с одним насосом и избежать гидравлического удара в системе труб.

Перед цементированием для улучшения сцепления цементного камня со стенками скважины ее целесообразно

промыть раствором плотностью не более 1,1 г/см³ или водой

После окончания цементирования колонну оставляют в покое на 24 часа, после чего испытывают на герметичность

Чтобы обеспечить хорошее сцепление цементного раствора со стенками скважины, на обсадной колонне устанавливают пружинные и другие конструкции скребков, которые при спуске удаляют глинистую корку со стенок скважины. Сочетание центрирующих фонарей и пружинных скребков обеспечивает необходимое качество цементирования. В сложных гидрогеологических условиях сцепление цементной оболочки с обсадными трубами может быть непрочным, что приводит к затрубной циркуляции подземных вод и нарушению герметичности в затрубном пространстве. В таких случаях внешнюю поверхность труб рекомендуется перед спуском покрывать битумно-песчаной смесью (Овнатанов, 1970).

Объем цементного раствора $V_{цр}$, необходимый для цементирования скважины, определяют по формуле

$$V_{цр} = \frac{Kh\tau(D^2 - d^2)}{4} + \frac{\pi d_1^2 h_0}{4}, \quad (2)$$

где K — коэффициент, учитывающий увеличение объема цементного раствора за счет наличия трещин, каверн и увеличения диаметра скважины при бурении, $K=1,2-2,5$,

h — интервал цементирования (высота подъема цементного раствора), см,

D — диаметр бурения, см,

d, d_1 — соответственно наружный и внутренний диаметры обсадных труб, см,

h_0 — высота цементного стакана в обсадных трубах, см

Важным показателем является скорость подъема цементного раствора. Необходимо создать турбулентный режим движения раствора в затрубном пространстве, при котором будет происходить наиболее полное вытеснение глинистого раствора.

Для кондукторов и промежуточных обсадных колонн скорость цементного раствора должна быть не менее 1,5 м/с, а для эксплуатационных колонн — не менее 1,8—2,0 м/с. При возникновении опасных поглощений цементного раствора скорости восходящего раствора снижают

Цементировочные пробки изготовляют из дерева и резины. Производительность цементировочного агрегата $Q_{ц.а}$ должна удовлетворять условию:

$$Q_{ц.а} = 0,785 (D^2 - d^2) v, \quad (3)$$

где v — скорость цементного раствора в затрубном пространстве, равная 1,5—2,0 м/с.

Если требуемая производительность цементировочного агрегата выше паспортной, то подбирают более мощный агрегат или применяют несколько агрегатов. Для глубоких скважин рекомендуется иметь один цементировочный агрегат в запасе.

Количество продавочной жидкости $V_{пр}$ обычно подсчитывают по формуле:

$$V_{пр} = \frac{d_1^2 H_1 k}{2}, \quad (4)$$

где k — коэффициент запаса, равный 1,03—1,05;

H_1 — глубина установки кольца «стоп».

Давление P , развиваемое насосом перед посадкой верхней пробки на «стоп», определяют по формуле:

$$P_{max} = P_1 + P_2, \quad (5)$$

где P_1 — давление, необходимое для преодоления разности плотностей жидкости в затрубном зазоре и трубах, МПа;

P_2 — давление, необходимое для преодоления сопротивлений, МПа.

$$P_1 = 0,1 [(\gamma_1 - \gamma_2) L + (\gamma_1 - \gamma_2) h - (\gamma_1 - \gamma_2) h_0], \quad (6)$$

где γ_1 — плотность промывочной жидкости в затрубном пространстве, г/см³;

γ_2 — плотность продавочной жидкости, г/см³;

L — глубина скважины, см.

При использовании одного-двух цементировочных агрегатов $P_2 = 0,01L + 0,8$ МПа. В случае применения трех и более цементировочных агрегатов $P_2 = 0,02L + 1,6$ МПа.

Продолжительность работы по цементированию определяют по формуле:

$$T_{ц} = T_3 + T_{пр} + T_y, \quad (7)$$

где T_z , $T_{пр}$, T_y — продолжительность соответственно закачки цементного раствора, продавки и установки верхней пробки. $T_y = 10—15$ мин.

$$T_z = \frac{V_{ц.р}}{nQ_{ц.р}}, \quad (8) \quad T_{пр} = \frac{V_{пр}}{nQ_{ц.а}}, \quad (9)$$

где n — число цементируемых агрегатов;

$Q_{ц.а}$ — производительность цементируемого агрегата, $м^3/мин$;

$V_{пр}$ — количество продажной жидкости, $м^3$.

Продолжительность цементирования должна удовлетворять условию:

$$T_y \leq 0,75 T_{схв}, \quad (10)$$

где $T_{схв}$ — время схватывания цементного раствора ($T_{схв} = 90$ мин).

Закачку цементного раствора обычно ведут на I или II скорости насоса, в дальнейшем переходя на более высокие. Продавливание же цементного раствора начинают с высоких скоростей насоса, постепенно переходя на низкие, что связано с ростом давлений на продавливание.

В практике глубокого бурения (более 2 тыс. м) при наличии поглощающих пластов и в других случаях применяют двухступенчатое цементирование.

Манжетное цементирование нашло распространение в одноколонных конструкциях скважин и др. В обсадной колонне устанавливают обратный клапан с отверстиями для выхода цементного раствора и манжету, представляющую собой воронку, изготовленную из брезента, высотой 60—70 см и диаметром на 25—35% больше диаметра бурения.

При необходимости подбашмачного цементирования, отсутствии цементируемого агрегата или достаточно мощного бурового насоса, можно применять цементирование с помощью заливочных трубок (рис. 13). Эта схема проста и не требует специального оборудования.

Востокбурводом разработан (Миронов, 1972) и применяется на практике снаряд для цементирования обсадных колонн без оставления цементного стакана.

Цементный раствор закачивается по бурильным трубам через отверстия и манжету в затрубное пространство, после этого буровой инструмент с цементирующей головкой приподнимают на несколько метров и промывают обсадные трубы.

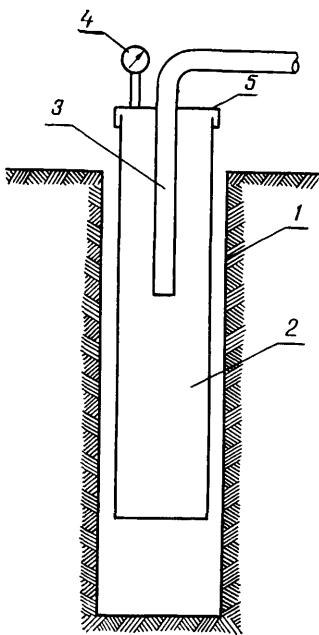


Рис 13. Схема цементирования с помощью заливочных трубок
 1 — ствол скважины; 2 — обсадная колонна, 3 — заливочные трубки; 4 — манометр, 5 — крышка

Цементный раствор приготавливают цементно-смесительными машинами. Наибольшее распространение получили машины СМН-20, смонтированные на шасси автомашины МАЗ. Бункер емкостью 20 т сухого цемента в нижней части имеет смесительное и подающее устройства. Производительность машины 0,8—1,6 м³/мин.

Закачку цементного раствора и его продавливание осуществляют цементировочными агрегатами (рис. 14). Техническая характеристика наиболее распространенных цементировочных агрегатов приведена в таблице 10.

Существенный недостаток полимерных труб — их невысокая адгезия, приводящая к непрочному сцеплению цементного камня с трубами. Один из путей решения этой задачи — модифицирование поверхности, например механическая или химическая очистка полимера от низкомолекулярных загрязнений, обеспечивающая большую пло-

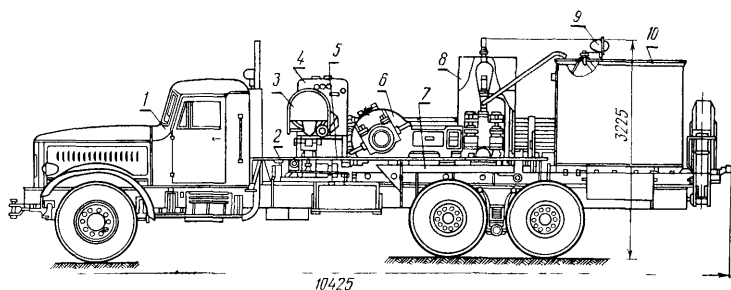


Рис. 14. Цементировочный агрегат ЦА-320М

1 — шасси автомобиля КрАЗ-219; 2 — коробка отбора мощности, 3 — насос 1В, 4 — оборудование верхнего двигателя, 5 — карданный вал, 6 — насос 9 т, 7 — манифольд; 8 — защитный кожух, 9 — электрооборудование агрегата; 10 — мерный бак

Краткая техническая характеристика цементировочных агрегатов

Показатели	ЦА- $\frac{1,4}{150}$	ЦА-300М	ЦА-320М	ЗЦА-400
Емкость за- мерного ба- ка, м ³	3	3	6,4	6,9
Подача цемен- тировочного насоса, м ³ /мин:				
макси- мальная	1,1	0,8	1,37	1,98
минимал- ная	0,26	0,11	0,138	0,264
Максимальное давление, МПа	15	30	40	40
Тип водяного насоса	1В	1В	1В	1В
Мощность, кВт	9,57	9,57	9,57	9,57
Максимальное давление, МПа	1,5	1,5	1,5	1,5
Тип автомо- биля	ЯАЗ-200	МАЗ-200	КрАЗ-219	Днепр-219
Мощность дви- гателя, кВт	80,96	80,96	80,96	80,96
Масса агрега- та с автома- шиной, т	11	11	17,5	21,1

щадь контакта и эффективную адсорбцию. Одним из наиболее простых и эффективных механических способов обработки труб является пескоструйная обработка, однако этот способ довольно трудоемкий. Очистка поверхности труб с помощью растворителей, например ксилолполиэтилена, увеличивает прочность адгезионного соединения до двух раз. Адгезия возрастает при обработке коронными или тлеющими разрядами. Это не только удаляет загрязнение с поверхности труб, но и изменяет химический состав полимера за счет обогащения его кислородсодержащими группами. В настоящее время в различных организациях ведутся работы по разработке рациональной технологии крепления скважин трубами из полимерных материалов (Сутягин, Тюпин, 1974).

ПЛАСТМАССОВЫЕ ФИЛЬТРЫ БУРОВЫХ СКВАЖИН *

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ФИЛЬТРАМ БУРОВЫХ СКВАЖИН

Производительность скважин, их устойчивая работа во многом зависят от устройства водоприемной части. В водоносных породах, представленных неустойчивым: скальными и полускальными породами, а также в рыхлых породах — гравелистых, галечниковых, песчаных грунтах и песках — водоприемную часть, как правило, оборудуют фильтрами.

Фильтры должны отвечать следующим основным требованиям:

обеспечивать свободный доступ воды в скважину, но при этом надежно защищать ее от пескования и обрушений водовмещающих пород;

материал фильтров должен быть устойчив против коррозии, допускать обработку скважин кислотами, а в скважинах питьевого водоснабжения не ухудшать качества воды, быть достаточно прочным, чтобы воспринимать горное давление, давление фильтрационного потока и противостоять абразивному истиранию частицами породы;

конструкция фильтра должна быть технологична в изготовлении при наименьшем расходе дефицитных материалов и применима в возможно широком диапазоне гидрогеологических условий; при всем этом она должна иметь хорошие технико-экономические показатели.

В историческом развитии стремление удовлетворить перечисленные выше требования привело к созданию разнообразных конструкций фильтров.

* Исследования выполнены под руководством Н. А. Карамби-рова.

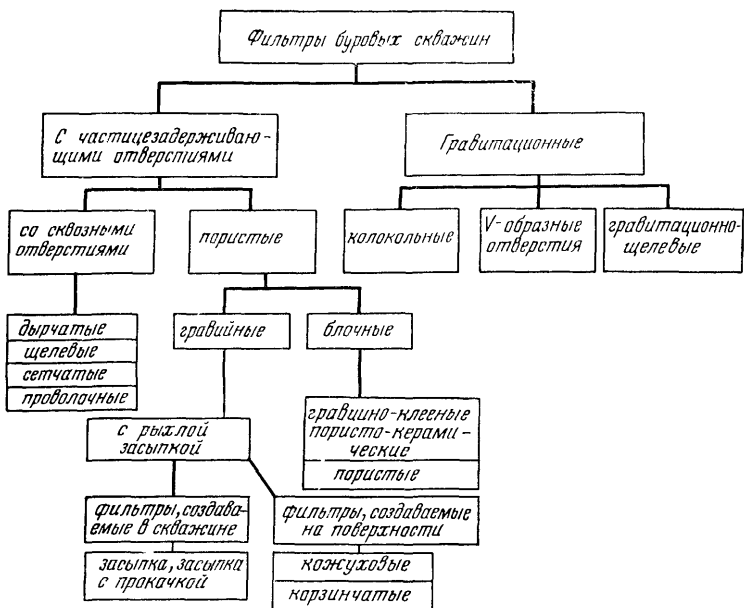


Рис. 15. Классификация фильтров буровых скважин.

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.

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

В. С. Оводовым (1960) дана классификация фильтров по принципу их работы в контакте с грунтом или гравийной засыпкой. Развивая подобный подход, Н. А. Карамбиновым была предложена классификация фильтров, дополненная автором (рис. 15).

В фильтрах с частицеудерживающими отверстиями выносу в скважину частиц водовмещающих пород препятствуют достаточно малые отверстия (или поры) фильтра. Частицы пород, накладываясь на щели или дыры, значительно сужают их живое сечение. Это приводит к увеличению гидравлических сопротивлений и спо-

собствует ускорению химической закупорки. В гравийных фильтрах эти явления проявляются в значительно меньшей степени.

Гравитационные фильтры имеют широкие водопримемные отверстия, в которых грунт удерживается от выноса под действием силы тяжести. К ним относятся колокольные, чашечные, тарельчатые, зонтичные, донные и др. (Абрамов, 1949; Карамбиров, 1948, 1952). В отверстиях гравитационных фильтров грунт имеет свободную поверхность, не стесненную дырчатыми стенками или сетками.

Основные причины выхода скважин из строя. Выход скважин из строя вызван пескованием фильтров, разрушением их вследствие коррозии, зарастания и кольматации водопримемной поверхности продуктами коррозии и гидрохимическими отложениями. Эти процессы часто проявляются одновременно.

Пескование скважин, сопровождающееся длительным выносом через фильтр водоносной породы, происходит из-за неправильного подбора или разрушения водопримемной поверхности. В результате внутренняя полость скважины заносится песком, дебит ее снижается. Пескование ведет к быстрому износу насосов. Возникающие при интенсивном и длительном песковании смещения водоносных пластов и кровли приводят к образованию провальных воронок около устья и разрушению обсадных колонн. Пескование усиливается при пульсации давления, гидравлических ударах, чрезмерном понижении динамического уровня, вибрации и т. п. В то же время пескование скважин в период строительных откачек до полного осветления воды или при разглинизации необходимо, так как оно способствует образованию вокруг фильтра зоны с повышенной проницаемостью.

Коррозия фильтров, вызываемая сложными электрохимическими, физическими и микробиологическими процессами, сопровождается разрушением конструкции, а также отложением на поверхности и внутри фильтров продуктов коррозии.

При обычных для подземных вод значениях рН 6—9 протекает кислородная коррозия, электрохимическая природа которой связана с кислородной деполяризацией катодных участков гальванических коррозионных пар на поверхности металлических фильтров (Акимов, 1945).

Коррозионные пары образуются вследствие неоднородной поверхности металла, при разнородных металлах

(стальная труба и латунная сетка или медная проволока и т. п.). Коррозии могут способствовать химический состав подземных вод, условия эксплуатации скважины и пр. С повышением содержания кислорода скорость коррозии увеличивается. Интенсивная коррозия металла наблюдается, как правило, на участках с большим притоком кислорода.

В щелочной среде (рН 10—14) коррозия протекает медленнее, так как на металле образуется прочная защитная пленка окислов. Воды с высокой карбонатной жесткостью склонны к образованию сплошного накипного осадка карбоната кальция и магния. Осадок может уменьшить среднюю скорость коррозии, но при этом возрастает опасность закупорки водоприемных отверстий. Неравномерность обрастаний и наличие свободных участков образуют на фильтре зоны с различными потенциалами, в результате появляются глубокие местные разрушения. При уменьшении рН пленка окислов обладает слабым защитным свойством, а коррозия поверхности металла протекает более равномерно.

В кислой среде (рН < 3—4) коррозия проходит весьма интенсивно. С повышением температуры скорость коррозии возрастает. Повышение солесодержания приводит к увеличению электропроводности воды и интенсификации коррозии металла. Коррозионная активность минерализованных подземных вод объясняется наличием значительного количества ионов хлора и сульфата. Мягкие воды с незначительной карбонатной жесткостью, содержащие кислород свыше 4 мг/л, разрушают металл более интенсивно, чем жесткие воды при содержании кислорода до 9 мг/л. При содержании в воде сероводорода и железа образуется тонкодисперсная взвесь сульфида железа (Клячко, Апельцин, 1971). При этом ускоряются коррозия и закупорка. Наличие свободной углекислоты препятствует образованию на металле прочных защитных пленок; образуется растворимый бикарбонат закиси железа $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

При рН > 7 и содержании в воде кислорода происходит окисление закисного железа, гидролиз и окисление бикарбоната двухвалентного железа в трехвалентное. В результате образуется коллоидная гидроокись железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и свободная углекислота. Гидроокись железа выпадает в виде коллоида, а затем коагулируется в бурые нерастворимые хлопья.

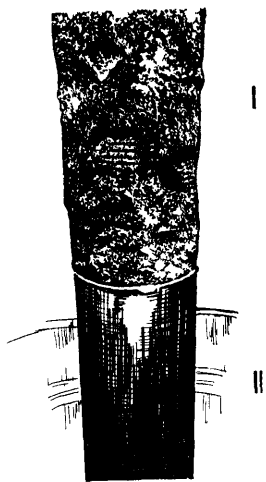


Рис 16 Фильтр, извлеченный из скважины
I, II — незащищенная и с защитным покрытием водопримные поверхности

В литературе широко освещены вопросы, связанные с разрушением фильтров вследствие коррозии (Гаврилко, 1968, Милихер, 1971, Суреньяц, 1957; Bieske, 1968, Riemp, 1964, Truelsen, 1958)

Химическая закупорка, или кольматаж, фильтров происходит из-за коррозии металла, выпадения из подземных вод труднорастворимых соединений и жизнедеятельности микроорганизмов. Интенсивность этих процессов зависит от гидрогеологических условий (состав подземных вод, склонность их к коррозии или осадкообразованиям, химическая активность водовмещающих пород, степень их дренированности и пр.), материала труб и фильтров, их конструкции, типа водоподъемника, режима откачки и т. п.

Если в подземных водах, находящихся в естественных условиях, растворенные соединения не выпадают, то под влиянием откачки наблюдается нарушение газового равновесия, турбулизация потока, активное аэрирование, окисление и выпадение осадка.

На рисунке 16 показан фильтр после двухлетней эксплуатации в скважине. В верхней части (на незащищенной металлической водоприемной поверхности) отчетливо видны коррозионные разрушения и зарастание, в нижней части, изготовленной с защитным покрытием, следы коррозии и зарастания отсутствуют (F. Welte).

При восстановлении скважин Колкского водозабора Латвийской ССР после двухлетней эксплуатации оказалось, что стальная проволока обмотки фильтра, извлеченного из скважины, имела явные следы коррозионного разрушения, была неодинаковой толщины, ломкой, отслаивалась от каркаса (рис 17)

По составу подземные воды отличались повышенной окисляемостью, содержанием железа, марганца, аммиака. Измеренное значение рН было меньше вычисленного pH_s — равновесного насыщения воды карбонатом кальция. Индекс насыщения равен $-1,10$. Превышение со-

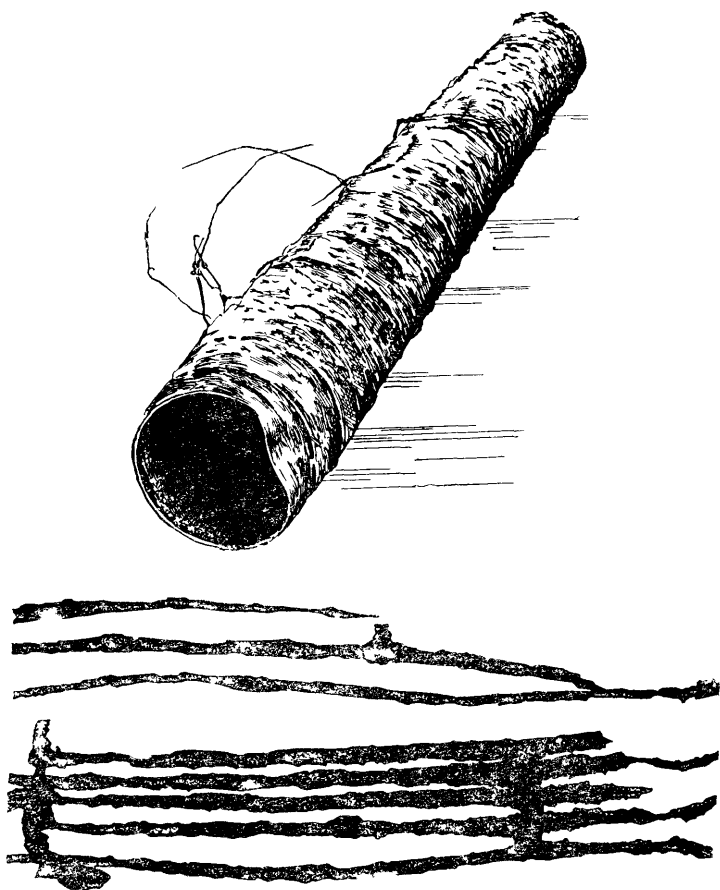


Рис 17 Проволочный фильтр, разрушенный коррозией, внизу стальная проволока из обмотки фильтра

держания углекислоты над равновесной концентрацией обуславливало избыток CO_2 , растворение защитной пленки твердого карбоната кальция и агрессивность воды.

При наличии растворенного кислорода протекала активная коррозия металла. При замене извлеченного фильтра пластмассовым произошла стабилизация производительности восстановленной скважины (она работает уже более семи лет)

Химический состав грунтовых вод подземного водозабора Рижского стеклозавода, приуроченных к среднеречным пескам четвертичных оглоблей ($d_{10} = 0,11$, $d_{50} = 0,18$, $d_{60} = 0,2$ мм, $K = 23,2$ м/сут), приведен ниже

t°, C	8	Mg^{+}	
pH	7,5	мг/л	16,5
$Fe_{общ}$, мг/л	3,7	мг экв/л	1,36
HCO_3^{-}		Na^{+}, K^{+}	
мг/л	219,6	мг/л	15
мг экв/л	3,6	мг экв/л	0,66
Cl		NH_4 , мг/л	2,0
мг/л	18	Жесткость, мг экв/л	
мг экв/л	0,49	общая	4,69
SO_4^{2-}		карбонатная	3,60
мг/л	61,7	SiO_2 , мг/л	5,0
мг экв/л	1,28	Сухой остаток, мг/л	309
Ca^{2+}		pH _s	7,82
мг/л	66,7	Индекс насыщения	-0,32
мг-экв/л	3,32		

В этих условиях скважина, построенная в 1964 г и оборудованная сетчатым фильтром, вышла из строя в 1966 г. Глубина скважины 20 м, диаметр бурения 273 мм, диаметр фильтра 180 мм, длина его 10 м. Зазор засыпал гравием. Коэффициент межслойности 11,1. Удельный дебит при откачке составил 1,4 л/с·м. Воду подавали для технологических нужд завода. Нарушение работы скважины объясняли зарастанием фильтра из-за повышенного содержания в воде железа. Это подтвердилось и в 1967 г, когда в результате обработки этой скважины кислотой дебит был восстановлен. Следовательно, разрушения фильтра не произошло. Но вскоре поступление воды опять прекратилось.

В 1967 г на расстоянии 7 м была пробурена новая скважина, оборудованная пластмассовым фильтром МГМИ. Глубина скважины 18 м, диаметр бурения 400 мм, диаметр фильтра 250 мм, длина 5 м. Удельный дебит скважины 1,1 л/с·м. Воду подавали насосом ЭЦВ-6 в пневматический резервуар. Число включений насоса 10—12 в час. Известно, что при повторно-кратковременном режиме работа фильтра осложняется. Тем не менее скважина надежно эксплуатируется уже более восьми лет, не снижая производительности.

Применение пластмасс для борьбы с коррозией и зарастанием фильтров. Развитие химической промышленности и производства пластмасс дает возможность более

широко применять эти прочные и устойчивые против коррозии материалы для изготовления фильтров. При этом, кроме снижения опасности коррозионного разрушения и закупорки отверстий продуктами коррозии, уменьшается кольматация фильтров гидрохимическими отложениями вследствие гидрофобности пластмасс. Фильтры из пластмасс имеют более гладкую наружную и внутреннюю поверхность. Пропускная способность их при одинаковых условиях работы выше, чем металлических. Пластмассы обладают стойкостью при абразивном истирании, антисептичны и инертны к микроорганизмам, допускают обработку скважин кислотами для борьбы с кольматацией и гидрохимическими отложениями. При необходимости замены или в аварийных случаях пластмассовые фильтры разбуривают или дробят в скважине и извлекают по частям. Пластмассы технологичны в изготовлении, а на организацию промышленного выпуска изделий из них требуется меньше капиталовложений, чем на аналогичную продукцию из металла. Изделия из пластмасс снижают транспортные расходы, удобны при сборке и монтаже, повышают срок службы скважин.

Замена дорогостоящих дефицитных металлов (латунь, бронза, нержавеющая сталь и т. д.) целесообразна также и с экономической точки зрения.

Известны и разрабатываются следующие предложения по технологии применения пластмасс для оборудования водоприемной части скважин:

нагнетание пластмассы (полимерных смол) в пласты, где после полимеризации смол скрепляются зерна рыхлых и неустойчивых песков;

создание конструкций блочных фильтров на основе спекания пластмассовых гранул, а также постоянной или временной связки гравия полимерными материалами;

введение в полимерный материал водорастворимых веществ с последующим их вымыванием для образования пористой проницаемой структуры;

внедрение пластмассовых сеток и тканей в конструкциях сетчатых, кожуховых и фильтров из пенополиуретана, гибких синтетических шнуров для обмотки фильтров; применение защитных покрытий металлических фильтров;

изготовление пластмассовых каркасов фильтров;

замена гравийной засыпки гранулированным полимерным материалом.

§ 2. КОНСТРУКЦИИ ПЛАСТМАССОВЫХ ФИЛЬТРОВ

В настоящее время накоплен значительный опыт применения пластмасс как конструкционного материала для изготовления фильтров, который показывает, что для той или иной конструкции фильтров прямая замена только материала не является достаточно эффективной.

Фильтры из перфорированных пластмассовых труб. Наиболее простым и доступным для буровых организаций способом применения полимеров для оборудования водоприемной части скважин является использование перфорированных пластмассовых труб. Трубы могут быть изготовлены из полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена, стеклопластика, древесноволокнистых пластмасс и из других термопластичных и терморезистивных материалов. Перфорированные дырчатые и щелевые каркасы делают из труб сверлением, фрезерованием или прокалыванием в них водоприемных отверстий. Трубы получают на заводах чаще всего методом непрерывной шнековой экструзии.

В Украинской ССР разработаны дырчатые каркасы, устанавливаемые в скважины как самостоятельные фильтры, как фильтры с гравийной обсыпкой, а также как каркасы кожуховых, сетчатых и проволочных фильтров (рис. 18) (Лерман, Володько, 1968). Перфорацию выполняли на радиальных сверлильных или фрезерных станках, а также термопрокалыванием. Сетчатые и проволочные фильтры на полиэтиленовых каркасах изготавливали впайкой концов сетки и проволоки в тело трубы. Работу скважины с пластмассовыми фильтрами оценивали положительно. После извлечения фильтров разрушений

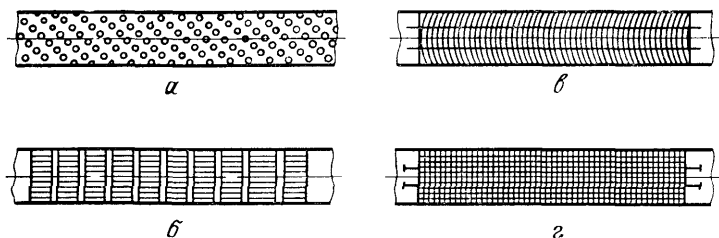


Рис. 18. Фильтры из полиэтиленовых труб конструкции Укрсовхозспецстроя:

а — каркас, перфорированный отверстиями; *б* — щелевой каркас; *в* — проволочный фильтр; *г* — сетчатый фильтр.

поверхности не обнаружили. Стенки труб были чистыми, без следов коррозии, наблюдалось заклинивание щелевых водоприемных отверстий зернами породы.

В Тамбовском управлении треста «Россельхозводстрой» применяли полиэтиленовые трубы для изготовления перфорированных дырчатых каркасов (Забурдаев, 1965). Перфорацию труб проводили на специальном станке. В 1965 г. в Уваровском районе была пробурена скважина на глубину 40 м в мелкозернистых песках. Скважина оборудована гравийным фильтром с пластмассовым перфорированным каркасом. При сдаче скважины в эксплуатацию дебит составил 26 м³/ч, который в дальнейшем почти не изменился. Характерно, что в предыдущие годы в этом районе приходилось ежегодно менять металлические фильтры вследствие их коррозии.

В 1965 г. внедрение пластмассовых трубчатых фильтров было начато трестом «Промбурвод». Фильтры изготавливали из полиэтиленовых труб, перфорированных круглыми и щелевыми отверстиями (рис. 19). По данным

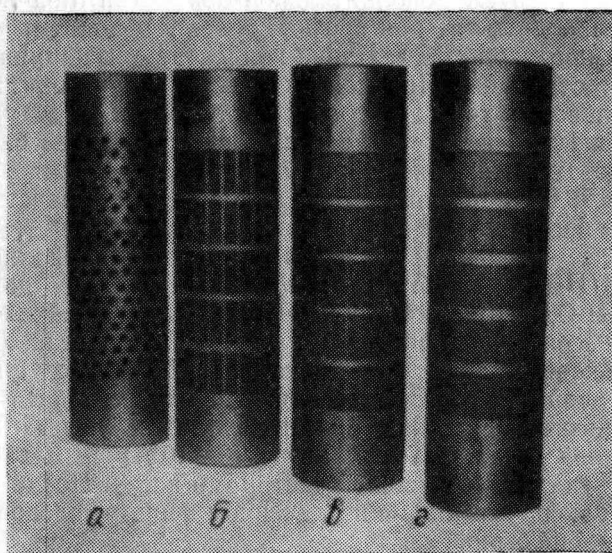


Рис. 19. Фильтры из полиэтиленовых труб конструкции треста «Промбурвод»:

а — дырчатый каркас (диаметр отверстий 16 мм, скважность 20%); *б* — щелевой каркас (ширина щели 4 мм, длина 85 мм, скважность 34%); *в* — щелевой каркас (ширина щели 2,5 мм, скважность 25,2%); *г* — щелевой каркас (ширина щели 1,5 мм, длина 85 мм, скважность 21,2%). Фсто В. Г. Пономарева.

МГМИ*, несущая способность щелевых полиэтиленовых фильтров при осевом вертикальном сжатии ограничивается потерей устойчивости сплошных перегородок между щелями. Значение критической нагрузки для образца *a* равнялось 7,56 т, для *b* — 1,78 и для *в* — 1,325 т.

Значение критического давления, полученного при всестороннем радиальном сжатии, для образца *a* составляло 0,256 МПа, для *b* — 0,064, для *в* — 0,064 и для образца *г* — 0,064 МПа.

Образец сплошной трубы (без отверстий) терял несущую способность при $P_{кр} = 0,64$ МПа. Таким образом, несущая способность труб, перфорированных круглыми дырами, меньше, чем сплошных, а дырчатых фильтров выше, чем щелевых. Несущая способность щелевых фильтров при радиальном сжатии незначительна (0,064 МПа). Следовательно, при больших глубинах скважин, особенно в несвязных водоносных породах, возникает опасность их разрушения. При перфорации труб наблюдается перерасход пластмассы, щели после фрезерования требуют дополнительной обработки и зачистки.

Ослабление сечения перфорированной пластмассовой трубы происходит вследствие концентрации напряжений вокруг отверстий. Прочность щелевых фильтров из полиэтиленовых труб, имеющих скважность 20%, уменьшается почти в 10 раз по сравнению с несущей способностью аналогичных сплошных труб. Перфорацию труб осуществляют термопрокалыванием или непосредственно при их изготовлении в экструдере.

Более прочны фильтры из поливинилхлоридных (ПВХ) труб. В 1945—1946 гг., по данным ВНИИВОДГЕО, такие фильтры применяли на скважинах Вильнюсского водопровода, а затем в Белоруссии, Литве и Горьковской области (Гаврилко, 1968). Наряду с положительной их работой отмечалось снижение дебита из-за большого содержания в подземных водах железа, недостаточной скважности фильтров (8—10%) и механического заклинивания щелей частицами песка. После двухлетней эксплуатации на извлеченном фильтре следов разрушения не было.

В 1958 г. щелевыми фильтрами из ПВХ был оборудован вертикальный дренаж Волгоградского и Цимлянского гидроузлов (Бондаренко, 1964). На Волжской ГЭС

* Испытания фильтров выполнены В. Г. Пономаревым.

им. В. И. Ленина в грунтовых водах повышенной минерализации было построено 56 скважин глубиной до 60 м, оборудованных фильтрами из ПВХ. Длина фильтров 8—10 м, диаметр 165 мм, ширина щелей 8 мм. Гравийная засыпка с диаметром зерен 8—20 мм имела толщину слоя 50 мм. В течение всего периода эксплуатации дренажа работа фильтров была устойчивой.

Выполненные автором статические испытания показали, что несущая способность фильтров из ПВХ выше, чем из полиэтилена. К недостаткам относится понижение прочности и химической стойкости материала при повышенных температурах. При отрицательной температуре материал становится хрупким. Имеются ограничения в применении ПВХ в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Более прочны фильтры, изготовленные из стеклопластиковых труб. Применение таких фильтров было предложено ВНИИВОДГЕО. Перфорация водоприемных отверстий вызывала разрыв стекловолокна, что вело к снижению прочности фильтров (Гаврилко, Алексеев, 1968).

На уменьшение несущей способности фильтров в результате надреза волокон указывают и английские инженеры (Bristol, 1965). По их предложению, нити стекловолокна (при армировании труб) наматывали под различным углом к образующей. Щели нарезали по спирали с таким расчетом, чтобы их направление совпадало с волокнами основных усиленных слоев. Подобное размещение перфорации в 2,5 раза увеличивало прочность фильтров по сравнению с трубами с продольными щелями. Недостаток их заключался в относительно высокой стоимости стеклопластиковых труб.

Фильтры с водоприемными отверстиями, получаемыми при формовании. Институт «ЦНИИгоросушение» разработал установку для изготовления фильтров из стеклопластика. В качестве наполнителя использовали фильтровальные сетки, а вяжущего — эпоксидные смолы. Наполнитель, пропитанный смолами, укладывали на перфорированную оправку, продуваемую сжатым воздухом. Основные элементы установки: рулоны со стеклосеткой, пропиточная ванна со смолой, разъемная оправка с продувочным устройством и нагреватель (рис. 20). Опытная установка позволяет получать секции фильтров длиной 2,5 м и диаметром 0,254 м. Фильтры прошли испытание в действующих скважинах (Воронцов, 1968).

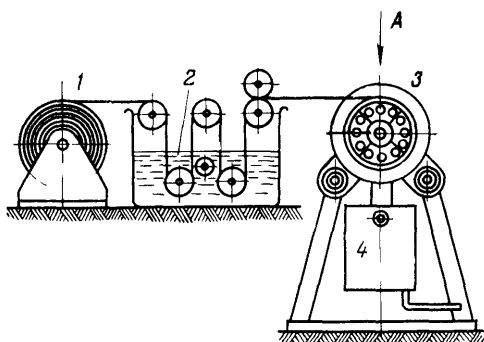


Рис. 20. Схема установки для изготовления стеклопластиковых фильтров конструкции ЦНИИгоросушение:

1 — ролл с сеткой; 2 — пропиточная ванна со смолой, 3 — разъемная оправка с продувочным устройством, 4 — нагреватель.

Переработка термопластичных полимерных материалов литьем под давлением, отличающаяся высокой производительностью и позволяющая получать непосредственно целые звенья фильтров, была применена Тульской механической базой треста «Союзшахтоосушение» для изготовления щелевых фильтров из вторичного капрона (рис. 21). Основные параметры фильтров при скважности 12,5%: длина звена 635 мм, внутренний диаметр 190, толщина стенки 10, размер щелей 2×43 , длина неослабленной части между рядами щелей 10 мм.

Водоприемные щели, ребра жесткости и резьбу получали при изготовлении звена в литьевой пресс-форме. Испытания фильтров на прочность показали, что при вертикальном осевом сжатии несущая способность литьевого капронового фильтра выше, чем фильтра из перфорированных полиэтиленовых труб. При радиальном сжатии критическое давление составляло 0,24 МПа (см. рис. 21, б), что почти в 4 раза больше, чем у щелевых фильтров из полиэтиленовых труб треста «Промбурвод». К их недостаткам относятся: токсичность материала, сложность изготовления литьевых пресс-форм, а также общие недостатки щелевых фильтров.

Фильтры из сборных элементов. Метод переработки пластмасс литьем под давлением применяли также для изготовления отдельных элементов тарельчатого фильтра во ВСЕГИНГЕО (Васильев, 1970). Фильтр состоит из колец, отливаемых из полистирола. Каждый элемент вы-

полнен из трех колец: верхнего, нижнего (обращенных один к другому большими основаниями) и промежуточного (рис. 22). Конструкция рассчитана на задержание водоносной породы в круговых желобках. Кольца собирают в звенья с помощью стяжных болтов и соединительных патрубков. Результаты испытаний фильтров на Горьковском стационаре ВНИИВОДГЕО приведены в таблице 11. По данным А. Д. Васильева, в подобных условиях, то есть в подземных водах, склонных к осадкообразованиям, использование тарельчатых фильтров целесообразно ограничить.

Опыт применения пластмассовых фильтров за рубежом. Фирма «Шенебекер» (ФРГ) выпускает щелевые фильтры из ПВХ с продольными ребрами жесткости. Щели расположены горизонтальными рядами. Ширина щелей от 0,2 до 2 мм (Schönebecker, 1963). Щелевые пластмассовые фильтры с подобной ориентацией щелей на цилиндрическом трубчатом каркасе выпускаются также в ФРГ фирмой «Нольд» (Bieske, 1965).

В Польше разработан фильтр из стекловолокна, пропитанного смолой (Wygebski, 1965). Смолу наливают в ванну и через нее протягивают стекловолокно. Затем стекловолокно наматывают на алюминиевую матрицу

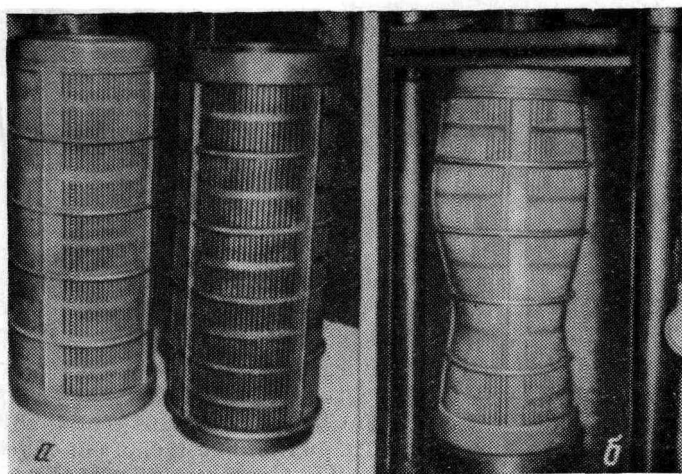


Рис. 21. Фильтры конструкции треста «Союзшахтосушение» из вторичного капрона:

а — общий вид; б — испытание на осевое сжатие.

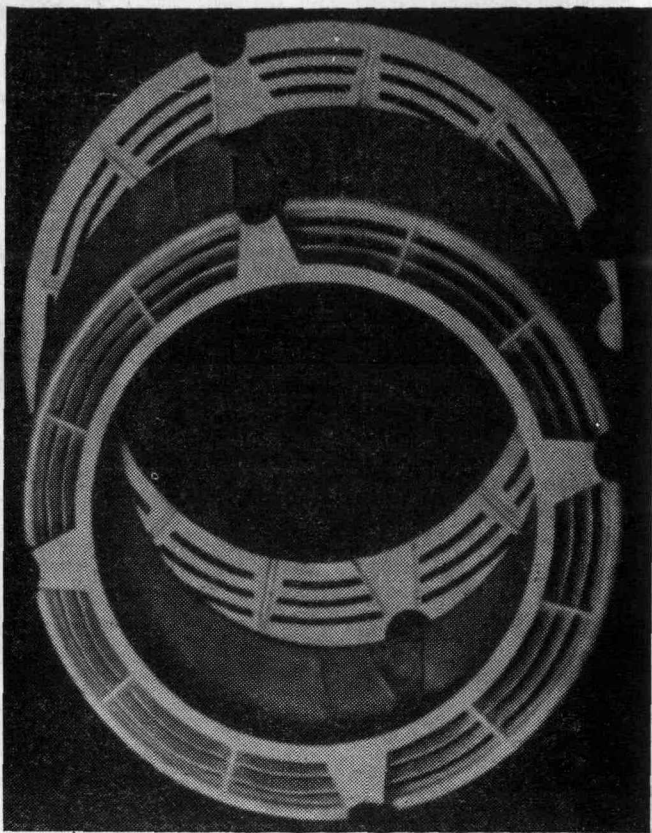


Рис. 22. Рабочая секция фильтра конструкция ВСЕГИНГЕО.

с желобками, оформляющими горизонтальные щели фильтра. Для повышения прочности фильтр армируют вертикальными опорными стержнями. Диаметр фильтра 140 мм, длина рабочей части 800 мм, ширина щелей 0,9—1,1 мм, скважность 40%. Критическое разрывное усилие вдоль оси фильтра составляет 61,3 кН, при вертикальном сжатии — 1,01, а при осевом радиальном сжатии двумя сосредоточенными силами — 2,5. Опытные образцы установлены в скважины для испытаний.

Фирма «Нольд» выпускает фильтры из полимерных материалов (рис. 23) (Nold, 1967). Водоприемные отвер-

Данные испытаний фильтров из пластмасс

№ скважины (диаметр бурения 300 мм, глубина 15 м)	Год установки фильтра	Диаметр частиц песка d_{90} , мм	Гравийная обсыпка D_{90} , мм	Интервал установки фильтра, м	Диаметр фильтра, мм	Длина рабочей части, м	Удельный дебит, л/с·м	Удельный дебит при повторных откачках, л/с·м			
								1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.
7щ (ВСЕГИНГЕО)	1966	0,25	—	6,5—10,5	146	4,0	1,75	1,47	1,21	0,53	—
								1964 г.	1965 г.	1966 г.	1970 г.
4 (МГМИ)	1963	0,23	4,5	8,9—13,3	170	4,0	4,0	4,05	3,36	2,26	2,1
5 (МГМИ)	1963	0,23	3,7	9,3—13,8	170	4,0	4,73	4,47	2,9	2,04	—
3б * («Союзшахтоосусшение»)	1966	0,25	4,0	7,8—12,0	150	4,2	2,68	1,9	1,4	1,3	—
								1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.

* По материалам ВНИИВОДГЕО.

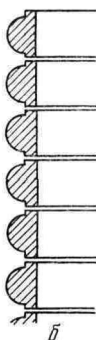
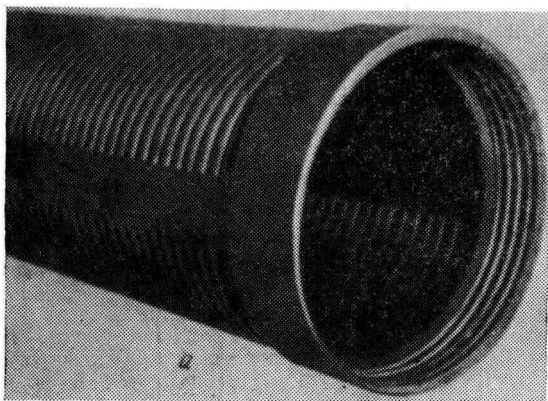


Рис. 23. Щелевой фильтр из стеклопластика:
 а — общий вид; б — схема водоприемной поверхности.

ствия расположены в горизонтальной плоскости. Фильтры изготовляют литьевым центробежным методом. При вращении формы под действием центробежной силы оформляются наружная и внутренняя поверхности фильтра и резьбовое соединение. К недостаткам таких фильтров относятся высокая стоимость материала и сложность технологического оборудования.

Для создания конструкций из сборных элементов, кроме способа литья под давлением, применяют метод переработки пластмасс прессованием (Schönebecker, 1963). Фирма «Шенебекер» рекомендует фильтры из сборных элементов, получаемых прессованием многослойной буковой фанеры, пропитанной фенолформальдегидной смолой (рис. 24). Фильтры диаметром 150 и 250 мм собирают на заклепках из двух элементов, а при большем диаметре — из трех. Ниже приведены основные параметры фильтров.

Диаметр, мм	150	200	250	300	350	400	600
Масса одного элемента, кг	7,5	9,3	7	10	14	16	35

Такие фильтры получили распространение также в афро-азиатских странах (Schönebecker, 1963) и в Венгрии (Pataki, 1967). Недостаток их заключается в малой скважности, в выполнении дополнительных операций при нарезке щелей, в известной токсичности фенола и формальдегида.

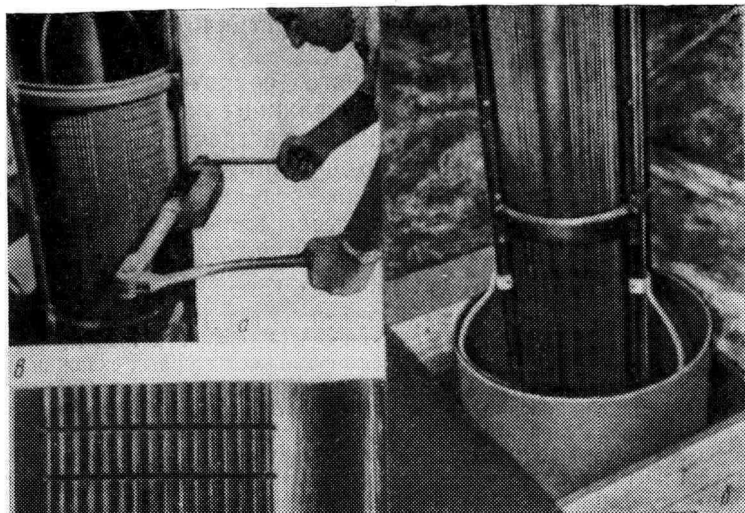


Рис. 24. Щелевой фильтр из прессованной древесины:
а, б — установка в скважину; *в* — фрагмент водоприемной поверхности.

Опыт применения пластмассовых фильтров показал, что при разработке их конструкций необходимо учитывать физико-механические, технологические и гигиенические характеристики пластмасс, их химическую стойкость, гидравлические и технико-экономические показатели.

§ 3. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НА КОНТАКТЕ ФИЛЬТРОВ С ВОДОНОСНЫМИ ПОРОДАМИ

Дополнительные потери напора при притоке возникают непосредственно около скважины, увеличиваясь по мере стеснения живого сечения фильтрационного потока. При этом они иногда составляют до 60% и более от общего понижения. Дополнительное сопротивление скважины обусловлено ее несовершенством по степени и характеру вскрытия водоносного пласта (Бочвер и др., 1969).

Для определения дополнительного сопротивления скважины, связанного с несовершенством по степени вскрытия пласта в условиях установившегося и неустановившегося движения, имеются аналитические решения

М. Маскета, А. Л. Хейна, Н. Н. Веригина и других авторов.

Определение дополнительного сопротивления, связанного с несовершенством скважины по характеру вскрытия, из-за малой изученности встречает некоторые трудности. Наиболее надежно дополнительное сопротивление можно найти лишь по результатам откачек. Ф. М. Бочеве́ром и В. С. Алексе́евым предложен графоаналитический способ определения дополнительного сопротивления скважин (Бочеве́р, Алексе́ев, 1965).

Гидравлическое сопротивление фильтров в значительной степени влияет на производительность скважин. А. А. Сури́н в 1926 г., анализируя зарубежный опыт по применению в водозаборных скважинах фильтров из оцинкованной проволоки и саржи, писал, что ткань не допускала проникновения даже мелких частиц грунта внутрь колодца, но вызывала слишком большое сопротивление проходу воды в колодец, и горизонт воды опускался в нем значительно ниже горизонта окружающего грунтового потока; фильтры закупоривались и доступ воды в колодец прекращался (Сури́н, 1926).

В. Кириле́йс за сопротивление фильтра принимал разность уровней у внешнего диаметра гравийной засыпки и в скважине. В скважинах с различными фильтрами он обнаружил, что значение этого перепада менялось от 2,8 до 5 м и более.

По данным И. П. Ку́сакина, с увеличением скорости входа воды в фильтр сопротивление настолько возрастает, что становится практически недопустимым.

В. С. Ово́дов при изучении гидравлических сопротивлений сетчатых фильтров установил, что с уменьшением коэффициента фильтрации песка сопротивление (Δh см) фильтров значительно возрастает. Для фильтра с одним и тем же номером сетки сопротивление больше в мелком песке, чем в крупном. При условии непросыпаемости для одного и того же песка с увеличением номера сетки (размера отверстий) сопротивление фильтра уменьшается (Ово́дов, 1960).

Потери напора сетчатого иглофильтра находят следующим образом:

$$\Delta h = \Delta h_{\text{гп}} + \Delta h_{\text{ф}} \approx \xi \frac{v_1}{K}, \quad (11)$$

где $\Delta h_{\text{гп}}$ — потери напора в кольцевом зазоре грунта;

$h_{\text{ф}}$ — потери напора на стенке сетчатого фильтра;

K — коэффициент фильтрации грунта ($K=10-100$ м/сут);

ξ — суммарная величина коэффициента потерь напора, определяемая опытным путем;

v_1 — скорость входа воды в фильтр

$$v_1 = \frac{Q}{F}.$$

Здесь F — площадь фильтра;

Q — дебит (Григорьев, 1955).

Условность зависимости (11) заключается в предпосылке о существовании линейной связи между скоростью и величиной потерь,

а также в весьма приближенном определении коэффициента потерь напора.

Г. Г. Поляков (1958, 1959, 1969) при исследовании сопротивления перфорированных каркасов, контактирующих с грунтами, установил, что потери напора на фильтре были от 0,125 до 7,63 м. Неясно, какая часть этих потерь шла на сопротивление грунта, а какая на сопротивление фильтра.

Гравийная засыпка существенно улучшает водозахватную способность скважин. По данным С. К. Абрамова (1962), расход оставался неизменным при увеличении скважности дрены, помещенной в гравийный слой. На контакте фильтра с породой гидравлическое сопротивление было весьма существенным.

По данным Н. Т. Эфендиева, закладка дренажных труб различной скважности в гравийную обсыпку устраняет гидравлическую разницу между трубами с водоприемными отверстиями и идеальными дренами. К подобному выводу пришел и А. И. Мурашко при исследовании сопротивления водоприемной поверхности пластмассовых дренажей.

Г. В. Донской занимался изучением изменения суммарного дополнительного сопротивления перфорации дрен и гравия. Получены значения коэффициентов расхода и предложена формула, позволяющая оценивать вероятное отклонение коэффициента расхода от средней величины в зависимости от числа отверстий. Опыты проводили на прямоугольных призматических лотках с плоской фильтрационной поверхностью.

В. М. Беляков (1959) выполнял оценку сопротивления гравийных фильтров решением системы двух уравнений: двучленной формулы Прони и обобщенной формулы Д. М. Минца для зернистых материалов. Влияние перфорированных каркасов учитывалось вместе с сопротивлением гравийного слоя.

В. С. Алексеев (1967) установил, что для сетчатых фильтров с одним и тем же номером сетки с увеличением коэффициента фильтрации грунта дополнительное, связанное с несовершенством по характеру вскрытия сопротивление повышается. При постоянной проницаемости грунта с увеличением размера ячейки сетки это сопротивление уменьшается.

По данным Э. А. Грикевича, наличие сетки не меняет общей формулы для определения расхода жидкости через отверстие. Влияние сетки отражается лишь на значении коэффициента расхода. При выводе формулы для определения коэффициента расхода фильтров влияние вязкости жидкости не учитывали.

Исследованием гидравлических сопротивлений щелевых пластмассовых дренажей фильтров водоочистки занимался Г. И. Николадзе (1966). Он установил, что заклинивание щелей зернами породы повышает сопротивление фильтров, но с увеличением крупности зерен влияние наложения снижается.* При одном и том же гравии с увеличением ширины щели сопротивление фильтров уменьшается. С повышением скорости фильтрации степень заклинивания щелей зернами, которые по размеру меньше, равны или незначительно превышают ширину щели, проявляется в большей степени, чем зернами, которые больше ширины щели. Меняется и интенсивность роста потерь напора.

* Подобный вывод находим также в работе американских исследователей (Petersen, Pohwer, Albertson, 1953).

D. Klotz (1970) исследовал фильтры скважин в условиях линейного режима фильтрации и с одним и тем же грунтом. В результате получены сравнительные данные по проницаемости (K , см/с) различных конструкций фильтров. Минимальные сопротивления ($K = 38,6$ см/с) имели фильтры фирмы «Е. Джонсон» (США) со скважностью 46,5%. Общие закономерности изменения гидравлических сопротивлений в широком диапазоне скоростей и напоров не рассматривали.

Таким образом, в фильтрах с частицезадерживающими отверстиями вследствие уменьшения размеров водоприемной площади при втекании воды в скважину наблюдаются значительные потери напора.

В гравитационных фильтрах, расчет которых предложен Н. А. Карамбиновым (1948, 1952), входные сопротивление сведены до минимума за счет уменьшения скорости входа воды в фильтр. Вода поступает в фильтр непосредственно из пор грунта, частицы которого удерживаются от выноса главным образом под действием силы тяжести.

В безнапорных водоносных пластах разрыв уровней у наружной и внутренней стенок колодца еще более значителен.

По данным Г. Н. Каменского (1943), образование участка выхода воды в скважину объясняется не только сопротивлением фильтра, но и искривлением эквипотенциалей возле скважины. Для того чтобы вода, находящаяся на участке породы, ограниченном искривленной линией равного напора и стенкой скважины, находилась в движении, необходим некоторый напор, развиваемый за счет разрыва уровней.

С. К. Абрамов (1954) установил, что на разрыв уровней в скважине и за ее наружными стенками влияют сопротивление породы, примыкающей к стенкам скважины и фильтра:

$$\Delta h = a \sqrt{\frac{QS}{KF}}, \quad (12)$$

где Δh — величина разрыва;

Q — дебит скважины;

S — понижение уровня воды в скважине;

K — коэффициент фильтрации пласта;

F — рабочая площадь фильтра.

В зависимости от конструкции $a=20$ для сетчатых и гравийных фильтров и $a=7$ для дырчатых, щелевых и проволочных.

Для определения потерь напора на фильтре С. К. Абрамовым, Н. Н. Биндеманом и М. П. Семеновым (1947) предложена формула:

$$\Delta h = 0,5 \frac{S^n}{H}, \quad (13)$$

где S — понижение;

H — напор до откачки;

n — показатель для дырчатых, сетчатых и гравийных фильтров, равный 2,2.

Потери напора Δh , замеренные в скважинах Кулундинской степи, оказались почти в 3 раза больше, чем определенные по формуле (13) (Полубаринова-Кочина, Пряжинская, Эмих, 1969).

Для величины разрыва имеются аналитические решения И. А. Чарного, В. М. Шестакова и других авторов, свидетельствующие о необходимости при расчетах учитывать сопротивление фильтра.

Таким образом, гидравлическое сопротивление фильтров складывается из сопротивлений грунта и конструкции фильтра, работающего в контакте с этим грунтом. Непосредственный контакт зерен породы с водоприемными отверстиями приводит их к закупорке, возрастанию гидравлических сопротивлений. В гравитационных фильтрах, где грунт, как сыпучее тело, удерживается в отверстиях силой собственной массы, сопротивления на контакте сведены до минимума.

Основные положения. Гидродинамическое сопротивление фильтра, контактирующего с породой, можно выразить в виде функциональной связи в зависимости от скорости фильтрации, конструктивных особенностей фильтра (диаметр, длина, скважность, размеры и форма водоприемных отверстий), формы, размеров и укладки зерен контактирующих пород и других факторов:

$$F(l, v, \rho, \Delta P, \mu_{ж}, g, \Delta) = 0, \quad (14)$$

где l — линейный размер, характеризующий форму отверстий, перекрытых или заклиненных зернами породы;

v — скорость движения жидкости;

ρ — плотность жидкости;

ΔP — перепад давления до и после фильтра (в зоне контакта);

$\mu_{ж}$ — динамический коэффициент вязкости;

g — ускорение свободного падения;

Δ — величина, характеризующая шероховатость отверстий и зерен.

Принимая за основные величины v , ρ и l согласно известной в теории размерностей π -теореме, выражение (14) можно привести к виду:

$$F(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5) = 0, \quad (15)$$

где
$$\Pi_1 = \frac{\Delta P}{\rho v^2}, \quad (16)$$

$$\Pi_2 = \Pi_4 = \frac{v^2}{lg}, \quad (17)$$

$$\Pi_3 = \frac{vl\rho}{\mu_{ж}} = \frac{vl}{\nu}, \quad (18)$$

где ν — кинематический коэффициент вязкости

$$\Pi_5 = \frac{l}{\Delta}. \quad (19)$$

Следовательно,

$$F\left(\frac{\Delta P}{\rho v^3}; \frac{v^2}{lg}; \frac{vl}{v}; \frac{l}{\Delta}\right) = 0. \quad (20)$$

В выражении (20) основные отношения являются критериями подобия:

$$F\left(Eu; Fr; Re; \frac{l}{\Delta}\right) = 0. \quad (21)$$

При напорной фильтрации влияние силы тяжести можно не учитывать, поэтому число Фруда (Fr) можно исключить, остальные безразмерные — критерий Эйлера (Eu), число Рейнольдса (Re) и $\frac{l}{\Delta}$ — служат для выражения коэффициентов сопротивления и расхода:

$$\zeta = f\left(Re; \frac{l}{\Delta}\right) \quad (22)$$

и

$$\mu = \varphi\left(Re; \frac{l}{\Delta}\right). \quad (23)$$

Зависимости (22) и (23) определены по данным экспериментальных исследований. Сопротивления на контакте фильтр — порода представлены в форме местных гидравлических потерь:

$$\Delta h = \zeta \frac{v^2}{2g}. \quad (24)$$

Расход через боковую поверхность фильтра равен $Q = \mu \omega \sqrt{2g\Delta h}$. Коэффициенты потерь напора ζ и расхода μ , полученные экспериментально, представлены в виде функций (22) и (23).

Лабораторные установки и методика исследований. Экспериментальные исследования проводили в лабораторных условиях на фильтрационных лотках: полуцилиндрическом, секторном (центральный угол 45°) и цилиндрическом.

Полуцилиндрический фильтрационный лоток диаметром 155 м и высотой 1,0 м изготовлен из листовой стали (рис. 25). Передняя стенка лотка плоская, с вмонтированным лобовым органическим стеклом размером $0,95 \times 1,0$ м, толщиной 0,22 м. По полуокружности лотка имеется приемная камера, отделенная перфорированной

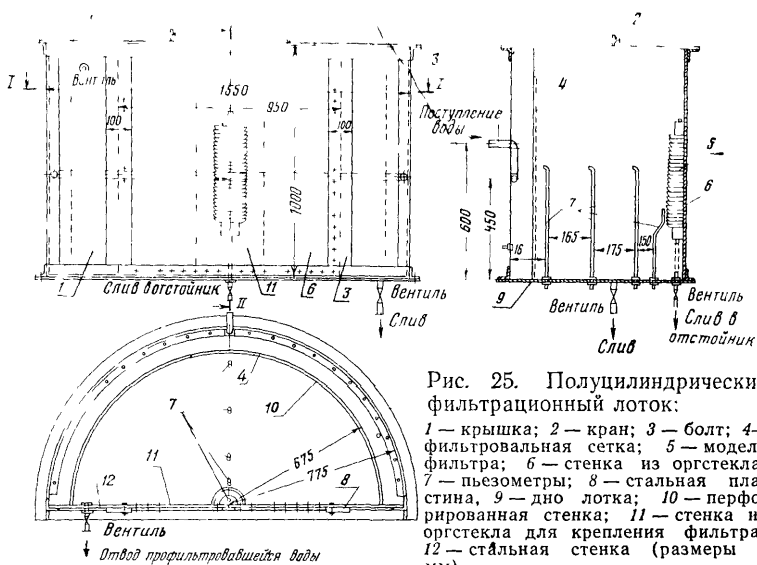


Рис. 25. Полуцилиндрический фильтрационный лоток:

1 — крышка; 2 — кран; 3 — болт; 4 — фильтровальная сетка; 5 — модель фильтра; 6 — стенка из оргстекла; 7 — пьезометры; 8 — стальная пластина; 9 — дно лотка; 10 — перфорированная стенка; 11 — стенка из оргстекла для крепления фильтра; 12 — стальная стенка (размеры в мм).

перегородкой с двойной латунной сеткой. Перфорированная распределительная труба для подачи воды в лоток (изогнутая по полуокружности) расположена в камере на высоте 0,45 м от дна лотка, что обеспечивало равномерный приток воды по всему сечению грунта. Крышка лотка с краном для выпуска воздуха соединялась с ним болтами и резиновой прокладкой. В дно лотка вмонтированы вертикальные пьезометрические трубки, расположенные в трех контрольных створах, проведенных по радиусам с шагом 45° (на рисунке показан один створ пьезометров). Входные отверстия трубок защищены от проникновения песка латунной сеткой.

Секторный фильтрационный лоток изготовлен из листовой стали (рис. 26). Со стороны широкой части сектора находилась камера питания, отделенная изогнутой по дуге перфорированной перегородкой, покрытой сеткой. В узкой части лотка имелось окно, к которому на фланцах крепили обойму из органического стекла с моделями обычных щелевых и гравитационно-щелевых фильтров (рис. 27). Боковые стенки обоймы служили продолжением боковых радиальных плоскостей.

Цилиндрический фильтрационный лоток диаметром 0,50 м и высотой 0,40 м состоял также из приемной каме-

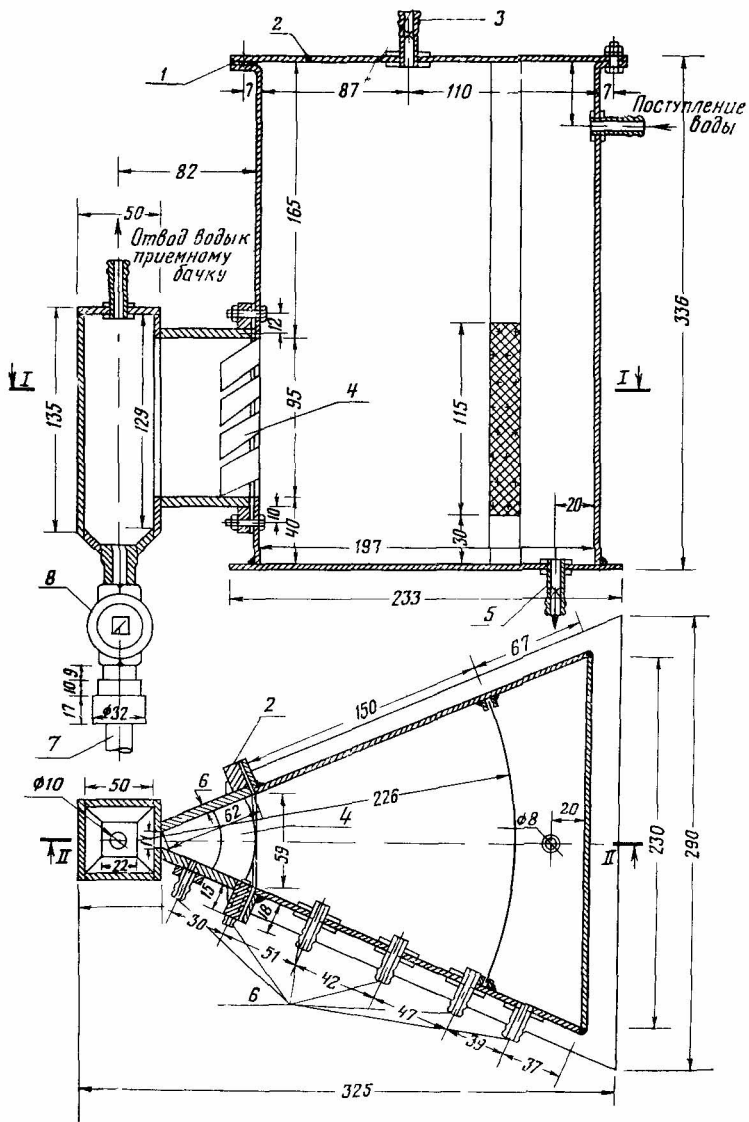


Рис 26 Конструкция секторного фильтрационного лотка (размеры в мм)

1 — резиновая прокладка, 2 — крышка лотка, 3 — кран для выпуска воздуха, 4 — фрагмент фильтра, 5 — кран сливной; 6 — штуцера пьезометров 7 — отстойник 8 — кран отстойника

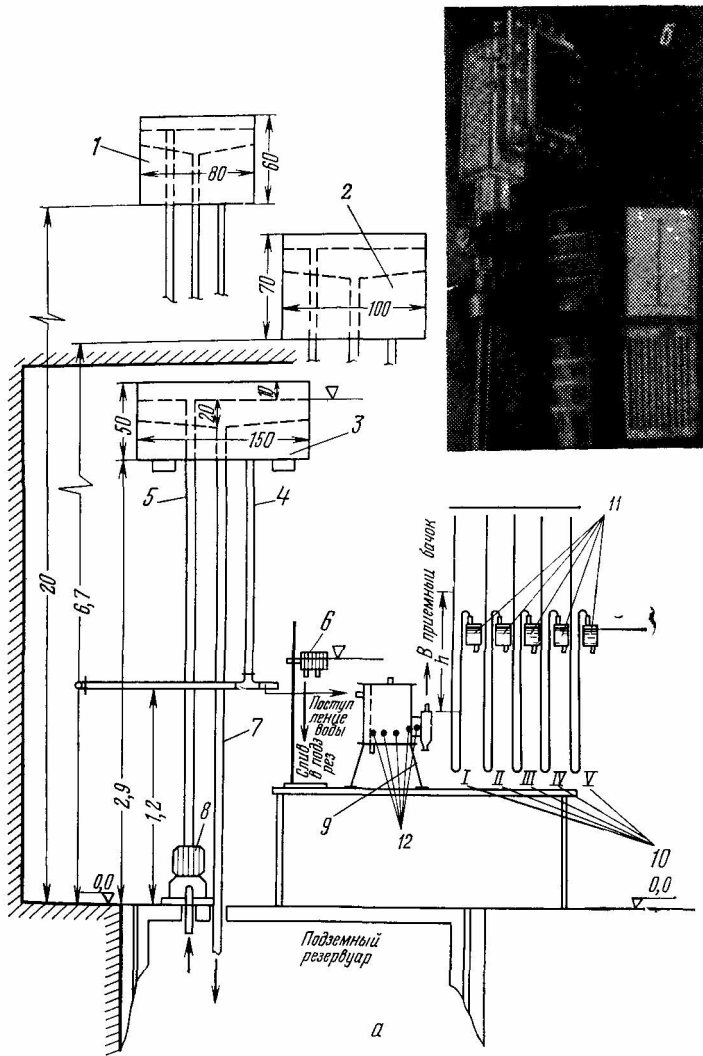


Рис 27 Схема лабораторной установки с секторным фильтрационным лотком (а) и обояма и фрагменты фильтров (б)

1, 2, 3 — верхний, средний и напорный баки, 4, 5 — разводящая и подающая трубы, 6 — приемный бачок, 7 — переливная труба, 8 — насос, 9 — фильтрационный лоток, 10 — манометры, 11 — напорные бачки из оргстекла, 12 — штыцера

ры шириной 0,12 м, отделенной по окружности перфорированной перегородкой с латуниной сеткой.

Лотки включали в замкнутую циркуляционную систему, состоящую из трех напорных баков, расположенных на разной высоте, приемного подземного резервуара и насоса.

Из напорного бака вода поступала в фильтрационный лоток, затем в подземный резервуар. Расход измеряли объемным способом, напоры — с помощью пьезометров или манометров.

Модели фильтров представляли собой их фрагменты (с соответствующим центральным углом), выполненные в натуральную величину. В опытах использовали однородные и разнородные пески. Вначале исследовали гидравлическое сопротивление фильтров. В опытах входная скорость воды в фильтр, отнесенная к площади модели, изменялась от 0,0 до 4,0 см/с.

Определение гидравлического сопротивления на контакте фильтр — порода. Предварительно изучали гидравлические сопротивления открытых (без наложения) щелей. На основании работ А. Д. Альтшуля, Н. С. Краснова (1967) и других авторов были получены выражения для потерь напора щелевых фильтров, работающих без наложения, например, в устойчивых скальных и полускальных породах:

$$\Delta h = \left[\frac{25,12}{Re} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - \eta \right)^2 \right] \frac{v^2}{2g} \quad (25)$$

Линейный размер при определении числа Re вычисляли по формуле:

$$l = \frac{p^2}{t} \left(\ln \cos \frac{\pi}{2} \eta \right), \quad (26)$$

где p и t — шаг и ширина щелей;

η — скважность;

ε — коэффициент сжатия струи, равный:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - \eta} \quad (\text{по А. Д. Альтшулю});$$

v — средняя скорость в щели.

Зависимость (25) подтверждена опытными данными.

Наложение зерен породы на водоприемную поверхность фильтра уменьшает живое сечение щелей или от-

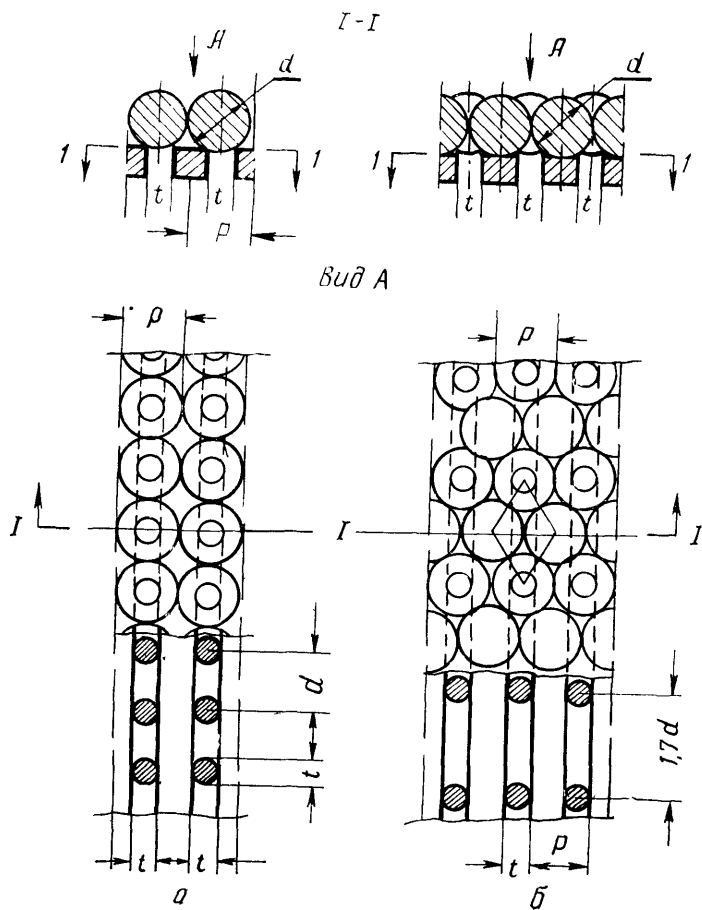


Рис. 28. Схема контактной зоны щелевого фильтра с укладкой шаровых зерен грунта:
a — рыхлой, *б* — плотной.

верстий, в результате чего гидравлическое сопротивление увеличивается. Сопротивление, вызываемое наложением породы на водопримную поверхность фильтров, в значительной степени зависит от конструктивных особенностей фильтров.

Схема контактной зоны щелевого фильтра приведена на рисунке 28. В сечении щели, перекрытом зернами, ос-

таются сквозные промежутки, площадь которых определяется выражением:

$$f_n = \psi dt - \frac{\pi t^2}{4}, \quad (27)$$

где d — диаметр зерен породы;

t — ширина щели;

ψ — коэффициент, зависящий от схемы укладки зерен. По Н. А. Карамбирову, ψ изменяется от 1 до 1,7 соответственно при рыхлой и плотной укладке.

Живое сечение фильтрационного потока в контактной зоне определяется площадью водоприемных щелей, стесненных перекрывающими их зернами. За линейный размер пор принимали гидравлический радиус R наиболее характерного для контактной зоны открытого промежутка между кромками щели и зернами:

$$R = \frac{t}{4} \frac{4\psi d - \pi t}{2\psi d + \pi t}, \quad (28)$$

где d — средний диаметр контактирующих зерен.

Средний диаметр зерен в контактной зоне, размер которых больше или равен ширине щели, определяли по гранулометрическому составу грунтов (по Н. А. Карамбирову):

для однородных грунтов

$$d_{p-s} = 2 \frac{d_p d_s}{d_p + d_s}; \quad (29)$$

для неоднородных разнозернистых грунтов

$$d_{p-s} = \frac{2 \sum_p^s \frac{k-i}{d_i d_k}}{\sum_p^s \frac{d_i + d_k}{(d_i d_k)^2} (k-i)}, \quad (30)$$

где $k-i$ — крайние значения индексов фракций;

$p-s$ — крайние значения участка кривой гранулометрического состава, размер зерен которых равен или больше ширины щели ($s = 100\%$, индекс p определяется из условия $t = d_p$).

Диаметр сечения зерен в плоскости щели, характеризующих в основном шероховатость, равен ширине щели. Если в формулах (22) и (23) вместо величины l использовать выражение (28), вместо $\Delta-t$, а входную

скорость отнести к площади щели, то основные функциональные зависимости (22) и (23) будут иметь вид:

$$\zeta = f\left(\operatorname{Re} \frac{R}{t}\right), \quad (31)$$

$$\mu = \varphi\left(\operatorname{Re} \frac{R}{t}\right). \quad (32)$$

Графическое изображение этих зависимостей показало, что опытные данные располагаются по кривым, отличающимся между собой параметром $\frac{R}{t}$. Закономерность изменения коэффициента сопротивления определяли по формуле:

$$\zeta = \frac{A}{\operatorname{Re}} + B. \quad (33)$$

Коэффициенты A и B находили по опытным данным, обработанным на ЭВМ БЭСМ-3М (табл. 12).

Таблица 12

Значения коэффициентов A и B

Диаметр частиц грунта d , мм	$\frac{R}{t}$	A	B	$\sum u^2$	N	δ
1—2	0,046	130,94	5,72	15 107,07	148	10,10
3—5	0,230	198,69	5,72	323,64	54	2,44
5—7	0,301	297,82	2,20	39,45	28	1,19
Без грунта	0,49	166,00	1,21	122 924,2	38	—

Примечание. $\sum u^2$ — сумма квадратов отклонений; N — число опытных точек; δ — среднее квадратичное отклонение.

Опытные данные (в количестве 346) были представлены также при $\delta = 10,8$ зависимостью:

$$\zeta = \frac{129,8}{\operatorname{Re}} + 6,49 \quad (34)$$

(сплошная линия на рисунке 29).

Коэффициент расхода определяли затем по формуле:

$$\mu = a \operatorname{Re}^b. \quad (35)$$

Значения параметров a и b приведены в таблице 13.

Формулы (33) — (35) позволяют рассчитывать потери напора на контакте щелевых фильтров с породой. Для

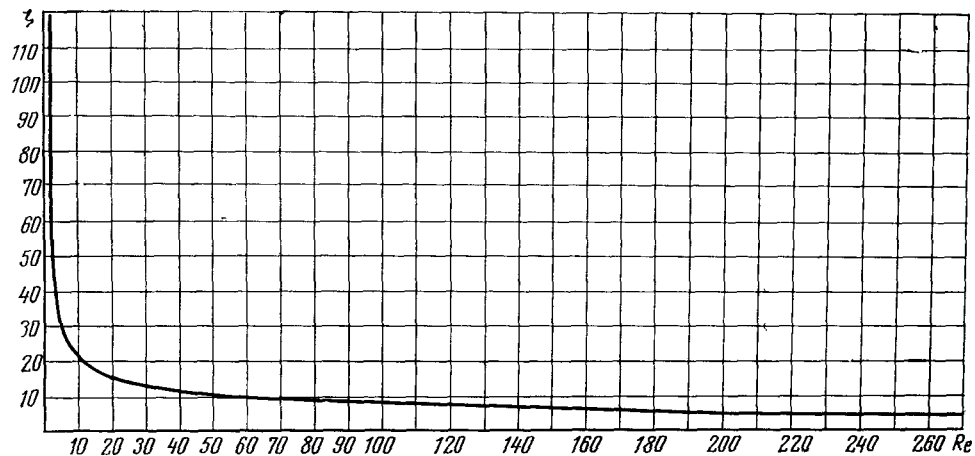
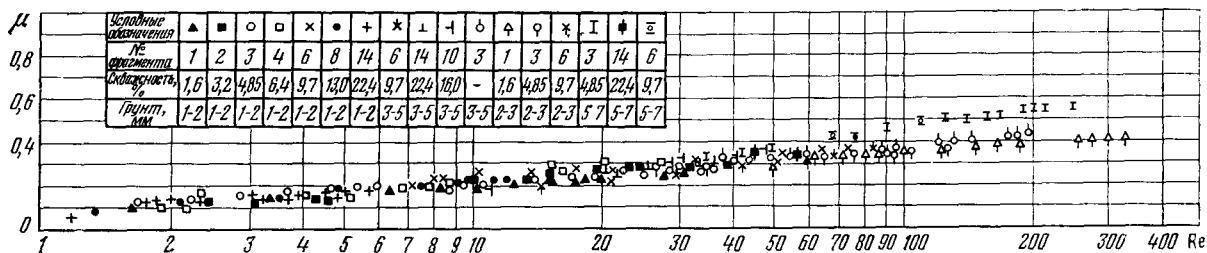


Рис. 29. Зависимость коэффициента сопротивления от числа Re , отнесенного к средней скорости в щели и к сквозному промежутку на контакте фильтр—порода.

Рис. 30. Зависимость изменения коэффициента расхода на контакте фильтр—порода от числа Re .



Значения параметров a и b

Диаметр частиц грунта d , мм	$\frac{R}{t}$	a	b	Δa^2	N	δ
1—2	0,046	0,109	0,291	0,144	148	0,03
3—5	0,230	0,143	0,205	0,067	54	0,04
5—7	0,301	0,107	0,308	0,0273	28	0,03
Без грунта	0,49	0,471	0,081	—	38	—

удобства пользования ими на рисунках 29 и 30 представлены графики.

На основании полученных данных определены границы линейной и автомодельной областей фильтрации в контактной зоне (точность 10%):

$$Re_{кр} = 40 \left(\frac{R}{t} \right), \quad (36)$$

$$Re_{авт} = 4702 \left(\frac{R}{t} \right)^{1,13}. \quad (37)$$

При $Re \leq Re_{кр}$ на контакте фильтр — порода происходит ламинарное движение, когда силы инерции не имеют практического значения. При $Re_{кр} < Re < Re_{авт}$ ламинарный режим постепенно переходит в турбулентный. Характер изменения параметров истечения в переходной области определяется нарастанием турбулентности потока. При $Re > Re_{авт}$ происходит турбулентное движение, когда основное влияние приобретают силы инерции.

С увеличением скважности фильтров сопротивление на контакте уменьшается. При обработке опытных данных изменение коэффициента потерь напора в зависимости от скважности можно представить формулой:

$$\zeta(v_1) = \frac{55 \cdot 10^3}{\eta} \left(\frac{4,25}{Re(v_1)} + \frac{1}{\sqrt{\eta}} \right), \quad (38)$$

где $Re(v_1) = \frac{v_1 t}{\nu}$;

v_1 — скорость входа воды в фильтр.

Если данные опыта (диаметр частиц грунта 1—2 мм) отнести к щели, т. е. за характерную скорость принять скорость в щели, а за линейный размер — ее гидравли-

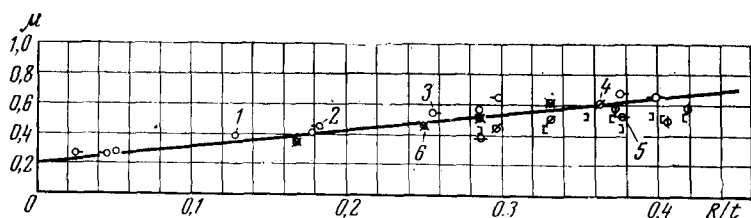


Рис. 31. Обобщенная зависимость коэффициента расхода от $\frac{R}{t}$ по результатам исследований $\frac{R}{t}$ (сплошная линия), на графике нанесены данные других авторов, пересчитанные по предлагаемой методике: 1, 2, 3—I. S. Petersen, C. Rohwer, M. L. Albertson; 4, 5, 6—I. Vaadia, V. H. Skott (США).

ческий радиус, то в области малых чисел Re ($Re_{\text{ш}} < 20$) коэффициент потерь напора определяется формулой:

$$\zeta_{\text{ш}} = \frac{13,9 \cdot 10^2}{Re_{\text{ш}}} \quad (39)$$

Коэффициент сопротивления в данном случае зависит только от числа Re .

Сопоставление результатов исследований автора с данными D. Klotz (1970), I. S. Petersen, C. Rohwer, M. L. Albertson (1953), V. H. Skott, Vaadia (1958) показало расхождение от 0 до $\pm 15\%$ (рис. 31).

Таким образом, исследования позволяют определять потери напора на контакте фильтр — порода и параметры истечения на контакте фильтров с породой в широком диапазоне изменения чисел Re . Отпадает необходимость определения коэффициентов сопротивления опытным путем, как это предлагают I. S. Petersen, C. Rohwer, M. L. Albertson (1953). Представляется возможным для расчетов входных скоростей по длине фильтра использовать зависимости М. М. Solliman (1965), а также определять общее сопротивление фильтра по формулам В. А. Васильева и Д. Ф. Шульгина (1964), в которые входят значения коэффициентов расхода.

§ 4. РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРОВ-КАРКАСОВ ИЗ ПЛАСТМАСС

При разработке фильтров в МГМИ была поставлена задача — создать по возможности универсальные конструкции, воплощающие в себе рациональные

идеи щелевых, гравийных и гравитационных фильтров и учитывающие свойства пластмасс как конструкционного материала. Наряду с этим проводились прочностные, гидравлические и санитарно-гигиенические исследования. В результате предложено и разработано четыре конструкции фильтров из пластмасс.

Фильтр-каркас гравитационно-щелевого типа (авторское свидетельство № 149737). Представляет собой сборную конструкцию, состоящую из колец сложной формы, в промежутках между которыми образуются сужающиеся водоприемные отверстия. В таких отверстиях зерна различной крупности задерживаются в разных кольцевых сечениях, чем автоматически повышается выходная площадь фильтрации с увеличением диаметра частиц. Благодаря криволинейной форме отверстий с параболическим очертанием верхней грани достигается уменьшение длины суженной части, имеющей повышенное сопро-

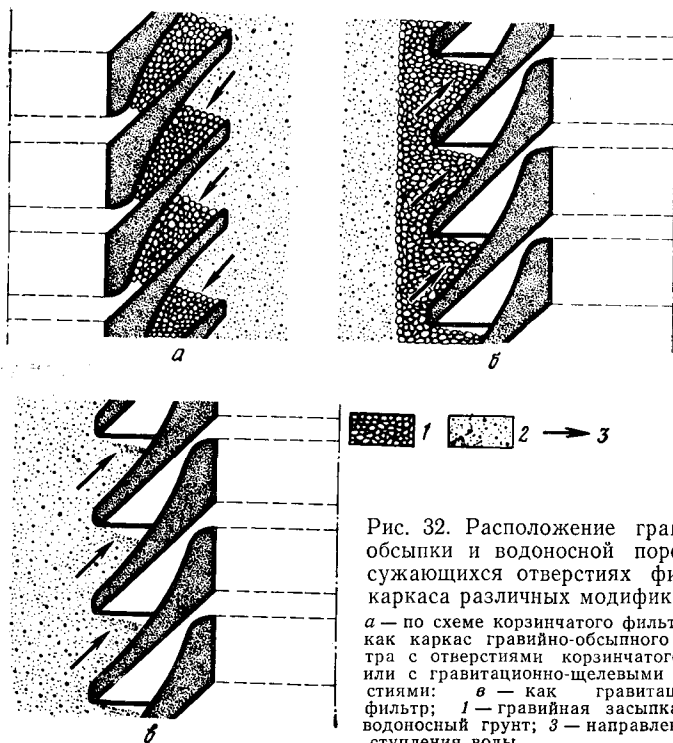


Рис. 32. Расположение гравийной обсыпки и водоносной породы в сужающихся отверстиях фильтра-каркаса различных модификаций: *a* — по схеме корзинчатого фильтра; *б* — как каркас гравийно-обсыпного фильтра с отверстиями корзинчатого типа или с гравитационно-щелевыми отверстиями; *в* — как гравитационный фильтр; 1 — гравийная засыпка; 2 — водоносный грунт; 3 — направление поступления воды.

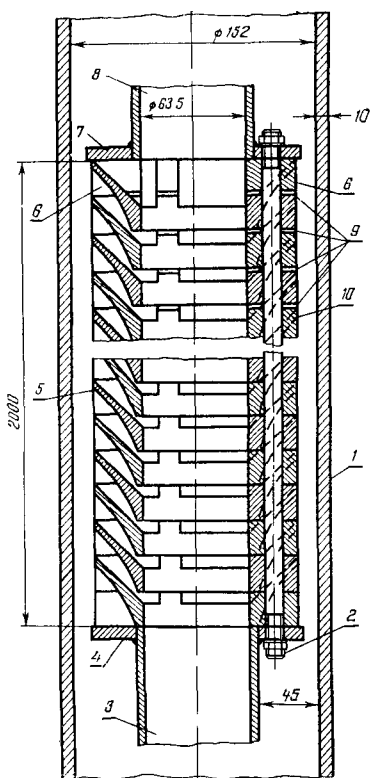


Рис. 33. Конструкция фильтра-каркаса гравитационно-щелевого типа:

1 — обсадная труба; 2 — соединительный стяжной болт; 3 — отстойник, 4 — опорный фланец (нижний); 5 — кольца фильтра; 6 — вкладыш; 7 — опорный фланец (верхний); 8 — соединение с надфильтровой трубой; 9 — прокладки; 10 — опорные площадки колец фильтра (размеры в мм).

тивление входу воды, а также благоприятные условия для сводообразования. При нарушении сводообразования из-за гидравлических ударов, вибрации и других причин частицы задерживаются в более узкой части отверстия. Водоприемные отверстия устраивают под углом 45° . Размеры их регулируются также с помощью прокладок. В нижней части кольца снабжены вертикальными прорезями, увеличивающими скважность.

Это позволяет использовать конструкцию в различных модификациях (рис. 32): как корзинчатый фильтр или как каркас гравийно-обсыпного фильтра с отверстиями корзинчатого типа; как каркас гравийно-обсыпного фильтра с гравитационно-щелевыми отверстиями; как гравитационный фильтр.

Применение пластмассы и сравнительно широких водоприемных отверстий повышает сопротивляемость фильтра коррозии и закупорке.

Кольца собираются на стяжных болтах, пропущенных через отверстия в опорных площадках. Так образуются отдельные звенья фильтра, соединяющиеся между собой с помощью монтажных патрубков с опорными фланцами (рис. 33). К верхнему патрубку присоединяют надфильтровую трубу, а к нижнему — отстойник. Фланцы имеют

отверстия для закрепления стяжных болтов. При монтаже звеньев в месте соединения фланцев с кольцом в просы опорных площадок вставляют вкладыши, воспринимающие усилия от фланца при стягивании колец болтами. Типоразмеры фильтров приведены в таблице 14 (Карамбилов, Михайлов, Роговой, 1962; Карамбилов, Роговой, 1963; Роговой, 1968).

Таблица 14

Типоразмеры фильтра-каркаса гравитационно-щелевого типа

Диаметр обсадных труб, мм		Диаметр фильтра, мм		Ширина щели (по внутреннему диаметру), мм	Число стяжных болтов, шт.	Диаметр стяжных болтов, мм	Связанность, %		Длина звена, м
наружный	внутренний	наружный	внутренний				по наружному диаметру	по внутреннему диаметру	
168	155	100	60	1,5	3	10	70	15	2,5
219	205	150	110	1,5	3	10	70	15	2,5
219	205	170*	120	1,5	3	10	70	15	2,5
273	259	200	150	1,5	3	12	70	20	2,5
324	305	250	200	1,8	4	14	50	20	3,0
377	359	290*	226	1,8	4	14	50	20	3,0
426	406	315*	260	1,8	3	18	50	25	3,0

* Фильтры прошли производственную проверку в скважинах хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, водопоянения и вертикального дренажа

Фильтр-каркас с горизонтальными сужающимися отверстиями (авторское свидетельство № 192125). Предназначен для установки в скважины в качестве каркаса гравийно-обсыпного типа, а в крупнозернистых грунтах применяется как самостоятельный щелевой фильтр (рис. 34).

Фильтр собирают из кольцевых элементов трапециевидального сечения, в промежутках между которыми образуются горизонтальные сужающиеся водоприемные отверстия. Такая форма отверстий также обладает свойством автоматического саморегулирования выходной площади фильтрации. Ширину выходной щели определяют высотой опорных площадок. Размер щели регулируется прокладками между опорными площадками. Типоразмеры фильтра приведены в таблице 15.

В другой модели регулирование щели достигается фигурной конструкцией опорных площадок, при смещении

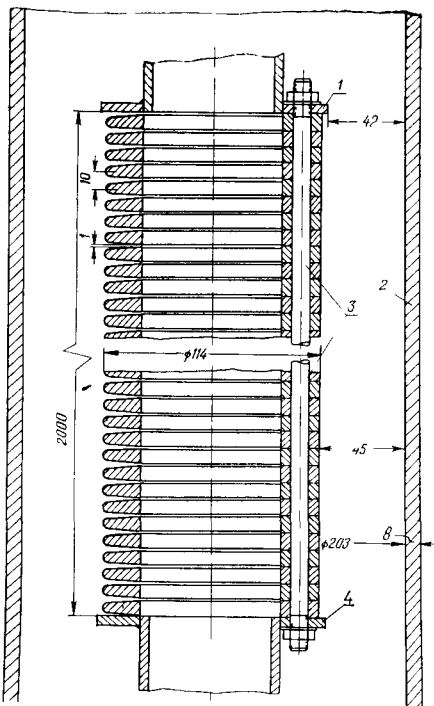


Рис 34 Конструкция фильтра-каркаса с горизонтальными сужающимися отверстиями

1 — фланец, 2 — обсадная труба, 3 — соединительный стяжной болт диаметром 10 мм 4 — опорный фланец

которых относительно друг друга на некоторый центральный угол ширина щелей изменяется (Роговой, 1968; Карамбинов, Роговой, 1963).

Для повышения производительности технологического оборудования (пресс-форм), прочности пластмассовых фильтров большого диаметра и упрощения сборки МГМИ при участии Голодностепестроя и Люберецкого завода пластмасс МПС СССР разработана конструкция фильтра, где вместо колец применены полуцилиндры с горизонтальными сужающимися водоприемными отверстиями, получаемыми при формировании.

Конструирование пластмассовых фильтров сопровождалось созданием опытных образцов и технологического оборудования для их изготовления.

Выбор пластмасс. Для изготовления фильтров применяли реактопласты и термопласты: неоднородные (стеклопластики, волокниты, пресс-порошки, древесно-прессовочные массы), однородные (полиэтилен, полистирол) и другие материалы (табл. 16). По физико-механическим свойствам стеклопластики в наибольшей степени отвечают требованиям, предъявляемым к конструкционным материалам для фильтров, но пока еще имеют высокую стоимость. Фильтры из волокнита в 2—3 раза дешевле, но обладают меньшей механической прочностью: при рас-

Типоразмеры фильтра-каркаса с горизонтальными сужающимися отверстиями

Диаметр обсадных труб, мм		Диаметр фильтра, мм		Ширина шели (по внутреннему диаметру), мм	Число стяжных болтов, шт	Диаметр стяжных болтов, мм	Скважность, %		Длина звена, м
наружные	внутренний	наружный	внутренний				по наружному диаметру	по внутреннему диаметру	
219	205	146*	108	1,0	3	10	70	20	2,5
324	306	210	170	1,5	4	14	70	20	2,5
377	359	260	210	1,8	4	16	50	40	3,0
426	406	310*	260	1,8	4	18	50	40	3,0
—	—	330**	280	1,5	4	18	—	—	3,0
—	—	350**	310	2,0	4	18	50	20	3,0

* Фильтры прошли производственную проверку в действующих скважинах хозяйственно питьевого водоснабжения, водопонижения и вертикального дренажа

** Изготовлены опытные образцы для испытаний в скважинах

тяжении — в 10 раз, изгибе — в 3 раза и по удельной ударной вязкости — от 3 до 15 раз. Фильтры-каркасы из волокнита, изготовленные для скважин вертикального дренажа, армировали слоем стекловолна. Исследования автора показали, что прочность их увеличивается при этом более чем на 30%. Пресс-порошки на основе различных смол почти в 2 раза уступают по удельной ударной вязкости волокнитам, но в связи с их высокой прочностью на сжатие и повышенной химической стойкостью они могут быть использованы для изготовления фильтров малого диаметра (до 170 мм). Исследования показали, что фильтры из пресс-порошков могут применяться в водозаборных скважинах глубиной до 100 м. Кроме указанных материалов, для изготовления фильтров использовали древесно-прессовочные массы и термопласты.

При выборе пластмасс учитывали их физико-механические свойства, химическую стойкость, токсичность, способы переработки в изделия, стоимость и дефицитность сырья и др.

Технология изготовления и основное оборудование. Колцевые элементы изготавливали прессованием и литьем под давлением. При прессовании формование и отверждение изделий происходило в горячей пресс-форме, установленной на гидравлическом прессе. Прессовочную

Характеристика материалов, используемых для изготовления фильтров

Пластмасса	Материал	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Модуль упругости, МПа	Ударная вязкость, Дж/см ²	Плотность, кг/м ³
I — пластмассы с волокнистым или древесным наполнителем (фенопласты)	Стеклопластик (АГ-4С)	500	100—200	250	$35,0 \cdot 10^3$	15,0	$(1,7—1,9) \times 10^3$
	Стеклопластик (АГ-4В)	80	130	120	$15,0 \cdot 10^3$	3,0	$(1,7—1,9) \times 10^3$
	Волокнит (ВЛ-2)	30—60	120	80	$8,5 \cdot 10^2$	0,9	$1,45 \cdot 10^3$
II — пластмассы с порошковым наполнителем (аминопласты и фенопласты)	Древесная пресс крошка (МДПО)	55	100—150	40—60	—	1,5	$1,5 \cdot 10^3$
	Масса древесно-прессочная (МДПК-Б ₁)	—	80	70	—	1,2	$(1,27—1,38) \cdot 10^3$
	Пресс-порошок (аминопласт А)	37—50	100—290	60	$7,0 \cdot 10^2$	0,5	$1,4 \cdot 10^3$
	Пресс-порошок (аминопласт К-78-51)	—	—	50	—	0,4	$(1,6—1,8) \times 10^3$
	Пресс-порошок (декорозит К-18-81)	60	140—160	60	—	0,6	$1,5 \cdot 10^3$
III — пластмассы без наполнителя	Пресс-порошок (К-214-2)	25—50	140	60	$80 \cdot 10^2$	0,45	$1,4 \cdot 10^3$
	Полиэтилен (П-4004-Т)	22,0—32,0	—	20—35	$(0,55—0,8) \times 10^3$	Не ломается	$0,950 \cdot 10^3$
	Капрон	35—70	60—80	90—100	$0,8 \cdot 10^2$		10,0	$1,130 \cdot 10^3$
	Полистирол ударопрочный (СНП-1)	42,5	—	95	$2,1 \cdot 10^3$	3,0	$1,15 \cdot 10^3$

массу загружали в оформляющую полость пресс-формы. Давление пресса передавалось через подвижную часть пресс-формы (пуансон) непосредственно на изделие.

Пресс-форму замыкали после окончания формования изделия.

Литье под давлением выполняли в специальных формах, установленных на литьевых машинах (термопласт-автоматах). Материал предварительно расплавляли, а затем впрыскивали в пресс-форму, где, остывая, он затвердевал и образовывал изделие заданной геометрической формы. Пресс-форму замыкали до начала формования изделия. Расплав из обогреваемого цилиндра через сопло поступал под давлением в пресс-форму. Давление в начале литья передается только на расплав полимера в цилиндре, а на пресс-форму — после ее заполнения. Температура пресс-формы всегда ниже температуры поступающего материала.

Выбор технологического оборудования обусловлен конструкцией изделия, свойствами материала, способом переработки пластмасс. Поэтому технологическая оснастка разделяется на три основные группы: пресс-формы прямого и литьевого прессования и формы для литья под давлением. По характеру эксплуатации пресс-формы делятся на съемные и стационарные.

Съемные пресс-формы. Съемными называют такие пресс-формы, которые снимаются с гидравлического пресса после каждой запрессовки. Разъем пресс-форм и удаление изделий проводят вручную вне зоны пресса с помощью специального распрессовочного приспособления.

Температуру нагрева обеспечивают с помощью нагревательных плит, установленных на прессе. Такие пресс-формы применяли для изготовления опытных образцов фильтров диаметром до 170 мм.

Стационарные пресс-формы. Для создания пластмассовых фильтров большого диаметра и освоения их производства требовались стационарные пресс-формы. Кольцевые элементы фильтров-каркасов диаметром до 350 мм изготавливали на стационарных одноместных и многоместных пресс-формах полузакрытого типа с горизонтальной плоскостью разъема (рис. 35). Пресс-форма состоит из двух основных частей: верхней, включающей пуансон и связанные с ним детали, и нижней, в которую входят матрица, поддон, толкающая система и др.

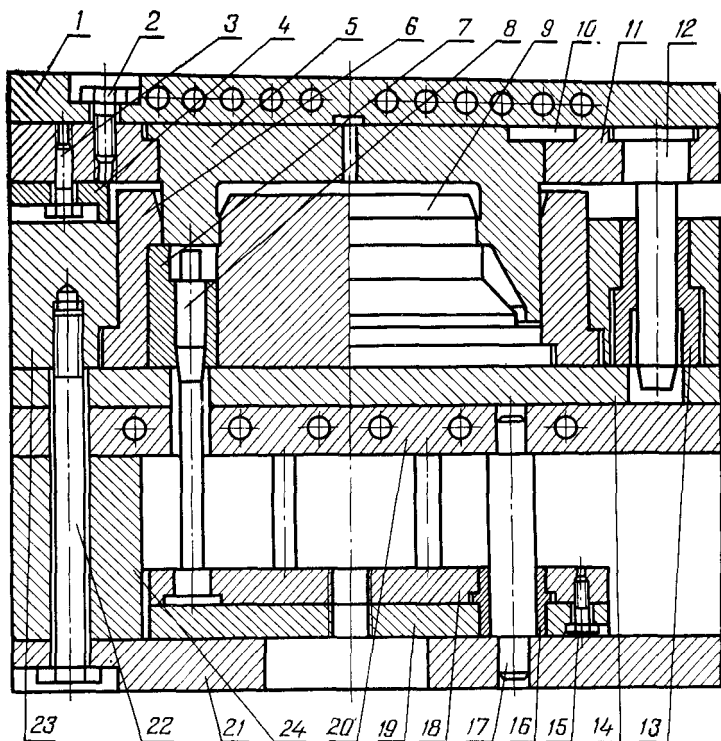


Рис. 35. Стационарная пресс-форма для изготовления кольцевых элементов фильтра-каркаса:

1, 20 — плиты обогрева; 2, 3, 15, 22 — болты; 4 — опорные планки; 5 — пуансон, 6 — матрица; 7 — вставки в обойме матрицы; 8 — толкатели; 9 — поддон; 10 — шпонка; 11 — пуансонодержатель; 12 — направляющие колонки, согласованные с матрицей; 13, 16 — втулки; 14 — опорная плита (верхняя); 17 — направляющие колонки; 18 — плита с толкателями; 19 — плита толкания; 21 — опорная плита (нижняя); 23 — обойма матрицы; 24 — опорные брусья.

Пуансон запрессован в пуансонодержатель, сверху их накрывает плита обогрева с вмонтированными в нее электронагревательными элементами. Она является опорой для пуансона. Для направления пуансона и его центрирования по отношению к матрице в пуансонодержатель запрессованы четыре колонки, которые согласованы с матрицей. В обойме матрицы находятся втулки для центрирования ее с пуансоном, втулки вставлены в обойму матрицы. Для устранения при прессовании возможных смещений пуансона относительно матрицы его удерживают на шпонке. На пуансонодержателе располо-

жены опорные планки, определяющие закрытую высоту изделия. Опорные планки крепятся к пуансонодержателю болтами. Детали верхней части пресс-формы крепятся к верхней плите пресса болтами и специальными планками. Нижняя часть пресс-формы, кроме деталей, включает толкающую систему. В обойму матрицы запрессована матрица с четырьмя вставками. С нижнего торца матрицы вставлен поддон и крепятся две плиты: верхняя служит опорой и удерживает матрицу и поддон от прогиба при прессовании; нижняя предназначена для обогрева и также имеет нагревательные электрические элементы, как и плита обогрева.

Обойма матрицы, матрица и поддон вместе с плитами опираются на опорные брусья, нижнюю плиту и колонки. Нижняя плита и обойма матрицы крепятся болтами. Для выталкивания отпрессованного изделия и извлечения его из матрицы предусмотрена толкающая система из четырех толкателей, которые при прессовании одновременно оформляют отверстия в изделии. Толкатели вставлены в плиту и прикрываются снизу плитой толкания. Плиты толкателей и толкания крепятся между собой болтами и перемещаются сверху вниз по направляющим колонкам (для устранения перекоса плит). В плиты толкателей и толкания запрессованы две втулки. В центре этих плит имеется резьбовое отверстие, посредством которого толкающая система через хвостовик связывается с прессом. Нижняя часть пресс-формы крепится к нижней плите пресса через обойму матрицы болтами и специальными планками. Крепление матрицы с обоймой матрицы фиксируется шпонкой.

Снятие изделия с толкателей осуществляется съемником-вилкой. Когда готовое изделие находится в верхней части пресс-формы над матрицей, под него вставляют съемник и включают пресс, в результате толкающая система уходит в нижнее положение, а изделие остается на съемнике. Затем его удаляют с пресс-формы, и цикл повторяется. Пространство между матрицей и поддоном служит загрузочной камерой в пресс-форме. Для устранения компрессии в верхней части пуансона предусмотрено отверстие, а на боковой образующей — четыре канавки глубиной 0,4—0,5 мм, через которые удаляется лишняя прессуемая масса.

Пресс-форма позволяет прессовать изделия данной конфигурации из всех терморезистивных материалов.

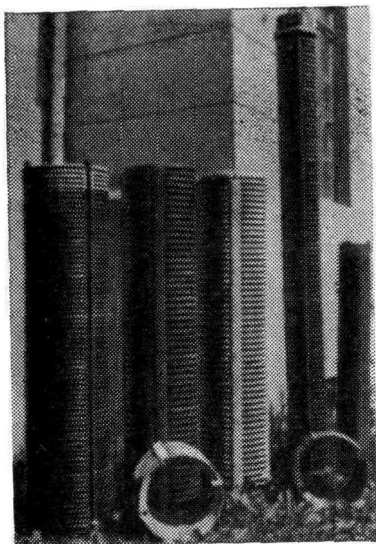


Рис. 36. Звенья пластмассовых фильтров-каркасов.

Технологические режимы прессования полностью соответствовали требованиям, предъявляемым к переработке выбранных материалов (температура и давление прессования, выдержка под давлением и т. д.).

Пресс-формы устанавливали на гидравлических прессах с максимальным усилием 1000, 1600 и 4000 кН. Выдержка каждого изделия при прессовании составляла от 10 до 20 минут. Материал предварительно брикетировали и в пресс-форму закладывали готовые брикеты. Температура плит обогрева была на 10—15°C выше темпера-

туры прессования. Механическую обработку изделий после прессования выполняли после их остывания (зачистка напильников и заусениц). Замеры готовых изделий показали, что фильтры имеют правильную форму и размеры в пределах допустимых отклонений (рис. 36).

Стационарные литьевые пресс-формы. Для получения фильтров-каркасов из термопластов были разработаны эти формы. Фильтры из полистирола и полиэтилена имели правильную форму и размеры. Этот способ изготовления отличается весьма высокой производительностью. Отмечена некоторая эластичность изделий, изготовленных из полиэтилена высокой плотности. Более прочные изделия были получены из ударопрочного полистирола. Фильтры из термопластов находятся в стадии производственных испытаний.

Испытания фильтров на прочность. В натуральных условиях фильтры загружены массой вышележащих труб, давлением пород и фильтрационного потока. Эти нагрузки воспроизводились при статических испытаниях фильтров в лабораторных условиях по методике Л. М. Емельянова и В. Г. Пономарева. Фильтры испыты-

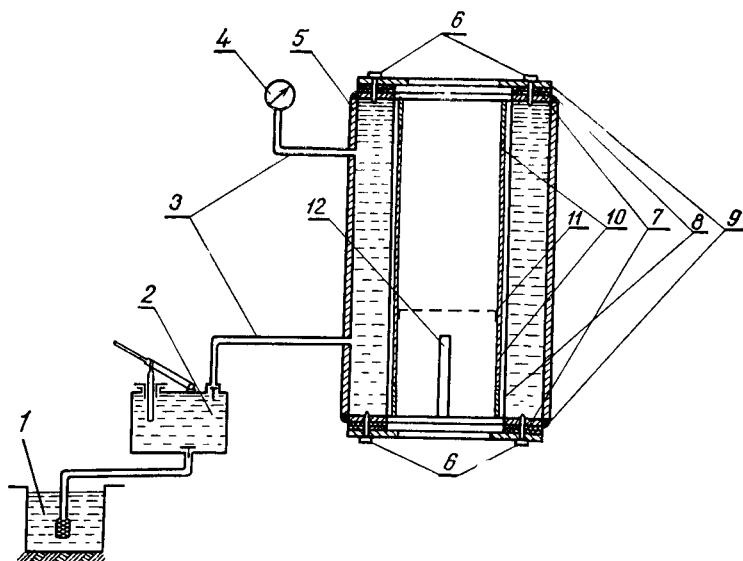


Рис. 37. Установка для испытания фильтров на радиальное сжатие: 1 — масло; 2 — насос; 3 — напорные трубки; 4 — манометр; 5 — стальной цилиндр; 6 — болты; 7 — прокладки; 8 — гибкая оболочка из прорезиненного капрона; 9 — фланцы; 10 — образец фильтра; 11 — ярлыки, приклеенные к внутренней поверхности фильтра; 12 — репер.

вали на равномерное радиальное сжатие, продольный изгиб, а также на сжатие двумя сосредоточенными радиальными силами.

Статические испытания на радиальное сжатие проводили на специально изготовленной лабораторной установке, обеспечивающей равномерное боковое обжатие образца (рис. 37).

Установка состояла из полого стального цилиндра, в который помещали испытуемый образец. Между образцом и внутренней поверхностью цилиндра закладывали прорезиненную капроновую оболочку цилиндрической формы, плотно прилегающую к образцу. Края оболочки обклеивали резиновыми прокладками и плотно зажимали в торцах полого цилиндра между фланцами. В образовавшееся пространство между капроновой оболочкой и стальным цилиндром насосом нагнетали масло, давление которого через оболочку передавалось на образец и замерялось манометром.

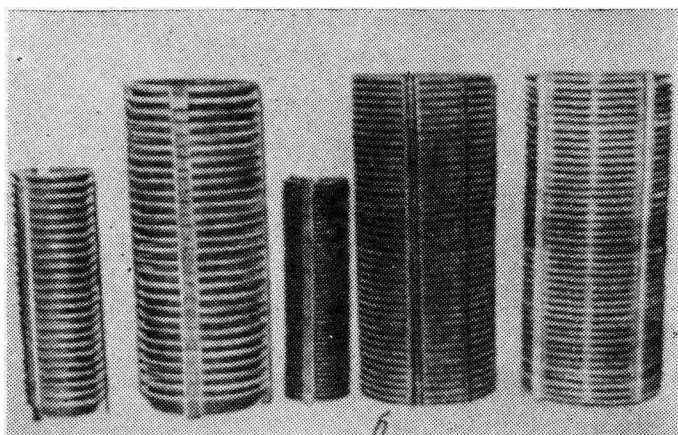
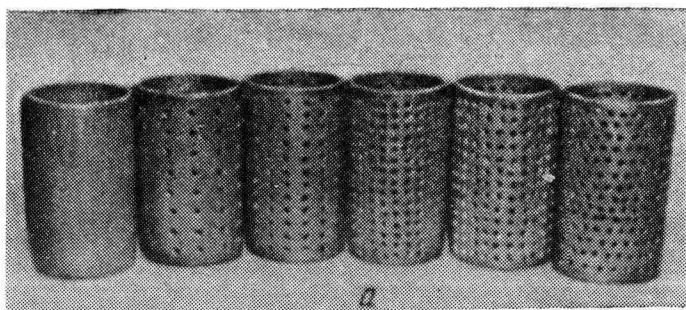


Рис. 38. Образцы фильтров из ПВХ (а) и образцы пластмассовых фильтров-каркасов для испытаний (б).

Для выравнивания давления на фильтр и устранения влияния торцовых закреплений образец закладывали в установку разделенным по направляющей на три звена. Крайние (верхнее и нижнее) звенья были холостыми, а среднее (рабочее звено) предназначалось для измерений.

Перемещения, вызванные деформацией фильтров, фиксировали фотографированием ярлыков, приклеенных к внутренней поверхности образца. Оптическую ось фотоаппарата совмещали при этом с продольной осью испытуемого фильтра. Для точного определения перемещений на ярлыках делали контрольные метки. В качестве:

репера использовали стержень, установленный по оси цилиндра в нижнем торце. Испытания выполняли на двух установках, отличающихся высотой и диаметрами стальных цилиндров.

С целью получения сравнительных характеристик испытания проводили также с образцами дырчатых фильтров из ПВХ (рис. 38). Для оценки влияния перфорации на несущую способность эти фильтры имели скважность, изменяющуюся от 0 (сплошная труба) до 20%. Отверстия размещали по образующим параллельными рядами и в шахматном порядке. При равномерно распределенном радиальном сжатии круглое сечение труб деформировалось. Стенки их перемещались вдоль одной оси во внутреннюю, а вдоль другой — во внешнюю стороны. Опыты показали, что для расчета критического давления на перфорированные трубы можно использовать формулу Мориса Леви с поправкой на ослабление сечения за счет водоприемных отверстий (диаметр D , шаг $2C$):

$$q_{кр} = \frac{3EI}{R^3 \left(C + \frac{D}{2} \right)}, \quad (40)$$

где E — модуль упругости материала;

I — осевой момент инерции продольного сечения трубы (для трубы длиной

$$b = 1 \text{ см } I = \frac{bh^3}{12} = \frac{h^3}{12};$$

здесь h — толщина оболочки трубы);

R — радиус срединной поверхности трубы (рис. 39, а).

Испытания показали уменьшение несущей способности фильтров из ПВХ диаметром 165/155 мм на 47,5% (от 0,89 до 0,466 МПа) при увеличении их скважности от 0 до 20%.

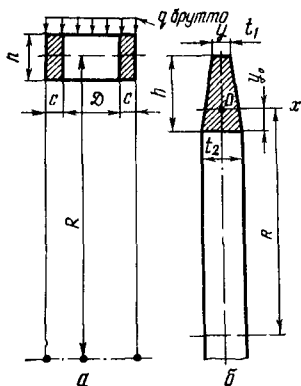


Рис. 39. Расчетные схемы элементов фильтров:

а — из ПВХ с дырчатой перфорацией; б — с горизонтальными сужающимися отверстиями.

Фильтры-каркасы с горизонтальными сужающимися отверстиями, изготовленные из стеклопластика, волокниста и пресс-порошка, деформировались с выходом пластмассового элемента из плоскости кольца, причем радиальные перемещения оказались значительно меньше, чем у дырчатых фильтров из ПВХ. Для расчета таких фильтров в первом приближении можно воспользоваться формулой Мориса Леви, при этом момент инерции сечения кольцевых элементов определяли по формуле:

$$I_y = \frac{h}{48} (t_1^3 + t_2 t_1^2 + t_1 t_2^2 + t_2^3), \quad (41)$$

где h — толщина кольцевого элемента;
 t_1 и t_2 — высота кольца соответственно по наружному и внутреннему диаметрам (рис. 39, б).

Расхождение опытных и расчетных значений критического давления до 1%. Фильтры из волокниста (Вл-2) диаметром 310/260 мм выдерживали внешнее давление 2,2 МПа, а фильтры из стеклопластика (АГ-4С) не были разрушены при максимальном давлении установки 5,2 МПа (расчетное критическое давление 7,8 МПа).

У фильтров-каркасов гравитационно-щелевого типа разрушение начиналось с внешней кромки кольца. Затем эта ослабленная часть теряла устойчивость. Полного разрушения фильтров не происходило. Применить теоретические формулы для расчета таких фильтров трудно из-за сложной конфигурации поперечного сечения. Опытное определение несущей способности фильтров показало, что они выдерживают весьма значительное давление: образец фильтра из пресс-порошка К-214-2 диаметром 170/120 мм — 1,17 МПа, фильтр из волокниста (Вл-2) диаметром 290/226 мм — 2,53 МПа.

Испытания фильтров на продольный изгиб при осевом вертикальном сжатии показали, что они обладают значительной прочностью: образцы длиной 1,5 м из пресс-порошка К-214-2 диаметром 170/120 мм — 81 кН, а из волокниста (Вл-2) диаметром 290/226 мм — 293,3 кН. Несущая способность пластмассовых фильтров-каркасов оказалась достаточной при установке их в скважины на глубину более 100 м при общей длине фильтровой колонны до 22 м.

Опытно-теоретические исследования показали, что прочностные контрольные испытания фильтров можно выполнять и двумя сосредоточенными силами.

Исследованы вопросы изменения прочности фильтров под влиянием водной среды и фактора времени. Помимо замачивания образцов при постоянной температуре, создавали условия ускоренного их старения путем кипячения в воде. При длительном замачивании (в течение двух лет) несущая способность образцов уменьшалась: у фильтров из пресс-порошка К-214-2 — на 20%, из волокнита Вл-2 — на 9,5%, из стеклопластика АГ-4В — на 4%. После кипячения фильтров в воде в течение 10 часов прочность образцов из волокнита Вл-2 уменьшилась на 52%, а из древесно-прессовочной массы МДПК-Б₁ — на 27,6%. Полученные данные оценивали с учетом заданного срока службы скважин.

Испытания в полевых условиях (в течение более 10 лет) подтвердили высокую длительную прочность пластмасс, применяемых для изготовления фильтров-каркасов.

Санитарно-гигиенические исследования пластмассовых фильтров на качество воды. Использование синтетических полимеров и пластических масс в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения допускается только при соответствующем разрешении Министерства здравоохранения СССР. Поэтому санитарно-гигиеническую оценку влияния пластмасс и изделий из них (в частности, конструкций фильтров) на качество питьевой воды дают на основании детальных исследований. Решить вопрос о их безвредности только на основании оценки отдельных составляющих компонентов нельзя. Необходимо определять токсичность готовых изделий, так как в процессе переработки пластмасс могут появиться новые свойства, которыми ранее материал не обладал.

Цель исследований — изучить санитарно-гигиенические свойства пластмасс, рекомендуемых для изготовления фильтров. Исследования выполнены автором на санэпидемстанции Тимирязевского района г. Москвы и в Научно-исследовательском институте гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана. Изучение влияния пластмассовых фильтров на качество воды в действующих скважинах проводилось санэпидемстанцией г. Риги и Центральной лабораторией Государственного производственного геологического комитета Латвийской ССР. По некоторым видам пластмасс их пригодность для изготовления фильтров оценивают на основании сведений, имеющих в литературе. В результате получены новые данные о возможности применения

пластмассовых фильтров в скважинах питьевого водоснабжения.

Лабораторные исследования фильтров из волокнита. Технология изготовления кольцевых элементов фильтров из волокнита изложена ранее. Переработку пластмассы осуществляют прессованием при температуре 150—160°C. В этих условиях пластмасса синтезируется на основе связующей смолы полимера с волокнистым наполнителем. Быстрое охлаждение отпрессованных изделий повышает поверхностную прочность материала. Волокнит — материал водо- и теплоустойчивый, стойкий в щелочах, кислотах и растворителях. По типу смол относится к необратимым пластмассам, изделия из него при повторном нагревании не изменяют своей формы и физико-механических свойств.

В состав материала входят следующие компоненты (по содержанию массовых частей):

	С из- вестью	Без извести
Смола 227 и 228 (в пересчете на безводную)	46,0	46,0
Хлопковая целлюлоза (сухая)	43,8	43,8
Олеиновая кислота	2,0	2,0
Тальк	7,45	7,2
Магнезия жженая	0,5	1,0
Известь	0,25	—

Смола 227 и 228 — водно-эмульсионная подсушенная, резольного типа, получаемая при конденсации фенольной фракции с формальдегидом в присутствии катализатора едкого натра. Содержание летучих веществ в готовом волокните не превышает 7%.

Волокнит применяют в машиностроении для изготовления деталей технического назначения: лабиринтных уплотнений, улиток, крыльчаток центробежных насосов для водоснабжения. Материал разрешен к использованию в продовольственном машиностроении и пищевой промышленности для изготовления деталей по перекачке молока и т. п. *

Для определения влияния волокнита на качество питьевой воды проводили санитарно-химические исследования

* Перечень материалов, разрешенных органами Госсаннадзора Минздрава СССР для применения в продовольственном машиностроении и в пищевой промышленности. М., 1962.

ния в соответствии с существующими методами и инструкцией Министерства здравоохранения СССР *. Испытания проведены К. Ласточкиной.

Согласно требованиям ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая», в исследованиях определяли запах (при комнатной температуре и нагревании), привкус, прозрачность, цветность, а также содержание веществ (фенол, формальдегид, хлорфенольные запахи), входящих в состав пластмассы. При контакте материала с водой могут вымываться вещества, входящие в состав волокнита, поэтому находили также и косвенные показатели загрязнения: перманганатную и бихроматную окисляемость, бромирующие вещества, хлорпотребление, общее содержание органических веществ (определяемых спектрофотометрически по оптическим плотностям гексановых вытяжек). Методы определения качества воды были общепринятыми в практике санитарно-химического анализа: фенол — 4-аминоантипирином, формальдегид — хромотроповой кислотой. В связи с тем, что в опытах исследовали водопроводную воду, из бактериальных показателей определяли влияние образцов на развитие сапрофитной микрофлоры.

Санитарно-токсикологические исследования не проводили из-за достаточной изученности фенола и формальдегида. Для них установлены предельно допустимые концентрации для воды водоемов: для фенола — 0,001 мг/л и формальдегида — 0,5 мг/л.

Для определения качества воды, контактирующей с фильтром, проведены три серии опытов на водопроводной воде, которая служила также контрольной пробой. Первую и вторую серии выполняли в условиях ежедневной смены воды при напоре в течение суток (динамические условия). Продолжительность опытов в каждой серии 13 и 10 дней. На единицу поверхности пластмассового фильтра (1 см²) приходилось соответственно по 72 мл (первая серия) и по 10 мл (вторая серия) воды. Вторую серию опытов проводили с меньшим объемом воды, контактирующей с фильтром. Выполняли дополнительные анализы по определению запаха, привкуса и на содержание формальдегида.

По таким показателям, как запах, цветность, активная реакция, щелочность, содержание хлоридов, окисляе-

* Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализов вод. М., «Химия», 1973.

мость, привкус, результаты анализов не дали существенных отклонений по сравнению с контрольной пробой. Фенол в пробах воды был лишь в виде следов или вообще отсутствовал. Формальдегид вообще не обнаружен.

В третьей серии опытов настоек воды с фильтром осуществляли в течение 30 суток без смены воды (статические условия). В аналогичных условиях находилась и контрольная проба.

При длительном контакте вода также не приобретала органолептических свойств, отличных от контрольной пробы (привкус, цветность, прозрачность). Затхлый запах появлялся на пятый день в опытном и контрольном сосудах. Хлорфенольный запах в течение всего опыта не обнаруживался. Лишь на 20-й день в воде появлялся фенол в концентрации ниже предельно допустимой нормы. Формальдегид обнаруживали в виде следов начиная с пятого дня от начала опыта. В дальнейшем количество формальдегида несколько увеличилось, однако максимальная из определенных концентраций равнялась 0,1 мг/л, то есть в 5 раз ниже предельно допустимой нормы. Косвенные показатели загрязнения воды — перманганатная и бихроматная окисляемость, бромирующие вещества, хлорпотребление — в течение всего периода в опытном сосуде были на уровне контрольного.

Относительным показателем перехода в воду органических веществ может служить оптическая плотность гексановых вытяжек из исследуемой воды при разных длинах волн, измеренных спектрофотометрически. Спектральные характеристики показали, что оптические плотности незначительны и в большинстве случаев не отличаются от контроля, то есть на этот показатель качества воды пластмасса влияния не оказала.

Бактериологические исследования показали, что волокнит не влияет на ход развития и отмирания сапрофитной микрофлоры.

Таким образом, в условиях кратковременного контакта, а также в статических условиях при длительном контакте вода соответствовала требованиям ГОСТ 2874—73 по санитарно-химическим и бактериологическим показателям.

Производственные испытания фильтров из волокнита. Оценку влияния материала на качество воды определяли в процессе эксплуатации скважины (техническое водоснабжение Рижского стекло-зеркаль-

ного завода) с фильтром-каркасом с горизонтальными сужающимися отверстиями диаметром 360/260 мм, изготовленным из волокнита. Откачку проводили при двух понижениях: I — 2,85 м, дебит 3,3 л/с; II — 4,59 м, дебит 5,4 л/с, удельный дебит 1,1 л/с·м. Фильтр работал устойчиво, надежно защищая скважину от пескования.

Через десять дней после начала откачки для определения содержания в воде фенола, формальдегида и других показателей пробы были отобраны в условиях эксплуатации скважины (динамические условия) и из оставленной скважины (статические условия). Содержание фенола и формальдегида не было обнаружено. В результате Министерство здравоохранения СССР дало разрешение на применение фильтров из волокнита в скважинах хозяйственно-питьевого водоснабжения. Такими фильтрами затем оборудовали многие скважины.

Пластмасса декоррозит (К-18-81) отличается высокой химической стойкостью в щелочах, кислотах и растворителях, водо- и теплостойкостью, устойчивостью к комплексному действию высокой влажности и температуры, к грибным и плесневым зарастаниям. Состав пластмассы (в массовых частях) включает следующие компоненты:

смола 17,18 (фенолксиленольная)	. . . . .	39,3
поливинилхлорид суспензионный	. . . . .	23,0
уротропин	. . . . .	6,0
известь	. . . . .	1,0
стеарат кальция	. . . . .	2,1
меламин перекристаллизованный	. . . . .	0,5
кокс	. . . . .	28,1

Фильтры из этого материала изготовляли горячим прессованием (температура 150—160°C) в пресс-формах. Пластмасса синтезируется на основе связующей смолы (полимера) с порошковым наполнителем. По типу смол декоррозит относится к термореактивным пластмассам.

Этот материал исследовали ранее при изготовлении лопаток насосов для перекачки питьевой воды в автоматах АТ-26.

Московским гидромелиоративным институтом было получено разрешение Министерства здравоохранения СССР на изготовление фильтров-скважин питьевого водоснабжения из декоррозита.

В дальнейшем фильтрами гравитационно-щелевого типа из декоррозита были оборудованы скважины хозяй-

ственно-питьевого назначения на водозаборах «Гауя-экспериментальная» и Колкского консервного завода в Латвийской ССР, а также скважины в Новосибирской и Куйбышевской областях.

Гидравлическое сопротивление пластмассовых фильтров-каркасов. При расчете гравитационных фильтров Н. А. Карамбиновым использована теория взвешивания грунта фильтрационным потоком и получена зависимость для определения допустимой скорости фильтрации (Карамбинов, 1948, 1952):

$$v_{\text{доп}} = \alpha\beta K (1 - m) (\gamma - 1) = \alpha v_{\text{кр}}, \quad (42)$$

где α — коэффициент запаса устойчивости грунта ($\alpha = 0,7 \div 0,5$);

β — коэффициент, зависящий от направления фильтрации (угла φ — отклонения оси отверстий от вертикали, для $\varphi = 45^\circ$ $\beta = 0,53$);

K , m и γ — соответственно коэффициент фильтрации, пористость и плотность грунта;

$v_{\text{кр}}$ — критическая скорость взвешивания грунта в водопримных отверстиях фильтра.

Потери напора в отверстиях гравитационных фильтров, заполненных грунтом на высоту l , выражаются формулой:

$$\Delta h = li_{\text{кр}} = \alpha\beta (1 - p) (\gamma - 1) l. \quad (43)$$

В предложенной конструкции гравитационно-щелевого фильтра, имеющего сужающиеся отверстия (см. рис. 33), устойчивость грунта определяется не только равновесием сил тяжести и давления фильтрационного потока, но и силами повышенного бокового распора и заклиниванием зерен. Эксперименты подтвердили, что в сужающихся водопримных отверстиях за счет повышенного бокового распора грунта достигается значительное увеличение устойчивости загрузки. Это позволяет расширить область применения фильтров гравитационного типа. Для оценки их сопротивлений были найдены опытные значения коэффициентов сопротивлений. Обработку экспериментальных данных вели с использованием формул Г. М. Ломизе и Д. М. Минца для гидравлических сопротивлений в зернистом слое. Для определения коэффициента сопротивления гравитационно-щелевого фильтра предложена формула:

$$\zeta = \frac{6,0}{\text{Re}} + 0,525, \quad (44)$$

$$\text{где } \zeta = \frac{Jm^3d}{\rho v^2 6(1-m)}; \quad (45)$$

$$\text{Re} = \frac{\rho v d}{6\mu_{\text{ж}}(1-m)}, \quad (46)$$

где $J = \frac{v}{K} + \beta \left(\frac{v}{K} \right)^2$ — гидравлический градиент;

v — скорость, отнесенная к открытой площади грунта в водоприемных отверстиях;

K — коэффициент фильтрации;

β — показатель нелинейности закона фильтрации;

m — пористость;

d — средний диаметр зерен грунта, вычисленный по формулам (29) и (30).

В опытах отмечены области скоростей, за пределами которых происходит взвешивание и перемещение грунта в отверстиях. Особенность работы гравитационно-щелевого фильтра заключается в том, что выносу зерен препятствует сужающаяся форма водоприемных отверстий, переходящих в щели. После взвешивания грунта увеличиваются потери напора, но пескование отсутствует (рис. 40).

График изменения сопротивления показывает, что в сужающихся наклонных отверстиях гравитационно-щелевого фильтра при скоростях фильтрации меньше критических характер гидравлических процессов подчиняется общим закономерностям, полученным для фильтрации через плотный зернистый слой. На рисунке 40 для каждого из грунтов отмечена область, за пределами которой происходит взвешивание грунта в отверстиях. Зависимость (44) близка универсальной формуле Д. М. Минца для фильтрации через плотный зернистый слой, если $A = 5,1 \alpha^2$, где α — коэффициент формы зерен считать равным 1,1, а значение $B \approx 0,527$ (для мелкого гравия) (Ломизе, 1951; Минц, Шуберт, 1955).

Обработка экспериментального материала по формулам (44) и (46) показала их универсальность и возмож-

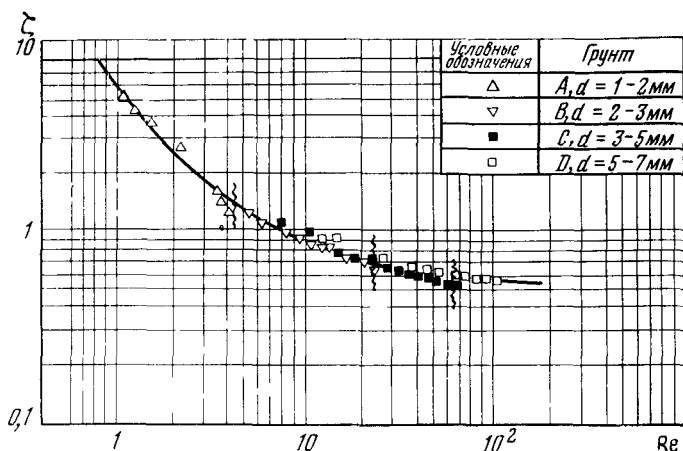


Рис 40 Зависимость коэффициента сопротивления от числа Re , отнесенного к открытой поверхности грунта во входных отверстиях гравитационного фильтра. На графике соответственно для грунтов с диаметром частиц 1—2, 2—3 и 3—5 мм отмечены области фильтрации до критической скорости взвешивания. Грунт с диаметром частиц 5—7 мм не взвешивался фильтрационным потоком.

ность применения для определения сопротивления корзинчатых фильтров.

Исследования пластмассовых фильтров с горизонтальными сужающимися отверстиями показали, что их гидравлическое сопротивление меньше, чем у обычных щелевых. Это объяснялось тем, что частое чередование относительно небольших по высоте кольцевых элементов обеспечивает повышенную скважность, уменьшает сгущение линий тока на подходе к фильтру. Зерна обсыпок, не перекрывая минимального сечения, задерживаются от него на некотором расстоянии, благодаря чему площадь выходного фильтрационного сечения увеличивается, потери напора снижаются.

Таким образом, представляется возможным определить потери напора на контакте фильтр — порода, а по их величине находить компоненты дополнительного сопротивления на несовершенство скважин по характеру вскрытия пласта:

$$C_{2K} = \frac{2\pi KM\Delta h}{Q} - \ln \frac{r_c}{r_o}, \quad (47)$$

где Q — дебит;
 M — мощность пласта;
 Δh — потери напора на контакте фильтр — порода;
 r_c и r_o — внешний и внутренний радиусы фильтра.

§ 5. ИСПЫТАНИЯ ПЛАСТМАССОВЫХ ФИЛЬТРОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ

Цель испытаний заключалась в проверке практической пригодности пластмассовых фильтров МГМИ в действующих скважинах водоснабжения, водопонижения и вертикального дренажа, пробуренных в различных гидрогеологических условиях страны. Опыт-но-производственные испытания включали: разработку технологических операций по сборке, монтажу и установке фильтров в скважины; определение производительности скважин и их дополнительных сопротивлений при разных схемах установки фильтров; долговременные исследования эффективности действия скважин и химической стойкости фильтров; определение их технико-экономических характеристик. Испытания фильтров и их внедрение проводили с 1963 г.

Опытно-производственные скважины с фильтрами МГМИ были построены на стационаре ВНИИВОДГЕО на Горьковской ГЭС, в новой зоне орошения Голодной степи, в Армянской, Латвийской и Белорусской ССР, в Новосибирской и Куйбышевской областях.

Бурение опыт-но-производственных скважин осуществляли ударно-канатным способом (Горьковская и Куйбышевская области, Латвийская и Армянская ССР), роторным с прямой и обратной промывкой (Новосибирская область, Голодная степь), комбинированным — роторным и ударным (Белорусская ССР). Глубина скважин от 11,5 до 107 м, диаметр бурения от 0,219 до 1 м, диаметр пластмассовых фильтров-каркасов от 150 до 310 мм, длина рабочей части от 2 до 22 м.

В полевых условиях уточняли технологию бурения скважин под пластмассовые фильтры, проводили испытания по сборке, монтажу и установке фильтров.

Сборка и установка фильтров в скважины. Сборку фильтров проводили на месте бурения, а также в механических мастерских или на заводах. Все операции при этом выполняли (без значительных затрат рабочего времени) следующим образом. На нижний опорный фланец

с отверстиями и цилиндрическим патрубком укладывали резиновую прокладку, а в отверстия фланца вставляли стяжные болты, по которым как по направляющим монтировали пластмассовые элементы. Сверху укладывали прокладку и второй фланец с патрубком и звено равномерно стягивали гайками. Длина звена 2—3,5 м.

Звенья соединяли сваркой патрубками, а также фланцевыми и муфтовыми соединениями. Колонна, состоящая из нескольких звеньев, образовывала секцию. При бурении скважин в сложных гидрогеологических условиях и на глубину более 100 м монтаж фильтров выполняли на перфорированных трубах.

Некоторые секции фильтров были собраны с помощью металлических патрубков, имеющих защитное антикоррозионное покрытие полиэтиленом. Эксперименты по покрытию патрубков методом вихревого напыления полиэтиленом были выполнены Б. А. Лейдером и К. К. Поляковой (ВНИИметмаш).

Звенья фильтров диаметром 170/120 мм для некоторых гидрогеологических наблюдательных скважин соединяли с помощью пластмассовых фланцев ВСЕГИНГЕО.

Бурение скважин ударно-канатным способом выполняли станками УКС-22М и УКС-30. Глубина скважин от 11,5 до 80 м, при вскрытии водоносных горизонтов диаметр обсадных труб был от 219 до 578 мм. Минимальный кольцевой зазор между фильтрами и трубами 30 мм. При подъеме обсадных труб нарушений в конструкции фильтровых колонн не было. Скважины, оборудованные гравитационно-щелевыми фильтрами и фильтрами с горизонтальными сужающимися отверстиями, с гравийными обсыпками и без них, были надежно защищены от пескования. На рисунках 41—45 показаны сборка фильтров, бурение и оборудование скважин пластмассовыми фильтрами гравитационно-щелевого типа и с горизонтальными сужающимися отверстиями.

Роторное бурение станками УРБ-ЗАМ и БА-15В применяли при строительстве скважин вертикального дренажа и водоснабжения глубиной от 54 до 107 м, диаметр бурения от 0,243 до 1,0 м. Чтобы предотвратить искривление скважин большого диаметра, использовали бурильные трубы диаметром 114 мм и утяжеленные трубы. Перед установкой фильтров проверяли чистоту выработки, проводили электрокаротаж. Фильтры устанавливали

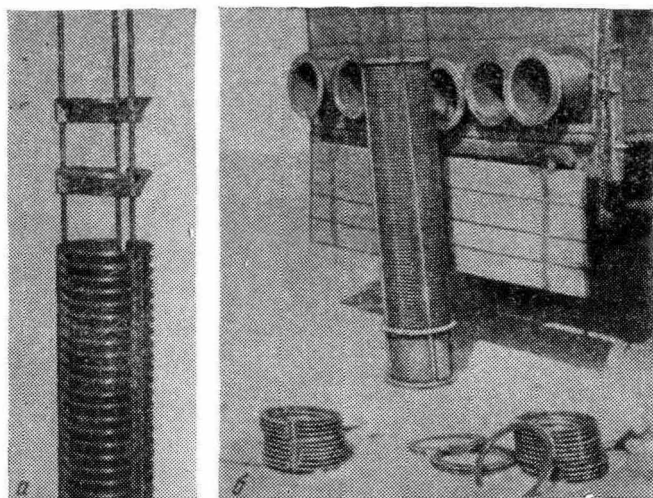


Рис. 41. Сборка пластмассовых фильтров:

a — общий вид; *б* — сборка в механических мастерских (Армянская ССР).
 Фото А. А. Рахманова.

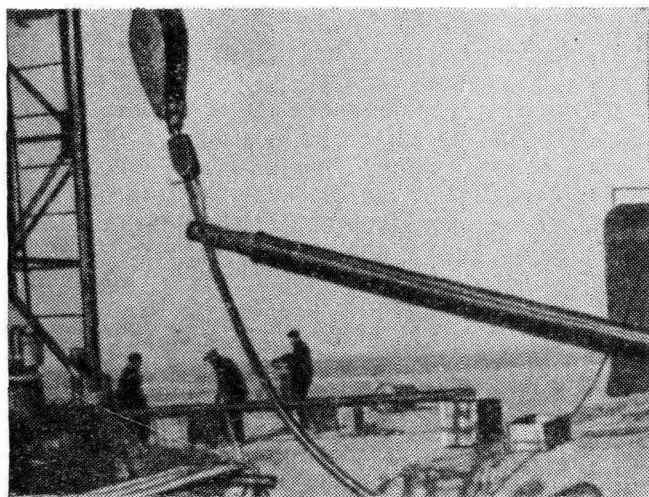


Рис. 42. Сборка и монтаж пластмассовых фильтров на трубчатом каркасе (Голодная степь).

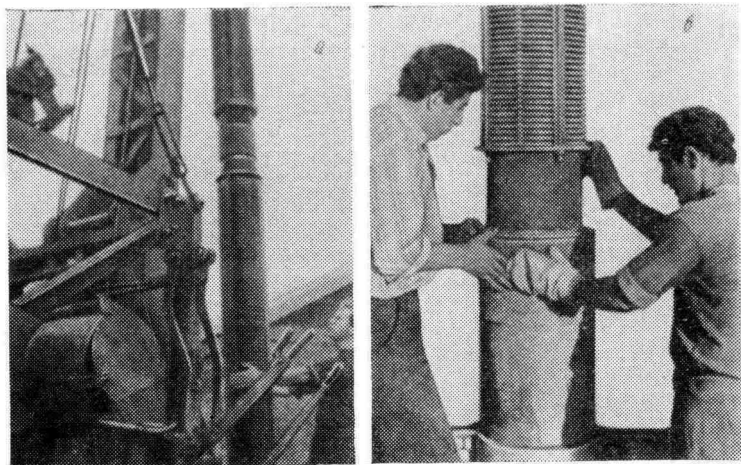


Рис. 43. Строительство скважины ударным способом бурения (станок УКС-22); установка фильтровой колонны:
а — в Ленинакане, скважина № 48; *б* — в Араздаанской степи, скважина № 2.

на сплошной колонне и впотай. Для промывки скважин в фильтровую колонну опускали бурильные трубы, верхнюю часть ее закрывали пробкой и включали насос. Концентрация раствора, выходящего из скважины, постепенно уменьшалась, следовал частичный вынос породы. На этом промывку заканчивали. При установке пластмассовых каркасов как гравийно-обсыпных фильтров отсортированный гравий засыпали непрерывно. Для предотвращения образования пробок гравия и для дополнительной промывки скважин от шлама включали насос, создавая через колонну циркуляцию воды (Оноприенко, 1974).

Роторное бурение с обратной промывкой применяли при строительстве дренажных скважин в Голодной степи станком УВД-100. Глубина скважин от 54 до 102 м, диаметр 1 м. Скважины № 30, 31 и 33, пробуренные в совхозах № 18 и 19 Голодной степи и оборудованные пластмассовыми фильтрами-каркасами с горизонтальными сужающимися отверстиями, отличались незначительным периодом освоения и высокой производительностью.

Комбинированное бурение использовали при строительстве скважины № 61а в районе г. Слуцка в Белорусской ССР. До водоносного горизонта скважину бурили роторным способом. Водоносный пласт на глубине от

47 до 80 м вскрывали ударным способом бурения с обсадными трубами (рис. 46).

Установку фильтров начинали с опускания отстойника и закрепления его над устьем. К отстойнику предварительно приваривали направляющие фонари. К верхнему патрубку первого звена крепили обсадной хомут, лебедкой поднимали звено над устьем и присоединяли к отстойнику. Колонну спускали плавно, без рывков. В момент установки на забой колонну обратным ходом лебедки подтягивали и закрепляли на устье, затем выполняли засыпку гравия.

При роторном бурении разглинизацию дренажных скважин проводили методом обрушения глинистой корки при строительной откачке, а скважины водоснабжения разглинизировали через промышленные окна в отстойниках.

Исследование фильтров в различных модификациях. Гравитационно-щелевые фильтры в зависимости от гидрогеологических условий устанавливали по схеме гравитационного и корзинчатого, а также использовали в качестве каркасов обсыпных гравийных фильтров.

По схеме корзинчатого фильтр применяли в водоносных породах, сложенных пылеватыми, тонко- и мелкозернистыми песками, а также в супесях с прослойками песков. Водоприемные отверстия заполняли отсортированным крупнозернистым песком и гравием. При испытаниях следовало установить технологию монтажа фильтров в скважины при роторном и ударно-канатном бурении, надежность защиты их от пескования.

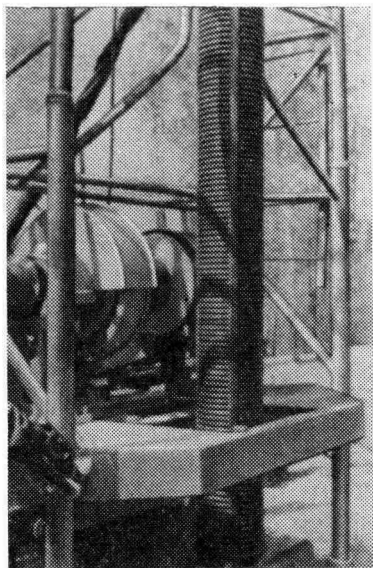


Рис. 44. Строительство скважины роторным способом бурения. Станок УРБ-ЗАМ. Общий вид секции пластмассового фильтра гравитационно-щелевого типа в момент установки в скважину (Новосибирская область, с. Боровое, скважина № 1).

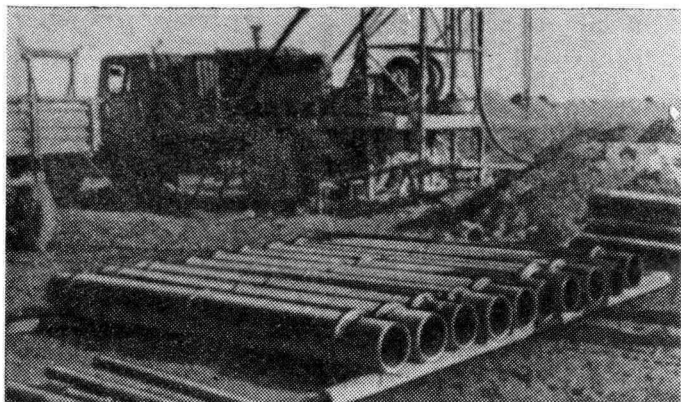


Рис. 45. Общий вид строительной площадки на месте бурения (Голодная степь, совхоз № 17, скважина № 556).

В 1964 г. скважина № 3В была построена роторным способом в совхозе № 4 в Голодной степи в водоносных породах, представленных тонкозернистыми песками с прослойками глин и суглинков ($d_{50}=0,03$; $d_{60}=0,07$ мм, коэффициент неоднородности 35, проводимость $47 \text{ м}^2/\text{сут}$). Глубина скважины 107 м, диаметр бурения 0,243 м, интервал установки фильтра от 79 до 101 м. Подземные воды по составу отличались повышенной минерализацией — 4 г/л, хлоридов содержалось 2,6 и сульфатов 1 г/л. Пластмассовый фильтр диаметром 170/120 мм монтировали на перфорированных трубах (см. рис. 42). Материал фильтра — пресс-порошок К-214-2. В водоприемные отверстия на поверхности земли засыпали отсортированный гравий. Крупность гравия подбирали по коэффициенту межслойности 6,65. При установке фильтра вода постепенно наполняла внутреннюю часть колонны через заполненные гравием отверстия. Фильтр работал устойчиво, надежно защищая скважину от пескования.

Испытания таких же фильтров, смонтированных без внутренней трубы на стяжных болтах, проводили в скважине № 61а, построенной комбинированным способом в районе г. Слуцка. Геолого-технический разрез ее показан на рисунке 46. Водоносные породы представлены пылеватыми и мелкозернистыми песками: $d_{50}=0,27$ мм, $d_{10}=0,06$ мм, коэффициент неоднородности 5,8, проводимость $110 \text{ м}^2/\text{сут}$, коэффициент фильтрации $7,65 \text{ м}/\text{сут}$.

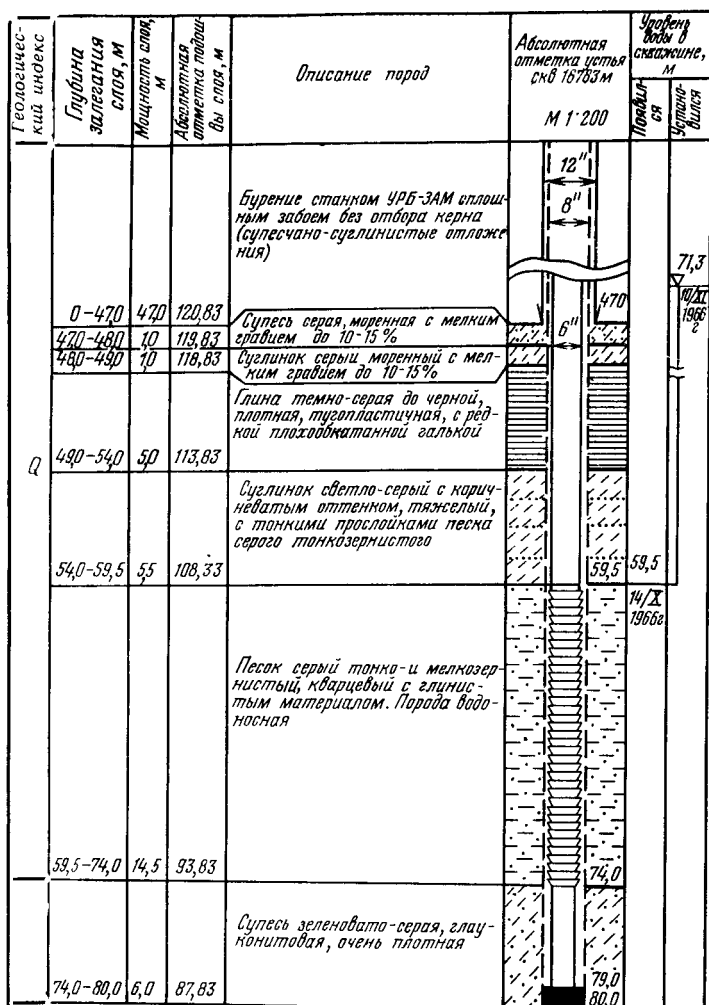


Рис. 46. Геолого-технический разрез и конструкция скважины № 61 а. Пластмассовый фильтр-каркас установлен по схеме корзинчатого фильтра.

Состав подземных вод: рН 8, бикарбонат-ионы 353,92 мг/л, хлориды 4,85, сульфаты 15,64, кальций 70,94, магний 19,82, натрий 29,9 мг/л; жесткость общая 5,17 мг·экв/л, индекс насыщения 0,45.

В водоприемные отверстия засыпали отсеянный песок с диаметром зерен от 1,5 до 4 мм, коэффициент межслойности 10,4. После установки фильтра на забой подъем обсадных труб происходил без каких-либо осложнений. При откачке скважина работала устойчиво, без пескования, дебит составлял 10,8 л/с, удельный дебит 2 л/с·м. Преимущество фильтров было особенно очевидным, так как соседние скважины, оборудованные сетчатыми фильтрами, песковали с образованием провальных воронок.

В крупнозернистых песках фильтры-каркасы применяли по схеме гравитационных фильтров. В 1966 г. в г. Ленинкане (скважина № 48, молочный завод) впервые был установлен гравитационный фильтр, изготовленный из волокнита (рис. 43, а). Глубина скважины 31 м, диаметр обсадных труб 377 мм, диаметр фильтра 290/226 мм. Водоносный горизонт в интервале от 14 до 25 м представлен крупнозернистыми песками с галькой $d_{50}=0,9$, $d_{10}=0,28$, коэффициент неоднородности 5,4, проводимость 1400 м²/сут, коэффициент фильтрации 148 м/сут. Геолого-технический разрез скважины № 48 приведен на рисунке 47. На рисунке 48 показан график гранулометрического состава пород на глубине 19 и 22 м и выноса из скважины.

После установки фильтра и подъема обсадных труб порода приходила в контакт непосредственно с наружной поверхностью фильтра. При откачке вначале отмечался вынос мелкозернистых фракций, который вскоре прекратился. В период эксплуатации скважина отличалась хорошими и устойчивыми показателями производительности:

	1966 г.	1967 г.	1972 г.
Дебит, л/с	11,2	10,9	11,0
Удельный дебит, л/с·м	18,8	18,8	18,5

В 1972 г. для водоснабжения г. Даугавпилса на водозаборе «Гаек» гравитационными пластмассовыми фильтрами были оборудованы четыре скважины (№ 1, 2, 3 и 4) глубиной от 11 до 18 м, диаметр фильтров 290/226 мм, материал — волокнит. Состав водоносных грунтов: $d_{50}=3,2-12$ мм, $d_{10}=0,4-1,2$ мм, коэффициент неоднородности от 11,7 до 35, проводимость от 1100 до 1450 м²/сут, коэффициент фильтрации от 284 до 326 м/сут. Состав

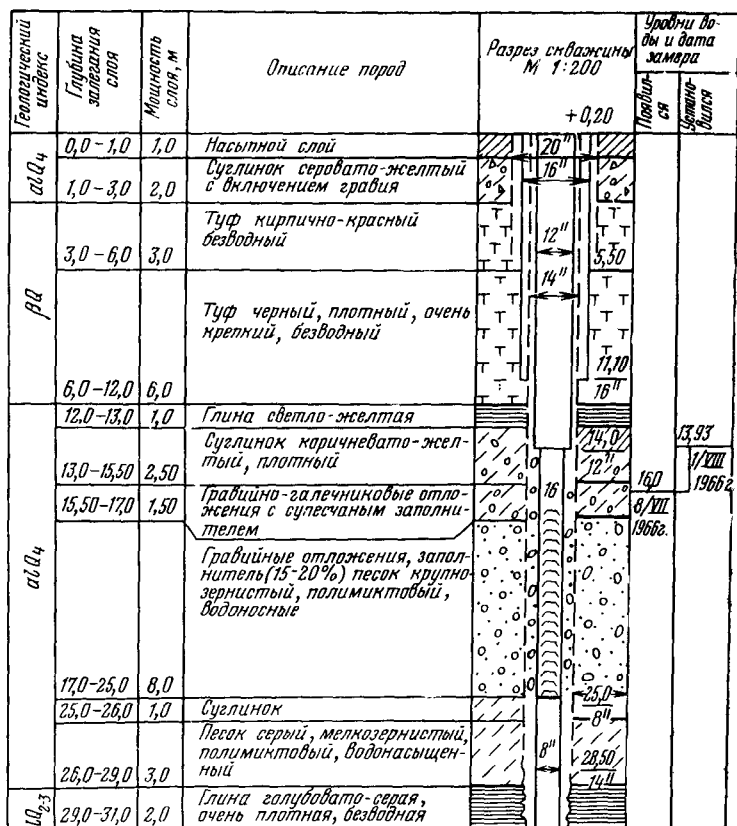


Рис. 47. Геолого-технический разрез скважины № 48. Пластмассовый гравитационный фильтр без обсыпки.

подземных вод: рН 8, бикарбонат-ионы 451,4 мг/л, хлориды 188, сульфаты 170,7, кальций 146,3, магний 26,7, калий 161,5 мг/л, жесткость общая 9,5 мг-экв/л, индекс насыщения от 0,37 до 0,67. Фильтры устанавливали по схеме гравитационных, без обсыпки; длина их от 2 до 5 м. Фильтры работали устойчиво, без пескования и обеспечивали необходимый дебит по скважинам:

	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Дебит, л/с	6,25	4,60	5,7	8,3
Удельный дебит, л/с·м	7,82	6,30	18,40	28,8

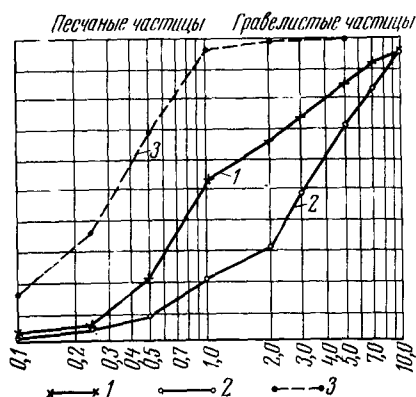


Рис. 48. График гранулометрического состава водоносных пород и выноса: 1, 2 — на глубине 19 и 22 м; 3 — вынос. Минимальная ширина щели фильтра 1,8 мм.

Представляет интерес сравнительная характеристика водозахватной способности этих скважин с другими скважинами водозабора, оборудованными сетчатым и каркасно-стержневыми фильтрами. Преимущество фильтров каркасно-стержневых из нержавеющей стали и пластмассовых фильтров-каркасов конструкции МГМИ по схеме гравитационных представлялось достаточно убедительным.

В водоносных горизонтах в мелкозернистых песках (d_{50} менее 0,15 мм) фильтры применяли в качестве гравийно-обсыпных. Их устанавливали по схеме гравитационных с гравийной засыпкой (с входом воды снизу вверх). Такие скважины были построены на стационаре ВНИИВОДГЕО (скважина № 5), в Голодной степи (скважина № 57), в Латвийской ССР: на острове Луцавас (скважины № 1 и 2), на полуострове Колка (скважина № 1), на водозаборах «Гауя-экспериментальная» (скважина № 6а) и «Югла» (скважина № 16), а также скважины в Новосибирской и Куйбышевской областях. Описание условий работы Колкского водозабора приведено в § 1. Водозабор обслуживает крупное рыбоконсервное предприятие. Здесь скважины выходили из строя через два года эксплуатации из-за коррозионного разрушения фильтров. Во время ремонтных работ на скважине № 1 вместо извлеченного проволочного фильтра (см. рис. 17) применили пластмассовый фильтр-каркас диаметром 170/150 мм из декорозита. Глубина скважины 25 м. Водоносный горизонт в интервалах от 9,25 до 11,25 м и от 11,50 до 15,75 м представлен мелкозернистыми песками ($d_{50}=0,16$, $d_{10}=0,09$, коэффициент неоднородности 2 проводимость 128 м²/сут, коэффициент фильтрации 16,3 м/сут). Длина рабочей части фильтра 6 м, диаметр обсадных труб 325 мм. Гравийная обсыпка: $D_{50}=1,3$, $D_{10}=0,35$, коэф-

фициент неоднородности 4, коэффициент межслойности 8,13. Наблюдения показали, что фильтр работает надежно, обеспечивая устойчивый дебит:

	1968 г.	1972 г.
Дебит, л/с	1,4	2,0
Удельный дебит, л/с·м	0,54	0,52

В Новосибирской области (с. Боровое) скважина, оборудованная металлическим проволочным (на перфорированном каркасе) фильтром, через 1,5 года эксплуатации вышла из строя. Глубина скважины 50 м. Эксплуатационная колонна диаметром 273 мм зацементирована до глубины 35 м. Фильтр диаметром 168 мм, длиной 6 м установлен впопай в интервале от 41 до 47 м. Состав подземных вод: бикарбонат-ионы 707,6 мг/л, хлориды 4,0, сульфаты 4,0, кальций 78, магний 43,5 и натрий 96,6 мг/л, жесткость общая 7,5 мг-экв/л, сухой остаток 561 мг/л, индекс насыщения отрицательный — 0,98. Из-за коррозионной активности слабоминерализованных подземных вод металлические фильтры и трубы разрушались.

В 1969 г. рядом с этой скважиной была построена новая с пластмассовым гравитационным каркасом конструкции МГМИ (см. рис. 44). Глубина скважины 54 м, конечный диаметр бурения 0,398 м, диаметр фильтра 290/226 мм, материал — волокнит. Фильтр установлен в интервале от 42 до 51 м, длина рабочей части 7,5 м. Мелкозернистый водоносный песок отличался следующими показателями: $d_{50}=0,2$, $d_{10}=0,06$, неоднородность 6,6, проводимость 550 м²/сут, коэффициент фильтрации 24 м/сут. Гравийная обсыпка: $D_{50}=2,6$, $D_{10}=1,2$, коэффициент межслойности 13. Скважина дала устойчивый дебит:

	1969 г.	1972 г.
Дебит, л/с	22,4	11,1
Удельный дебит, л/с·м	2,76	2,78

Гравитационно-щелевые каркасы применяли с гравийной обсыпкой при установке их по схеме корзинчатых фильтров с входом воды в направлении сверху вниз. Известно, что при подъеме обсадных труб и откачке часто происходит сползание гравийной засыпки, обнажение каркаса и в результате пескование. В таких случаях це-

лесообразно устанавливать каркас по схеме корзинчатого фильтра. Тогда подобные явления сводятся к минимуму, так как в наклонных водоприемных отверстиях накапливаются зерна породы или засыпки, препятствующие пескованию. Подобную установку фильтров успешно осуществляли в г. Ленинакане (скважина № 49) и на стационаре ВОДГЕО (скважина № 4).

Таким образом, опытно-производственными испытаниями гравитационно-целевых фильтров была установлена возможность установки фильтров по схеме корзинчатых. Гидравлическое сопротивление фильтров, установленных по схеме гравитационных, было незначительным, что обуславливало повышенный дебит скважин. Фильтры целесообразно применять также в качестве гравийно-обсыпных каркасов. При этом их можно устанавливать по схеме гравитационных с входом воды в направлении снизу вверх и по схеме корзинчатых каркасов с входом воды сверху вниз.

Фильтры с горизонтальными сужающимися отверстиями испытывали в основном в дренажных скважинах большого диаметра. Исследования фильтров были начаты в 1965 г. в Голодной степи (скважина № 52, совхоз № 4), а в 1966 г. в совхозе № 17 (скважина № 556). В 1968 г. испытания фильтров проводили в Араздайнской степи (скважина № 2). Затем опытно-производственные испытания фильтров выполняли на водозаборах Латвии. Глубина скважин составляла от 18 до 104 м, диаметр бурения от 0,3 до 1,0 м, диаметр фильтров 310/260 и 150/110 мм, материал — волокнит и пресс-порошок К-214-2. Длина рабочей части фильтров от 5 до 47,6 м.

В 1971 г. построена скважина № 176/71 с пластмассовым фильтром. Диаметр фильтра 150/110 мм, длина рабочей части 6 м, материал — пресс-порошок К-214-2, глубина скважины 20 м, конечный диаметр обсадных труб 0,325 м. Водоносный песок имел следующие показатели: $d_{50}=0,38$, $d_{10}=0,15$, коэффициент неоднородности 2,74. Гравийная обсыпка подобрана с коэффициентом межслойности 7,1. Состав подземных вод отличался отрицательным показателем стабильности — 0,8, высоким содержанием железа — 6,78 мг/л; содержание хлоридов составляло 98 мг/л, сульфатов — 81,8 мг/л, что обуславливало их повышенную коррозионную активность. Фильтры соседних скважин, установленные также с гравийной обсыпкой, вышли из строя. В то же время скважина

№ 176/71 работала надежно, с устойчивыми показателями производительности:

	1971 г.	1974 г.
Дебит, л/с	4,0	4,5
Удельный дебит, л/с·м	1,5	1,4

В 1972 г. в скважинах вертикального дренажа № 30, 31 и 33 в Голодной степи в совхозах № 18 и 19 были установлены пластмассовые фильтры-каркасы, изготовленные на Гулистанском заводе. Материал — волокнит, армированный стекловолокном. Глубина скважин соответственно 90, 54 и 97 м, длина рабочей части фильтров 47,7, 45 и 39 м, диаметр 310/260 мм, диаметр бурения 1,0 м. При бурении этих скважин роторным способом с обратной промывкой водоносные тонкозернистые пески, чередующиеся прослойками глин, суглинков и супесей, были вскрыты на глубинах от 25 до 40 м, от 62 до 75 м и от 80 до 100 м. Гравийную обсыпку подбирали по методике МГМИ, разработанной в предыдущие годы. Продолжительность разглинизации и освоения скважин составляла 10—15 машино-смен, т. е. почти в 3 раза меньше скважин, построенных роторным способом с прямой промывкой. Были получены следующие результаты по скважинам:

	№ 30	№ 33	№ 31
Дебит, л/с	34	31	25
Удельный дебит, л/с·м	4,25	3 88	2

Испытания пластмассовых фильтров-каркасов с горизонтальными сужающимися отверстиями установили, что их гидравлические сопротивления за счет повышенной скважности незначительные.

Исследование эффективности работы скважин, оборудованных пластмассовыми фильтрами. Эффективность работы скважин изучали по опытным и эксплуатационным откачкам путем оценки удельного дебита, дополнительного сопротивления и изменения их во времени. Проводили сравнительную характеристику работы опытных скважин с соседними скважинами, оборудованными фильтрами других конструкций.

Предварительно изучали гидрогеологические условия объектов, выбранных для испытаний. Бурение опытных скважин проводили с отбором проб грунта, определяли

фильтрационные параметры пластов, химический состав подземных вод и т. п. По данным откачек строили индикаторные кривые, определяли удельные дебиты и дополнительные сопротивления скважин.

Общее дополнительное сопротивление C , обусловленное несовершенством скважин по степени и характеру вскрытия, находили с помощью замеров уровней при откачках в опытной и наблюдательной скважинах и из формулы:

$$Q = \frac{2\pi KMS}{N + C}, \quad (48)$$

где K — коэффициент фильтрации;

M — мощность пласта;

S — понижение;

N — безразмерное сопротивление, обусловленное движением жидкости к совершенной скважине и определяемое граничными условиями;

C — общее дополнительное сопротивление, связанное с несовершенством и равное $C_1 + C_2$; здесь C_1 — сопротивление, обусловленное несовершенством по степени вскрытия пласта, C_2 — сопротивление на несовершенство по характеру вскрытия.

Выражение (48) применимо для безнапорного пласта, если мощность M заменить средней глубиной воды до водоупора:

$$M = H_{\text{ср}} = H - \frac{S}{2}.$$

Одну из составляющих общего сопротивления C_1 , характеризующую несовершенство по степени вскрытия, находили по таблицам и графикам (Боचेвер и др., 1965)

в зависимости от $\frac{L}{M}$ и $\frac{M}{r_c}$. Сопротивление C_2 определяли по формуле:

$$C_2 = C - C_1. \quad (49)$$

Проводимость пластов находили по данным восстановления уровня после прекращения откачки, пользуясь формулой (Боचेвер, Орфаниди, 1962):

$$KM = - \frac{Q}{4\pi S} E_i \left(- \frac{r^2}{4at} \right), \quad (50)$$

где a — пьезопроводность;

S — повышение уровня в момент времени t ;

E_i — символ интегральной показательной функции.

Если длительность периода восстановления уровня, до которого в предшествующий период до остановки откачки приток в скважину был установившимся, удовлетворяет условию:

$$\frac{r^2}{4at} \leq 0,1, \quad (51)$$

то вместо (50) принято считать, что

$$S \approx \frac{Q}{4\pi KM} \ln \frac{2,25 at}{r^2}. \quad (52)$$

Уравнение (52) представляли графически в виде прямой линейной зависимости $S=f(\ln t)$, предложенной Н. Н. Веригиным:

$$S = A + B \ln t, \quad (53)$$

где $A = B \ln \frac{2,25a}{r^2}$; $B = \frac{Q}{4\pi KM}$.

Тогда $KM = \frac{Q}{4\pi B}$, (54)

$$a = 0,44r^2 e^{\frac{A}{B}}. \quad (55)$$

Проводимость определяли по данным наблюдений в опытных скважинах, а пьезопроводность — по наблюдательным скважинам. При отсутствии наблюдательных скважин и известном значении KM пьезопроводность безнапорных пластов оценивали с помощью коэффициента водоотдачи, определяемого по формулам П. А. Бецинского и Б. Кожерского (Бочеввер и др., 1969). «Скин-эффект» определяли по формуле:

$$C_z = \frac{2\pi KMS}{Q} \ln \frac{1,5\sqrt{at}}{r_c}. \quad (56)$$

Дополнительное понижение, связанное с несовершенством скважин, находили по формуле:

$$\Delta S_{н.с} = \frac{Q}{2\pi KM} C. \quad (57)$$

На некоторых объектах сравнительная характеристика скважин, оборудованных (в равных условиях) раз-

личными фильтрами, была составлена с помощью пьезометров, установленных непосредственно около опытных скважин. При этом сопротивления, связанные с измененной проницаемостью прифилтровой зоны, определяли по формуле В. Н. Щелкачева (Боचेвер, Алексеев, 1965; Щелкачев, 1946):

$$C_2 = \left(\frac{K}{K_{\Pi}} - 1 \right) \ln \frac{r_{\Pi}}{r_c}, \quad (58)$$

где K_{Π} — коэффициент фильтрации грунта в зоне между опытной скважиной и пьезометром;

r_{Π} — расстояние от опытной скважины до наблюдательной скважины-пьезометра.

$$K_{\Pi} = \frac{Q}{2\pi\Delta S M} \left[\ln \frac{r_{\Pi}}{r_c} (C_1 - C_1^{\Pi}) \right], \quad (59)$$

где ΔS — разница понижений в опытной и наблюдательной скважинах;

C_1 и C_1^{Π} — сопротивления, обусловленные несовершенством скважины по степени вскрытия при $r = r_c$ и $r = r_{\Pi}$.

Определение дополнительного сопротивления покажем на примере скважин технического водоснабжения № 1 и 2, оборудованных пластмассовыми фильтрами МГМИ, на острове Луцавас. Глубина скважины № 2 — 12,7 м, способ бурения ударно-канатный, конечный диаметр обсадных труб 0,325 м, диаметр эксплуатационной колонны 0,166 м, диаметр пластмассового фильтра 170/120 мм, длина рабочей части фильтра — 3,8 м, интервалы установки от 6,3 до 10,6 м, отстойника от 10,6 до 12,7 м. Фильтр установлен по схеме гравитационного каркаса с гравийной засыпкой. Материал фильтра — пластмасса К-214-2. Водоносный песок имел следующие показатели: $d_{50} = 0,3$, $d_{10} = 0,13$, неоднородность 2,7. Гравийная засыпка была подобрана с коэффициентом межслойности 9. Пласт безнапорный, мощность 10,2 м. Проводимость пласта определяли по восстановлению уровня после прекращения откачки: $KM = 222$ м²/сут. Расстояние до скважины № 1 (наблюдательной) $r_1 = 30$ м. Данные откачки по скважинам приведены ниже:

	№ 2	№ 2	№ 1	№ 1
Дебит, л/с	1,83	4,4	—	—
Понижение, м	1,12	2,74	0,16	0,42

Общее дополнительное сопротивление составит:

$$C = \frac{2\pi KM \Delta S}{Q} - \ln \frac{r_c}{r_1} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 222 \cdot 0,96}{1,83} - 5,87 = 2,6.$$

Сопротивление, связанное с несовершенством скважины, равно.

$$M = h_c - \frac{S_0}{2} = 10,2 - \frac{1,12}{2} = 9,64;$$

$$\frac{M}{r_c} = \frac{9,64}{0,085} = 113.$$

$$b = L - \frac{S_0}{2} = 3,8 - \frac{1,12}{2} = 3,24;$$

$$\frac{b}{M} = \frac{3,24}{9,64} = 0,335.$$

По графику (Боचेвер и др., 1969) имеем: $C_1=7$. Следовательно, $C_2=2,6-7=-4,4$.

По данным откачек из скважины № 1, имеющей аналогичную конструкцию и оборудованную таким же фильтром-каркасом (скважина № 2 — наблюдательная), получены следующие результаты:

	№ 1	№ 1	№ 2	№ 2
Дебит, л/с . . .	1,85	3,84	—	—
Понижение, м . . .	1,54	3,32	0,09	0,25

Водоносный песок имел следующие показатели: $d_{50}=0,37$, $d_{10}=0,13$, неоднородность 3,26; гравийная обсыпка подобрана с коэффициентом межслойности 7,3.

Общее дополнительное сопротивление составит:

$$C = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 222 \cdot 3,07}{3,84} = 5,87 = 7,03.$$

Сопротивление, связанное с несовершенством скважины, равно.

$$M = 9,66 - 1,66 = 8,0, \frac{M}{r_0} = \frac{8}{0,085} = 94;$$

$$b = 3,8 - 1,66 = 2,14; \frac{b}{M} = \frac{2,14}{8} = 0,268.$$

По графику (Боचेвер и др., 1969) имеем: $C_1=9$. Следовательно, $C_2=7,03-9=-1,97$.

Сравнительные данные по сопротивлению гравитационных и гравийных фильтров были получены в результате опытных работ, проведенных на водозаборе г. Ленинска. Скважина № 48 пробурена для водоснабжения молочного завода (см. рис. 43). Геолого-технический разрез ее представлен на рисунке 47. Обе скважины пробурены ударно-канатным способом станком УКС-22 при конечных диаметрах 0,426 и 0,478 м. Расстояние между скважинами 200 м. Скважина № 48 оборудована

пластмассовым фильтром гравитационного типа (без обсыпки) диаметром 290 мм, длина его 9,4 м. Материал — волокнит. Скважина № 41 оборудована дырчатым фильтром диаметром 325 мм, длина его 9,5 м с гравийной засыпкой толщиной 7,5 см. Перед пуском скважин в эксплуатацию была проведена откачка в течение 10 суток. Величину проводимости пласта определяли по результатам наблюдений за восстановлением уровня после остановки откачки: $KM=1430 \text{ м}^2/\text{сут}$. Коэффициент водоотдачи $\mu_B=0,117$ (по Б. Кожерскому). График гранулометрического состава дан на рисунке 48. Результаты обработки данных приведены в таблице 17.

Скважина № 48, оборудованная гравитационным фильтром, имеет большую производительность и минимальные сопротивления прифильтровой зоны.

Эффективность работы пластмассовых фильтров, работающих в качестве гравийно-обсыпных фильтров по схеме гравитационных и корзинчатых каркасов, исследовали на Горьковском стационаре ВНИИВОДГЕО, а также в Латвии, Новосибирской и Куйбышевской областях.

Пластмассовые фильтры МГМИ удовлетворительно работали в агрессивных водах с неустойчивым химическим составом на стационаре ВНИИВОДГЕО в Горьковской области, Латвии, Голодной степи и в Куйбышевской области. Данные о работе пластмассовых фильтров-каркасов в условиях Горьковской области, где подземные воды гидрокарбонатно-кальциево-магниевые, содержат закисное железо (до 12 мг/л) и сероводород, представлены в таблице 18 (по данным ВОДГЕО).

Фильтры МГМИ с горизонтальными сужающимися отверстиями прошли всесторонние опытно-производственные испытания на скважинах большого диаметра. Сведения о работе водозабора приведены на странице 62—64. В равных гидрогеологических условиях удельные дебиты старой, вышедшей из строя скважины с сетчатым

Т а б л и ц а 17

Данные о работе гравитационных и гравийных фильтров

Показатели	Скважина № 41	Скважина № 48
Дебит, л/с	17,20	11,20
Удельный дебит, л/с·м	10,20	18,70
Сопротивление C_2	3,48	—0,27

Данные о работе пластмассовых фильтров-каркасов

№ сква- жины	Конструкция фильтра	Удельный дебит, л/с·м					
		1963 г.	1964 г.	1965 г.	1966 г.	1969 г.	
6	Каркасно-стерж- невой из нержа- вующей стали	4,5	4,2	2,64	2,27	2,37	Извле- чен
10	То же	—	3,6	3,25	2,62	1,58	То же
4	Пластмассовый МГМИ	4,30*	4,15	3,30	1,92	1,53	—
		3,45	3,97	3,28	2,0	—	2,03
		4,35	4,3	2,9	2,24	—	
5	То же	4,70	4,73	2,9	2,2	—	—
3	Кожуховый	3,41	3,2	2,06	1,56	0,44	Извле- чен
7	»	3,66	3,3	2,25	1,67	1,23	То же
2	Щелевой	3,23	2,9	1,17	1,16	0,65	» »
1	Блочный	2,65	2,4	1,1	0,85	—	» »

* В знаменателе — замер МГМИ.

фильтром и новой скважины были почти одинаковы. Но срок службы пластмассового фильтра МГМИ более чем в 4 раза выше металлического сетчатого каркаса. Новая скважина продолжает работать уже более восьми лет.

Долговременные испытания в Голодной степи (с 1964 г.), Латвии (с 1967 г.), в Новосибирской (с 1969 г.) и Куйбышевской (с 1971 г.) областях показали, что нарастание сопротивлений у пластмассовых фильтров-каркасов идет медленнее, чем у фильтров других конструкций из металла. Срок их службы выше сетчатых, кожуховых, щелевых, дырчатых и проволочных фильтров из металла.

При оценке экономической эффективности пластмассовые фильтры-каркасы МГМИ сопоставляли с дырчатыми и проволочными фильтрами из металла по минимуму затрат, приведенных к годовой размерности (по СН 423—71). Применение пластмассовых фильтров по сравнению с металлическими дает снижение приведенных затрат в среднем на 250 тыс. руб. (в расчете на 1,2 тыс. м фильтров).

Пластмассовые фильтры МГМИ внедряются организациями Министерства геологии и охраны недр СССР и Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР.

§ 1. ВЫБОР ТИПА И МОДЕЛИ ДОЛОТА

В практике бурения скважин на воду получили распространение лопастные и шарошечные долота. Лопастные долота с успехом применяют в мягких и рыхлых породах. В последние годы применение двух- и трехлопастных долот с улучшенной геометрией и гидромониторной промывкой рабочих органов, а также лопастных долот, армированных специальным твердосплавным вооружением, позволяет разрушать породы средней твердости в режиме резания и истирания. Это долота ИР и ИРГ.

Гидромониторные долота в бурении на воду до настоящего времени не получили промышленного применения, что объясняется необходимостью использования буровых насосов и насосной арматуры, рассчитанной на более высокое давление и производительность. Минимально допустимая скорость истечения раствора из насадки для таких долот должна быть не менее 60—80 м/с. При дальнейшем увеличении скорости истечения улучшаются показатели бурения, причем не только в мягких породах, но и в породах средней твердости. Гидромониторные долота увеличивают скорость бурения на 200—400%, а проходку на долото — до 50%. Таким образом, для целого ряда условий и в первую очередь для глубокого бурения переход на бурение гидромониторными долотами позволит значительно повысить скорости бурения.

Шарошечные долота применяют для бурения в скальных породах, глинистых сланцах и других породах средней и вышесредней твердости. Шарошечные долота в зависимости от назначения имеют следующий шифр:

М — самые мягкие, нецементированные пластичные породы (мягкие и вязкие сланцы, глины, слабые неабразивные известняки);

- МС — мягкие пластичные породы средней твердости (меловые отложения, глинистые сланцы, соль и т. п.);
- С — пластичные и хрупкопластичные породы (твердые глинистые и песчанистые сланцы, известняки средней твердости);
- СТ — плотные хрупкопластичные породы средней твердости и абразивности (доломиты, загипсованные песчаники, заглинизированные известняки и др.);
- Т — твердые и хрупкопластичные плотные породы (твердые и плотные абразивные известняки, доломиты, крепкие сланцы и т. д.);
- ТК и ОТК — очень твердые и крепкие хрупкопластичные скальные и абразивные породы (кремнистые сланцы, доломиты, известняки);
- К и ОК — очень крепкие и абразивные хрупкие породы (кварциты, окремненные доломиты, известняки и т. п.).

Для бурения в твердых и крепких породах используют шарошечные долота дробящего действия. В породах пластичных целесообразно применять долота дробяще-скалывающего действия. Долота этого типа имеют смещение осей цапф шарошек относительно оси долота, что ведет к проскальзыванию зубьев шарошек и скалыванию породы.

Индекс Г относится к гидромониторным долотам, например МГ, МСГ и др. Для бурения в абразивных породах применяют долота, армированные запрессованными твердосплавными зубцами с клиновидной рабочей частью. Долота этого типа имеют индекс З, например МЗ, СЗ, ТЗ, ТКЗ. Выбор типа и марки долот — важное и ответственное мероприятие, которое осуществляется с учетом опыта применения различных долот в данных и сходных геологических условиях.

Т а б л и ц а 19

Характеристика горных пород

Порода	Твердость, МПа	Обозначение
Мягкая	5,0	Тм
Средняя	5,0—15,0	Тс
Твердая	15,1—25,0	Тт
Крепкая	25,1—35,0	Тк
Очень крепкая	35,0	Ток

В последнее время в практике бурения скважин на нефть и газ получили успешное применение алмазные долота и долота, армированные синтетическими алмазами типа Славутич и др., позволяющие повысить механи-

Абразивность горных пород

Порода	Относительная абразивность (для гипса принята равной 1)	Принятое обозначение
Слабоабразивная	3	А _{с.л}
Малоабразивная	4—8	А _м
Среднеабразивная	9—15	А _{с.р}
Высокоабразивная	16—25	А _в
Очень высокоабразивная	25	А _{р.ч}

ческие и, что особенно важно, рейсовые скорости бурения в породах средней твердости и в твердых породах.

Более подробно типы и конструкции долот и их подбор применительно к конкретным геологическим разрезам, а также проектирование режимов бурения описаны в специальных изданиях (Палий, Корнеев, 1971).

Размеры долот нормализованы, так наружный диаметр долот составляет следующий ряд: 93 мм, 97, 112, 118, 132, 140, 145, 151, 161, 190, 214, 243, 269, 295, 320, 346, 394, 445 и 490 мм. Для отбора керна применяют колонковые долота и колонковые бурильные головки.

Л. Е. Симонянц (1973) предлагает выбирать долота исходя из твердости и относительной абразивности. Все горные породы по крепости и абразивности разделены на пять классов (табл. 19, 20). В зависимости от характеристики породы подбирается рациональный тип долота:

Т _м , А _{с.л}	МГ, М лопастные
Т _{мс} , А _м	МСГ, МС
Т _{мс} , А _{с.р}	МЗГ, МСЗГ
Т _с , А _м	СГ, С, С—1, одношарошечные
	С — алмазное
Т _с , А _{с.р}	СЗГ
Т _{с.т} , А _м	СТГ, Т, ТГ
	СТ — алмазное
	Т — алмазное
Т _т , А _{с.р}	ТК, ТКГ
Т _к , А _в	ТКЗ, К
Т _{о.ч} , А _{о.ч}	ОК

§ 2. ОСЕВАЯ НАГРУЗКА И ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Осевая нагрузка на долото определяет механическую скорость бурения: чем выше нагрузка, тем выше скорость бурения. Осевую нагрузку выбирают так, чтобы

процесс разрушения горных пород был объемным или по возможности близким к объемному.

Влияние осевой нагрузки на долото в различных горных породах проявляется по-разному. Общим является увеличение скорости бурения при повышении осевой нагрузки. Бурение следует вести при таких осевых нагрузках, которые обеспечивали бы достаточную механическую скорость и проходку на долото. В твердых и крепких породах увеличение осевой нагрузки будет лимитироваться прочностью самого долота, его вооружения, а также бурового вала. В трещиноватых породах во избежание заклинивания и поломки долота осевую нагрузку также снижают. Осевую нагрузку P подбирают из условия:

$$P = F_k p, \quad (60)$$

где F_k — площадь контакта долота с породой, мм²;
 p — твердость горных пород или предел текучести для пород, не дающих хрупкого разрушения, МПа.

В зависимости от характера пород и типа долота нагрузки на 1 см диаметра долота колеблются в широких пределах (в кН):

лопастные	1—4
режуще-истирающие	2—8
М и Мс	2—6
С	3—8
СТ	5—10
Т	7—10
ТК	8—15
ТЗ, ТКЗ, ОК	9—20

Правильный выбор рациональной частоты вращения, так же как и выбор осевой нагрузки на долото, должен основываться на знании и учете физико-механических и технологических свойств горных пород и в первую очередь таких, как прочность, абразивность, пластичность, упругость, хрупкость и др. С увеличением частоты вращения шарошечного долота, с одной стороны, уменьшается глубина разрушения за один оборот, а с другой — повышается число поражений забоя зубцами шарошек. Таким образом, существует максимум зависимости скорости бурения от частоты вращения. В хрупких породах этот максимум наблюдается при больших осевых нагруз-

ках, чем в пластичных породах. Частоту вращения долота подбирают из условия достижения не только максимальной механической скорости бурения, но и достаточной проходки на долото, в противном случае рейсовая скорость будет низкой. Как уже отмечалось, в абразивных породах целесообразно бурить при низких частотах вращения долота, что связано с интенсивным износом его рабочих органов при высоких скоростях вращения. О. Н. Голубинцев (Воздвиженский, Мельничук, Пешалов, 1973) отмечает это явление и для пластичных пород. В практике бурения использование высоких частот вращения затрудняется имеющимся ресурсом мощности буровой установки, а также прочностью бурового вала, который на высоких частотах вращения испытывает значительные деформации, усталостные напряжения и подвергается разрушению.

§ 3. ПРОМЫВКА СКВАЖИНЫ

Важным режимным параметром является количество промывочной жидкости, подаваемой на забой для удаления продуктов разрушения пород, охлаждения долота и поддержания стенок скважины в устойчивом состоянии. Промывка забоя скважины оказывает существенное влияние на скорость бурения. При недостаточной промывке снижается не только механическая скорость бурения, но и проходка на долото. В этом случае, если не представляется возможным увеличить интенсивность промывки, переходят на бурение с пониженной осевой нагрузкой (Беликов и др., 1973).

В. С. Федоров (1958) рекомендует определить необходимое количество жидкости из условия:

$$Q > F_3 (0,043 \text{ --- } 0,65), \quad (61)$$

Минимально допустимый расход промывочной жидкости вычисляют также исходя из минимально допустимой скорости восходящего потока:

$$Q_{\min} = 0,0785 (D_d^2 - d_r^2) v_n^{\min}, \quad (62)$$

где D_d — диаметр долота;
 d_r — диаметр труб;
 v_n^{\min} — минимально допустимая скорость восходящего потока.

Размер бурильных труб выбирают в зависимости от диаметра бурения, причем скорость восходящего потока промывочной жидкости в затрубном пространстве должна быть не менее 0,8 м/с. Это связано с условиями нормальной удаленности продуктов разрушения породы из забоя.

Конечные диаметры бурения скважин на воду в зависимости от их целевого назначения, гидрогеологических и других условий колеблются в широких пределах, однако в большинстве случаев от 190 до 269 мм. Расчеты показывают, что относительно маломощные насосы 11Гр не обеспечивают в этих условиях достаточно полного и своевременного удаления продуктов разрушения пород с забоя, поэтому механические скорости бурения низкие, часты прихваты бурового снаряда. Бурильные трубы диаметром 73 мм не отвечают указанным требованиям. Во многих организациях с успехом применяют бурильные трубы диаметром 89 и 114 мм, что не только решает проблему нормальной транспортировки шлама и увеличения скорости бурения, но и создает более благоприятные условия работы самих труб в скважине с точки зрения возникающих напряжений в теле этих труб.

Следует также отметить и более благоприятные условия работы насосов за счет снижения рабочего давления при бурении.

Другой путь поддержания нормального шламового режима — использование более мощных насосов типа 9МГР, НБ-40 и др., а также спаренная работа двух, трех или четырех маломощных насосов типа 11Гр.

В. Г. Беликов (1973) рекомендует рассчитывать минимальную скорость подъема промывочного раствора v^{\min} исходя из допустимого значения концентрации бу-

рового шлама ($X_{б-ш} = \frac{V_{б.ш}}{V_k}$, где $V_{б.ш}$ — объем бурового шлама в кольцевом зазоре; V_k — объем кольцевого зазора; $V_{б.ш}^{\max} = 0,05$) по следующей формуле:

$$v^{\min} = 20v_b \frac{F_3}{F_k}, \quad (63)$$

где v_b — скорость бурения;

F_3 — площадь забоя, см²;

F_k — площадь кольцевого зазора.

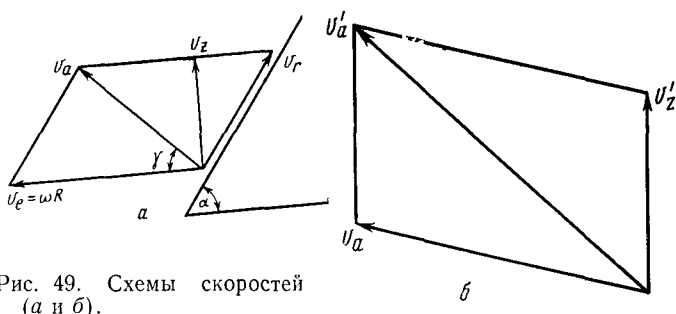


Рис. 49. Схемы скоростей (а и б).

В осложненных условиях допустимое значение концентрации шлама в растворе должно быть снижено до 0,02—0,03.

Из формулы (63) следует, что увеличение скорости бурения требует более интенсивной промывки. Работами В. Г. Беликова и других авторов (1973) установлен сложный характер движения частиц породы в потоке. При определенных условиях шлам может перемещаться как к стенке скважины, так и к бурильной трубе. Современные теоретические решения по расчету минимально допустимой скорости подъема промывочного раствора не дают удовлетворительной сходимости с данными практики: удаление шлама происходит при значительно меньших значениях скоростей подъема. Это объясняется тем, что вращение колонны труб нарушает структурный режим потока и приводит к развитию зон турбулентного режима.

С целью интенсификации подъема бурового шлама потоком промывочной жидкости Д. Н. Башкатовым, В. Л. Ваксманом, Ю. М. Носовским, В. Н. Меньковским предложена конструкция специальных лопастей-турбулизаторов, устанавливаемых через определенные интервалы на бурильных трубах. Наличие лопастей на бурильных трубах способствует увеличению скоростей движения потока в затрубном пространстве и образованию зон турбулентности, что вызывает более интенсивный подъем бурового шлама и повышение скорости бурения. Рассмотрим этот вопрос более подробно. При наличии наклонной лопасти на бурильной трубе (рис. 49, а) и при ее вращении возникает вертикальная составляющая движения, причем относительная v_r , вертикальная v_z и

абсолютная v_a скорости потока могут быть определены по формулам:

$$v_r = \frac{\omega R \sin \gamma}{\sin(\alpha + \gamma)} ; \quad (64)$$

$$v_z = \frac{\omega R}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \gamma} ; \quad (65)$$

$$v_a = \frac{\omega R \sin \alpha}{\sin(\alpha + \gamma)} . \quad (66)$$

Угол γ характеризует взаимодействие лопасти и промывочной жидкости и зависит от ряда факторов, таких, как окружная скорость ($v_e = \omega R$), коэффициент трения потока о лопасть и физические константы потока. Значения γ могут быть установлены экспериментально.

Работа насоса обеспечивает подъем потока в затрубном пространстве со скоростью v'_z . При этом имеет место сложение скоростей v_a и v'_z (рис. 49, б). Это приводит к существенному увеличению абсолютной скорости потока v_a' и, в свою очередь, к турбулентизации потока в затрубном пространстве. Таким образом, роль лопаток-турбуленизаторов сводится к увеличению скорости подъема промывочного раствора и созданию зон турбулентности в стволе скважины. Если на бурильных трубах не устанавливают лопасти-турбуленизаторы, эффект от вращения колонны сказывается в меньшей мере и, помимо геометрических параметров колонны и ствола скважины, зависит от частоты и характера вращения и обращения колонны в стволе скважины. Если вращение бурильных труб происходит вокруг оси скважины, то абсолютную скорость можно определить по формуле:

$$v_a = \sqrt{K_1 \omega^2 R^2 + v_z^2} , \quad (67)$$

где K_1 — коэффициент проскальзывания, $K_1 < 1$;

ω — угловая частота вращения, об/мин;

R — радиус скважины, м;

v_z — скорость восходящего потока, м/с.

При этом $v_a > v_z$. Если вращение бурильных труб происходит вокруг их оси, то $v_a \gtrsim v_z$.

При вращении бурильных труб вокруг своей оси и обращении вокруг оси скважины при возможном периодическом переходе на противоположную стенку скважины $v_a > v_z$. Критическую скорость, при которой наступа-

ет турбулентный режим движения промывочной жидкости, можно приближенно подсчитать по следующей формуле (Беликов, 1973):

$$v \approx 5,1 \sqrt{\frac{\tau_0}{\gamma}}, \quad (68)$$

где τ_0 — статическое напряжение сдвига раствора;
 γ — плотность раствора.

Из формулы следует, что надо стремиться к тому, чтобы $\frac{\tau_0}{\gamma} \rightarrow \min$. При повышении скорости подъема промывочной жидкости до критической выносная способность потока значительно возрастает, что ведет к увеличению скоростей бурения; дальнейшее повышение скорости подъема промывочной жидкости не приводит к существенному росту скорости бурения. Подъем потока в затрубном пространстве может подчиняться различным законам: ламинарному, ламинарному с вихрями, турбулентному и турбулентному с завихрениями. Турбулентный и турбулентный с завихрениями режимы потока обеспечивают сплошной режим подъема потока, более благоприятные условия для выноса частиц породы различной формы и более высокую среднюю скорость подъема потока, чем при ламинарном режиме. Ламинарный режим имеет место при $Re < 1600$.

По данным Ю. М. Носовского, увеличение частоты вращения бурильных труб диаметром 73 мм (диаметр скважины 395—490 мм) целесообразно до 100 об/мин. С увеличением диаметра бурильных труб повышается эффект турбулентности. Применение турбулизатора диаметром 280 мм при диаметре скважины 395 мм, частоте вращения 100 об/мин и количестве промывочной жидкости 300 л/мин позволило выносить частицы пород до 10—15 мм и увеличить механическую скорость бурения в отдельных интервалах до трех раз. В тресте «Востокбурвод» (Пундиков, Шкингер, 1972) разработана и успешно применяется конструкция ступенчатого долота лопастного типа (рис. 50). Принцип создания зон турбулентности по длине колонны четко прослеживается и в этой конструкции.

При использовании этих долот в мягких и рыхлых породах скорость бурения увеличивается. Ступенчатое долото лопастного типа получило распространение при бурении под кондуктор. В этом случае бурение ведется с

расширением верхнего участка ствола скважины под кондуктор, т. е. двумя забоями. Обычно применяют трехлопастное долото диаметром 243 мм и расширитель со сменными лопастями диаметром 346 мм. Расширитель устанавливают в интервале 150—300 м, что определяется необходимой глубиной спуска кондуктора. После бурения расширителем на необходимую глубину поднимают инструмент, спускают и цементируют кондуктор, а далее бурят обычным способом.

Бурение ведется с тяжелым низом, в качестве установки используется УБВ-600 с двумя насосами типа 9МГр или БУ-80Бр с двумя насосами БрН-1. Глубины скважин колеблются от 500 до 1600 м.

При введении в глинистый раствор высокомолекулярных соединений существенным образом изменяются гидравлические характеристики и реологические свойства потока. Исследования, проведенные Б. Л. Гендлером и другими учеными, показали, что введение различных добавок в раствор приводит к более ранней турбулентизации потока и снижению его критической скорости течения в 2—2,5 раза, что, в свою очередь, интенсифицирует очистку забоя и ствола скважины за счет уменьшения застойных зон и выравнивания скоростей потока в затрубном сечении. По данным Б. Л. Гендлера, оптимальными являются следующие добавки для различных нефтей: балахановской 6%, локбатанской 6—8, сангачальской 8—10, дашгильской 7, чалинской и нефтяных

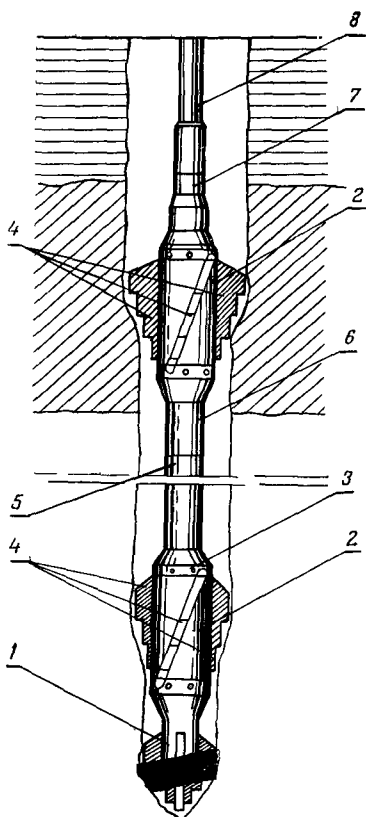


Рис 50. Ступенчатое долото:

1 — долото, 2 — корпус расширителя, 3 — кольцо; 4 — лопасти; 5 — УБТ; 6 и 7 — переходники, 8 — бурильные трубы

камней 12%. Добавки нефти увеличивают структурно-механические параметры (τ и η) раствора. Для предотвращения этого целесообразно в раствор добавлять NaOH в количестве 0,1% объема нефти.

Введение нефти также повышает в некоторой степени гидравлические сопротивления при турбулентном режиме течения. Для предотвращения роста коэффициента гидравлических сопротивлений рекомендуется добавлять в раствор 5%-ный водный раствор нитролигнина в количестве 4% от объема раствора. Для этой цели можно использовать добавки хромпика, петролатума, гипана, СГ, К-4, КИЗП, ГКЖ-11, снижающих коэффициент гидравлических сопротивлений на 10—24%. Наиболее эффективная добавка — это ГКЖ-11, вводимая в раствор в количестве 0,2% от объема. Применение промывочных жидкостей с большой плотностью повышает сжимающие напряжения в горной породе на забое скважины и, следовательно, приводит к упрочнению горной породы. Скорость бурения и проходка на долото в этом случае снижаются. Более высокие показатели получаются при использовании в качестве очистного агента воздуха или газа.

При бурении в глинистых породах образуются так называемые сальники за счет слипания глинистых частиц. Это приводит к росту крутящего момента и затрудняет своевременное удаление продуктов разрушения породы с забоя.

§ 4. КОНСТРУКЦИЯ БУРИЛЬНОГО ВАЛА

Бурильный вал передает осевую нагрузку и крутящий момент долоту.

В практике бурения скважин на воду получили применение трубы диаметром 73 и 89, 114 мм и реже 141 и 168 мм и др. Подбор наружного диаметра бурильных труб (d_T) проводят таким образом, чтобы соблюдалось следующее условие:

$$d_T \approx 0,6D_d,$$

где D_d — диаметр долота.

Если $d_T < 0,6D_d$, то работа бурильного вала будет происходить в сложных условиях из-за значительных поперечных деформаций. Это вызовет более интенсивные поломки вала и самопроизвольное искривление скважины.

В зависимости от условий бурения применяют бурильные трубы, изготовленные из разных марок стали и имеющие различную толщину стенки и конструкцию.

Исследованиями МГРИ установлен весьма сложный процесс работы бурильных труб, которые в зависимости от размера труб и скважины, а также частоты вращения и осевой нагрузки могут вращаться вокруг своей оси и обращаться вокруг оси скважины. Обращение колонны может быть и против направления вращения ротора станка и с возможным перескоком колонны на противоположную стенку скважины. Это подтверждает точку зрения ряда специалистов о динамическом характере работы колонны при определенных условиях и знакопеременных нагрузках, возникающих в теле труб. Утяжеленные бурильные трубы позволяют резко понизить число обрывов бурильных труб и увеличить скорость бурения и за счет применения рациональных режимов бурения. Утяжеленные трубы снижают искривление скважин, а следовательно, и вероятность осложнений при спуске и цементировании обсадных колонн и погружного насоса.

По рекомендации А. Е. Сарояна размер труб тяжело-го низа $d_{т.н}$ подбирают из условий $d_{т.н} \approx 0,75D_d$. Соотношения размеров утяжеленных труб и долота приведены ниже, а также в таблицах 21, 22.

D_d	161	190	214	243	269	295	320	346	370	394
$d_{т.н}$	121	140	159	178	203	219	235	255	273	299

В бурении скважин на нефть и газ используют утяжеленные трубы квадратного сечения. Преимущество их перед круглыми состоит в том, что они лучше центрируются в скважине и снижают искривление, площадь их контакта со стенками скважины меньше, а это, в свою очередь, уменьшает вероятность прихвата бурового инструмента. Размер таких труб рекомендуется подбирать из условия:

$$\frac{D_{\text{диаг}}}{D_d} \approx 0,85 — 0,95,$$

где $D_{\text{диаг}}$ — диагональ квадрата.

Длину труб тяжелого низа находят из условия:

$$l_{т.н} = \frac{1,25P}{q_{т.н} \left(1 - \frac{\gamma_{ж}}{\gamma}\right)}, \quad (69)$$

где P — осевая нагрузка на долото;
 $q_{т.н}$ — масса 1 м труб тяжелого низа;
 $\gamma_{ж}$ и γ — плотность промывочной жидкости и материала труб.

Таблица 21

Основные размеры и масса утяжеленных труб круглого сечения

Условный размер трубы, "	Замковая резьба по ГОСТ 5286-58	Наружный диаметр трубы, мм	Диаметр отверстия, мм	Длина трубы, м	Масса 1 м трубы, кг
3 1/2	3-88	108 ± 1	38	(6,0 ÷ 8,0) ± 0,5	63
4 1/2	3-121	146 ± 3	75	(6,0 ÷ 8,0) ± 1,0	98
5 9/16	3-147	178 ± 3	80	(8,0 ÷ 10,2) ± 1,0	145
6 5/8	3-171	203 ± 3	100	(8,0 ÷ 12,0) ± 1,0	192

Таблица 22

Основные размеры утяжеленных труб квадратного сечения

Параметры труб	Длина трубы, мм					
	161	190	214	243	269	295
Сторона квадрата, мм	112 × 112	130 × 130 140 × 140	140 × 140 155 × 155	155 × 155 175 × 175	175 × 175 195 × 195	195 × 195
Диагональ квадрата, мм	146	167 181	181 203	203 230	230 255	255

На передвижных буровых установках перспективны легкосплавные бурильные трубы диаметром 114 мм и другие, позволяющие использовать наличные грузоподъемные узлы буровой установки и применять комбинированную схему бурения с прямой и обратной промывкой.

ВСКРЫТИЕ И ОСВОЕНИЕ ВОДОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

Процесс вскрытия и освоения водоносных пластов — чрезвычайно важное и ответственное мероприятие в общем комплексе работ по сооружению скважин.

Широкое внедрение вращательного способа бурения с глинистым раствором в 50-х годах привело к значительному снижению дебитов скважин; время, затрачиваемое на освоение, составляет в среднем около 25% общего времени бурения, а в ряде организаций — 40% и даже более.

Глинизация пласта и снижение его проницаемости приводят к уменьшению производительности (дебита) скважины и требуют проведения специальных работ по ликвидации этого вредного явления.

Широко распространенные в практике работ способы освоения (разглинизации) в большинстве случаев не обеспечивают достаточно полного восстановления дебитов скважин. Это, во-первых, вносит неточность в результаты опробования пластов, во-вторых, вынуждает проектировать более глубокие скважины, устанавливать фильтры большей длины, эксплуатировать пласт с большими понижениями. Все это наносит большой ущерб народному хозяйству страны и требует решения этой проблемы в кратчайшие сроки.

§ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ КОЛЬМАТАЦИИ ПЛАСТА

Кольматация — сложный физико-механический процесс снижения проницаемости пласта, протекающий во времени.

Различают три зоны кольматации пласта: проникновения частиц бурового шлама (механический кольматаж), глинистого раствора и фильтрата глинистого раствора.

Зона механического колыматажа в рыхлых водосо- держащих породах невелика — не более 10—15 мм. По мере вскрытия пласта с глинистым раствором на стен- ках скважины образуется плотная глинистая корка тол- щинной 3—6 мм, что, в свою очередь, ограничивает по- ступление глинистого материала и шлама в пласт. В тре- щинчатых горных породах частицы бурового шлама могут проникать достаточно глубоко (до нескольких де- сятков метров), что зависит от размера и конфигурации трещин, а также от перепада давления на пласт (репрес- сии).

Глубина проникновения глинистого раствора в пески, по данным различных исследователей, колеблется в ши- роких пределах. Н. И. Шацов считает, что глубина про- никновения глинистого раствора в пласт и толщина гли- нистой корки зависят от состава песка (табл. 23).

Таблица 23

Глубина проникновения глинистого раствора в пласт и толщина гли- нистой корки

Глина	Глубина проникновения гли- нистого раствора, мм		Толщина глинистой корки, мм	
	песок мелко- зернистый	песок средне- зернистый	песок мелко- зернистый	песок средне- зернистый

Нормальные растворы

Локбатанская	1—2	20	10—12	12—15
Сурханская	1—2	12—30	5—6	8—10
Зыхская	3—4	8—10	4—5	5

Утяжеленные растворы

Локбатанская	—	10	5	8—10
Сурханская	—	8—10	5	10
Зыхская	—	3—4	3—4	3—4

Большой интерес представляют исследования М. Кир- сена, С. Персона и Г. Кэннона по проникновению глини- стого раствора в пласт в зависимости от перепада давле- ния на пласт (табл. 24).

И. Н. Бандырский в лабораторных условиях устано- вил, что глубина проникновения глинистого раствора в водонасыщенные мелкозернистые пески составляет 50— 100 мм, а в среднезернистые — 100—200 мм. Такая от-

Глубина проникновения глинистого раствора в пласт в зависимости от перепада давления на пласт и гранулометрического состава песков

Исследователи	Плотность глинистого раствора, г/см ³	Вязкость, с	Перепад давления, МПа	Эффективный диаметр частиц песка, мм	Толщина глинистой корки, мм	Глубина проникновения раствора в пласт, мм
М. Кирсен	1,10	—	12,0	0,3—0,6	12	76
С. Персонс	1,26	—	13,2	0,1—0,01	3	3
	1,56	—	—	0,1—0,01	1,5	1,5
Г. Кэннон	1,19	16	0,28	1—2	—	53
	1,19	18	0,28	0,3—0,6	4,8	55—100
	1,19	18	0,28	1—2	—	37
	1,19	22	0,28	1—2	—	12—15
		30	0,28	1—2	—	12—15
		35	0,28	1—2	—	15—17

носителю большая глубина проникновения раствора в пласт объясняется, очевидно, тем, что опыты проводились в стендовых условиях, где пески имели разрыхленное состояние.

В песчаниках глубина проникновения глинистого раствора значительно меньше — в среднем не более 20 мм.

В трещиноватых породах эта величина может достигать нескольких десятков и сотен метров. В общем случае глубина проникновения глинистого раствора в пласт увеличивается с возрастанием репрессии на пласт

($\Delta P = \frac{H\gamma_{г-р}}{100} - P_{пл}$) и выражается формулой:

$$l = \frac{A\Delta P}{r\tau_0}, \quad (70)$$

где l — глубина проникновения глинистого раствора в пласт, см;

A — коэффициент, учитывающий сопротивление движению жидкости в зависимости от размера зерен породы, их формы и т. д.;

ΔP — репрессия на пласт, МПа;

τ_0 — начальное сопротивление раствора сдвигу, МПа;

$\gamma_{г-р}$ — плотность глинистого раствора, г/см³;

$P_{пл}$ — пластовое давление, МПа;

H — глубина залегания пласта, м.

В формуле (70) принято, что фильтрация глинистого раствора в пласт происходит при постоянном перепаде давления. Это искажает физику процесса, так как при бурении имеют место проработка ствола скважины, спуско-подъемные операции с буровым инструментом и обсадными трубами, что ведет к динамической фильтрации глинистого раствора, т. е. к более интенсивному поглощению раствора пластом.

Глинистая корка на стенках скважины формируется в течение от нескольких минут до 30 минут. Ее проницаемость обычно в 1000—10 000 раз меньше проницаемости пласта, поэтому после формирования глинистой корки в пласт попадает только фильтрат глинистого раствора, содержащий тонкодисперсные и коллоидные частицы глины, которые набухают и способствуют снижению проницаемости пласта.

Количество отфильтровавшейся жидкости в пласт — показатель распространения и характера зоны кольматации.

Количество жидкости, отфильтровавшейся в пласт при вскрытии пласта, определяется экспериментально или на основании теоретических расчетов (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969).

С. К. Фергюссон и И. А. Клотц при исследовании водоотдачи промывочных растворов на модели скважины пришли к заключению, что из общего объема фильтрата на долю статической водоотдачи приходится 10—20% и 80—90% на фильтрат, выделяемый при гидродинамических условиях.

Общее количество фильтрата, поступающего в пласт W , складывается из фильтратов раствора, поступающего при статических W_c и гидродинамических W_d условиях:

$$W = W_c + W_d. \quad (71)$$

Глинистые частицы набухают в водной среде, в результате изменяется внутренняя геометрия порового пространства, причем проницаемость породы при этом может уменьшаться до 50 раз и более. Процесс набухания глинистых частиц развивается во времени и в зависимости от состава глин может достигать предельной величины (для тонкодисперсных систем) через 24—420 часов. Наибольшее набухание свойственно Na- и Li-бentonитовым (до 840%) и естественным bentонитовым (до 252%) глинам.

Вокруг частиц породы образуются гидратные слои, которые при имеющихся на практике перепадах давления не участвуют в фильтрации. Увеличение дисперсности глинистых частиц приводит к сильному снижению проницаемости, причем во времени прочность этих связей возрастает.

Фильтрат глинистого раствора, проникая в пласт и взаимодействуя с пластовой водой, вызывает выпадение в осадок некоторых продуктов реакции и набухание водонасыщенной породы.

Наблюдается глинизация и самого фильтра (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969). Различают глинизацию статическую (фильтр установлен в скважине, заполненной глинистым раствором) и динамическую (фильтр опускается в скважину, заполненную глинистым раствором).

Динамическая и статическая глинизация фильтра увеличивается во времени, причем по абсолютной величине динамическая глинизация (для сетчатых фильтров в 4—5 раз) больше статической. Снижение скорости спуска фильтра в скважину до 0,2—0,25 м/с способствует снижению его кольматации.

Показатель несовершенства скважин ξ_2 достигает 70—80%, а соответствующие этому дополнительные понижения составляют до 70% общего понижения уровня.

Спуско-подъемные операции бурового инструмента и труб приводят к повышению давления на пласт на 20—30%, что вызывает более интенсивную кольматацию пласта.

При вскрытии неустойчивых водовмещающих пород плотность промывочной жидкости подбирают таким образом, чтобы не допустить обрушения стенок скважины, но, с другой стороны, необходимо предотвратить или свести к минимуму поступление раствора и его фильтра-та в пласт.

$$\gamma = \frac{10(P_{пл} - \Delta P)}{H_{пл}}, \quad (72)$$

где $P_{пл}$ — пластовое давление, МПа;

$H_{пл}$ — глубина залегания пласта, м;

ΔP — перепад давления на пласт, МПа.

Н. И. Шацов считает, что пласт начинает «действовать» при

$$\Delta P = 0,015 - 0,02 \text{ МПа.}$$

В устойчивых водовмещающих породах пласт должен вскрываться, когда $\Delta P < 0$.

Снижение противодавления на пласт достигается применением облегченных и аэрированных растворов. Испытания показали, что поверхностно-активные вещества (ПАВ) снижают коагуляцию продуктивного пласта и обеспечивают дебиты на уровне дебита скважин ударного бурения.

Аэрацию раствора можно проводить комбинированно — введением ПАВ и насыщением раствора, подаваемого от компрессора сжатым воздухом. Для этой цели можно использовать также аэратор.

Адсорбция ПАВ на поверхности раздела фаз определяет активность воздействия этих веществ на раствор. Поверхностное натяжение на границе раздела фаз тем меньше, чем выше активность ПАВ. Эта связь выражается уравнением Гиббса (Паус, 1967):

$$\Gamma = \frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}, \quad (73)$$

где Γ — величина адсорбции;

σ — поверхностное натяжение;

c — концентрация веществ в одной из фаз, образующих поверхность раздела (молярная);

R — газовая постоянная;

T — абсолютная температура.

Поверхностно-активные вещества на разделе двух фаз могут в тысячи раз превышать концентрацию в объеме и в 2—3 раза снижать поверхностное натяжение.

По химическим свойствам ПАВ подразделяются на неионогенные и анионогенные. Наиболее широкое распространение получили неионогенные ПАВ: ОП-10, ОП-7, ОП-4, ОФ-20, ОФ-30, КАУФ₁₄, УФ₈ и др. Электрическая нейтральность молекул способствует устойчивости этих ПАВ против воздействия на них минеральных солей. Поверхностно-активные вещества сохраняют достаточную активность в широком диапазоне температур в щелочной и кислотной среде.

В этом отношении анионоактивные ПАВ (сульфонат, сульфонат, прогресс, новость, НП-1, азоляты А и Б и др.), составляющие с катионоактивными (катапин А, катамин, карбозолин О и др.) группу ионогенных ПАВ, не обла-

дают достаточной устойчивостью против минеральных солей и, соединяясь с катионами поливалентных металлов, выпадают в осадок.

Кроме этого, ПАВ снижают силы сопротивления вращению бурильных труб и долота, а также гидравлические потери в системе труба — скважина. Все это увеличивает проходку на долото и механическую скорость бурения.

Если вода имеет повышенную минерализацию (жесткость), то требуется ее предварительное смягчение путем выведения реагентов-электролитов (NaOH , Na_2CO_3 и др.). В этом случае эффективна сульфидо-спиртовая барда.

Поверхностно-активные вещества добавляют в раствор в количестве до 1—2%. Введение большего количества не дает эффекта (Паус, 1967).

Для воды как растворителя, имеющего большое поверхностное натяжение, многие органические вещества являются поверхностно-активными (кислоты, спирты и т. д.).

В водах различного химического состава разные ПАВ обеспечивают неодинаковый эффект по снижению плотности раствора.

Снижение зоны кольматации пласта в случае применения аэрированных растворов объясняется также тем, что поровые каналы как бы закупориваются мелкими пузырьками воздуха, препятствующими проникновению в пласт бурового раствора и его фильтрата. Противодавление на пласт можно снизить с помощью буровых снарядов с призабойной циркулирующей промывочной жидкости (Сулакшин, 1973). В рыхлых водовмещающих породах (пески, супеси) проблема восстановления проницаемости прифильтровых зон является наиболее сложной. Чем больше время вскрытия пласта, тем благоприятнее условия для кольматации пласта, то же следует сказать о статической и динамической глинизации фильтра. Поэтому надо стремиться к уменьшению времени контакта раствора с пластом и фильтром. Это обстоятельство требует от буровой бригады выполнения работ по вскрытию пласта и оборудованию его фильтром в сжатые сроки, без простоев.

При бурении с водой в устойчивых трещиноватых породах происходит кольматация трещин шламом. По данным исследований В. А. Парфияновича, при колонковом бурении размер шлама составляет 0,05 мм и выше, что

зависит от типа и характера буримых пород и способа бурения.

Заполнение трещин шламом происходит главным образом при движении фильтрационного потока в пласт. При малых скоростях фильтрационного потока шлам заполняет в трещине лишь зону, непосредственно примыкающую к стволу скважины.

Радиус зоны кольматации трещины В. А. Парфиянович рекомендует определять по формуле:

$$R = \frac{0,0265\alpha Q}{v_k \varepsilon}, \quad (74)$$

где R — радиус зоны кольматации, м;

Q — начальный расход потока, л/мин;

v_k — критическая скорость потока, см/с;

ε — ширина щели, см;

α — коэффициент, учитывающий рост осадка шлама в трещине ($\alpha < 1$).

Для уменьшения кольматации пласта в трещиноватых породах используют шламовые трубы. Это снижает количество шлама в восходящем потоке промывочной жидкости. Применение снарядов с призабойной циркуляцией промывочной жидкости также позволяет снизить кольматацию пласта за счет уменьшения перепада давления на пласт. Чтобы очистить трещины пласта от скопившегося в них шлама, необходимо обеспечить достаточные для размыва и удаления скорости потока воды из пласта в зону ствола скважины. Скорость потока жидкости для размыва шлама должна быть значительно больше скорости, при которой происходило выпадение частиц шлама в осадок. Весьма эффективный способ декольматации пласта — нагнетание чистой воды в интервал ствола, ограниченный тампонами. При этом шлам не удаляется, а переносится по трещинам в периферийную часть пласта. Это ведет к очистке зоны пласта от шлама в непосредственной близости от ствола скважины.

§ 2. СПОСОБЫ ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА

Современные способы вскрытия пласта характеризуются двумя основными факторами: разрушением горной породы и удалением продуктов разрушения.

Наиболее распространенный способ бурения — вра-

щательный с промывкой. В качестве промывочной жидкости используют различные растворы, причем наилучшей промывочной жидкостью считается та, которая не снижает проницаемости призабойной зоны или минимально искажает фильтрационные свойства пласта и требует недлительных и несложных работ по его освоению.

Вращательный способ бурения с удалением продуктов разрушения горных пород глинистым раствором характеризуется, как это было показано ранее, интенсивным изменением фильтрационных свойств пласта. Плотность раствора подбирают и регулируют таким образом, чтобы, с одной стороны, не происходил приток пластовых вод в скважину, а с другой — чтобы в пласте не появились трещины (или развились имеющиеся), что может привести к катастрофическому поглощению раствора и гидравлическому разрыву пласта. Таким образом, зная величину пластового давления $P_{пл}$ и давление гидроразрыва пласта $P_{гр}$, можно записать:

$$\frac{\alpha P_{пл}}{10H} < \gamma < \frac{\beta P_{гр}}{10H}, \quad (75)$$

где γ — плотность раствора, г/см³;

H — глубина залегания пласта;

α и β — коэффициенты запаса; при $H < 1200$ м $\alpha = 1,15 \div 1,20$, при $H > 1200$ м $\alpha = 1,05 \div 1,1$; $\beta = 1,2 - 2,3$.

Перепад давления на пласт ΔP должен быть больше потерь давления в затрубном пространстве и в призабойной зоне.

Принципиальное преимущество способов вскрытия, у которых продукты разрушения пород удаляют с помощью воды или воздуха, состоит в том, что процесс кольматации водонасыщенной породы практически отсутствует.

Бурение с продувкой воздухом не получило пока широкого промышленного применения из-за технологических особенностей этого способа бурения (необходимость разделения водоносных пластов, трудности борьбы с водопритоками при бурении, образование сальников из породы на буровом снаряде, трудности вскрытия песчаных водонасыщенных пластов на глубину более 10 м и т. д.). В устойчивых трещиноватых породах вскрытие пласта рекомендуется проводить водой. Но и в этом случае происходит засорение трещин частицами бурового шлама,

хотя для практических расчетов можно считать $\xi_2 \approx 0$. При наличии в разрезе пропластков глины или глинистых сланцев вода обогащается глинистым материалом, что также вредно сказывается на проницаемости пласта.

Вращательное бурение с промывкой водой с успехом используется в рыхлых неустойчивых породах (см. § 5).

Применение ПАВ для аэрации раствора в практике бурения скважин на воду впервые было осуществлено в 1966 г. (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969). С введением этих веществ в раствор снижается поверхностное натяжение на границе двух сред, а главное, уменьшается плотность промывочного раствора на 40—50%, что снижает противодавление раствора на пласт и его кольматацию. Наличие в аэрированном растворе мелких пузырьков воздуха приводит к закупорке последними поровых каналов, т. е. к созданию на стенках скважины как бы воздушной рубашки, что снижает противодавление раствора на пласт и уменьшает его кольматацию.

Гидростатическое давление столба аэрированной жидкости определяют по скорректированному уравнению Стронга (Филатов, Кошко, 1975):

$$0,1H\gamma - P = \frac{\chi}{100 - \chi} \ln(P + 1), \quad (76)$$

где H — глубина скважины, м;

γ — плотность негазированного раствора, г/см³;

P — гидростатическое давление столба газированного раствора, МПа;

χ — содержание газа в единице объема раствора на поверхности, %.

Среднее снижение плотности аэрированного раствора определяют по следующей формуле (Филатов, Кошко, 1975):

$$\Delta\gamma = \frac{23Q_v}{HQ_p} \ln(P + 1), \quad (77)$$

где Q_v и Q_p — соответственно объемный расход воздуха в нормальных условиях и в растворе, м³/мин.

При вскрытии слабонапорных пластов для предотвращения интенсивного поглощения раствора величину его плотности регулируют таким образом, чтобы перепад давления раствора на пласт не превышал 0,015—0,02 МПа. В этих условиях следует избегать гидродинамических давлений, возникающих при проработке ствола, быстром спуске колонн и др.

Свердловским горным институтом разработан смеситель эжекторного типа, который включается в нагнетательную линию. Регулировка подачи воздуха осуществляется краном, а также сменными насадками и втулками. Наиболее надежно смеситель работает на легких и качественных растворах: $\gamma = 1,08 \div 1,10$ г/см³, $T = 20 - 25$ с, $V < 30$ см³ за 30 минут, содержание песка около 4%. Смеситель применяют с предварительной обработкой раствора ПАВ и без нее.

Применение малоглинистых растворов основано на действии реагента КМЦ (1—2%), снижающего плотность раствора (0,9—1,05 г/см³) и содержание глины в нем до 4%.

По данным Т. П. Ставиновой, малоглинистые растворы увеличивают удельные дебиты в Ивановской геологоразведочной экспедиции в среднем на 20%, время на разглинизацию при этом снизилось с 2 до 0,25 ст/смен. Расход промывочной жидкости сократился с 0,5 до 0,014 м³ на 1 м проходки.

При бурении скважин на нефть и на газ получили широкое распространение специальные промывочные растворы на карбонатной основе (Ятров, 1968). Для бурения используют раствор следующего состава: мел молотый — 25% объема раствора; углещелочной реагент — 10%; жидкое стекло — 4% и поверхностно-активные вещества — 0,5% объема раствора.

Последние три компонента применяют для получения необходимых параметров раствора — стабильности и водоотдачи.

Используются также и глино-меловые растворы следующего состава: мел молотый — 15% объема раствора; глинопорошок бентонитовый — 5% и сода кальцинированная — 0,2% объема раствора.

Преимущество этих растворов состоит в том, что образуемая на стенках скважины корка легко разрушается при кислотной обработке. Вместе с этим наличие жидкого стекла и глинопорошка в растворах способствует их проникновению в глубь пласта, а следовательно, и его кольтатации. Поэтому в таких случаях необходимы весьма дорогостоящие и сложные работы по кислотной обработке пласта под давлением.

При каптаже неглубоко залегающих водоносных горизонтов, представленных рыхлыми породами, можно применять способы завинчивания фильтров, их задавли-

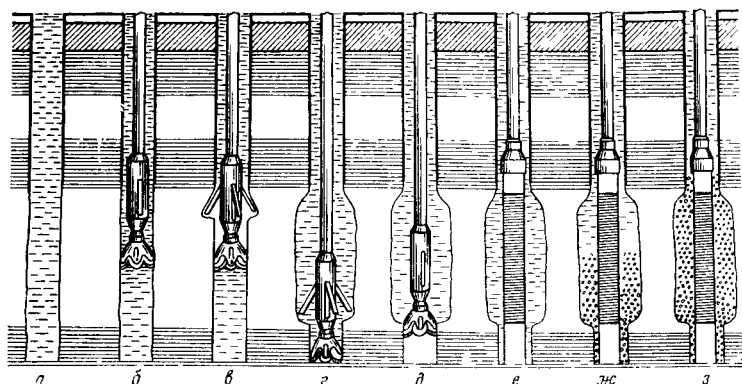


Рис. 51. Схема расширения скважины:

а — ствол скважины после окончания бурения; *б* — спуск расширителя, *в*, *г* — расширение; *д* — подъем расширителя; *е* — спуск фильтрового каркаса; *жс*, *з* — засыпка гравия.

вания и ударного погружения (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969).

Способы вскрытия пластов с призабойной циркулирующей промывочной жидкости имеют то преимущество, что позволяют снизить противодавление на пласт (Сулакшин, 1973). Их применение в определенных гидрогеологических условиях будет перспективно.

Пласт вскрывают не только глинистым или азрированным раствором, но и специальными растворами, которые самопроизвольно распадаются через определенное время.

Вращательный способ разрушения пород может использоваться в сочетании с ударным воздействием. Такую схему применяют в пневмоударниках и гидроударниках. В качестве агента по удалению продуктов разрушения горных пород с забоя могут быть вода, воздух и раствор.

Если скважина вскрыла пласт с низкими фильтрационными свойствами, то для получения более высоких дебитов применяют схему расширения призабойной зоны.

Для этой цели используют расширители механического типа. На рисунке 51 представлен такой расширитель конструкции Промбурвода. Расширители механического типа расширяют стенки скважины своими органами либо под воздействием перепада промывочной жидкости (конструкции Промбурвода), либо под дейст-

вием осевой нагрузки с опорой расширителя на забой (конструкции Союзшахтоосушения). Первая схема имеет то преимущество, что позволяет проводить последовательное расширение нескольких пластов за один рейс.

Известны и получили распространение расширители, основанные на гидромониторном воздействии струи воды. Для этого применяют насадки, опускаемые на трубах в зону пласта. Эффект гидродинамического воздействия затопленной струи на породу при этом резко снижается на расстоянии более $(8-5)d_n$, где d_n — диаметр насадки. При такой схеме, очевидно, нельзя ожидать глубокого вскрытия пласта.

Оригинальна и проста схема расширения, основанная на применении эксцентричного долота Промбурвода. Эффект разрушения стенок скважины при вращении этого долота в скважине усиливается под действием реактивной силы струи воды, истекающей из отверстия в направлении, противоположном расширению.

Расширение призабойной зоны позволяет не только удалить закольматированную породу, но и увеличить площадь фильтрации воды в скважину.

Процесс расширения эффективен лишь при использовании в качестве промывочного агента воды. Необходимым условием является устойчивость стенок скважины, поэтому в рыхлых водовмещающих породах перепад столба промывочной жидкости на пласт должен быть не менее 1,5—3,0 м. После расширения призабойной зоны в рыхлых породах скважину оборудуют гравийно-обсыпным фильтром.

Широко распространенный в довоенные годы способ ударного бурения не требует применения глинистого раствора. Однако и при этом способе уплотняются горные породы из-за работы ударных инструментов, что приводит к снижению проницаемости пласта.

До последнего времени считалось, что скважины ударного бурения по получаемым дебитам являются эталоном. Исследования, проведенные в рыхлых водовмещающих песках, показали, что безразмерный коэффициент сопротивления по характеру вскрытия пласта для скважин ударного бурения $\xi_2 = 12,3 \div 25,3$.

Ударный способ может проводиться по классической технологии, когда осуществляется одновременная или последующая посадка труб. В устойчивых породах обсадные трубы не применяют.

Ударным способом можно забивать фильтры в рыхлые породы на небольшую глубину

При ударном бурении водоприемную часть оборудуют с одновременной или последующей посадкой труб

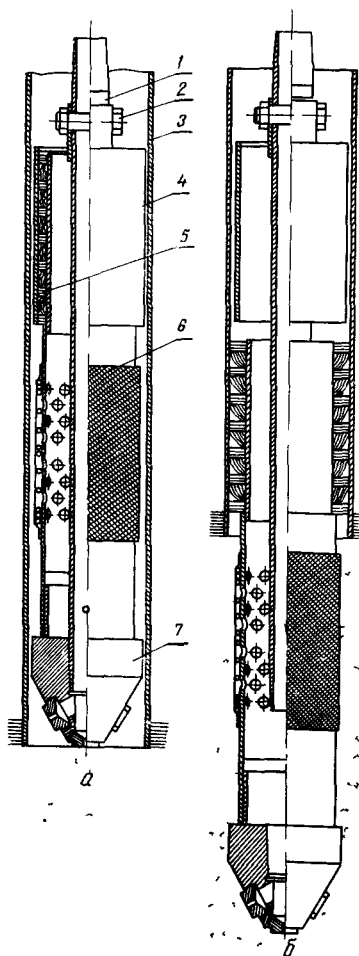


Рис 52 Фильтровый снаряд для установки размывом

a и *б* — положение снаряда до установки и после нее, 1 — буровые трубы, 2 — винт, 3 — обсадная труба, 4 — кожух, 5 — сальник, 6 — фильтр, 7 — гидромониторный накопитель

Гидравлический способ разрушения и удаления горных пород широко используется для сооружения бесфильтровых скважин, а также для посадки фильтров расходом (размывом). Этот способ позволяет удалить из призабойной зоны мелкие фракции песка, а это обеспечивает более высокую пористость пород в прифильтровой зоне и $\xi_2 < 0$.

Посадку фильтров размывом применяют в рыхлых водовмещающих породах при глубинах до 100—150 м. Вскрытие пласта осуществляют снарядом специальной конструкции (рис. 52). Снаряд состоит из сетчатого или проволочного фильтра и гидромониторной насадки с обратным клапаном. Буровые трубы крепятся к насадке левой резьбой. Под кожухом устанавливают самоуплотняющийся сальник, выполненный в виде брезентового рукава, закрепленного на трубе в верхней части. В нижней части сальника имеется плоская пружина, прижимающая сальник к внутренней поверхности обсадных труб.

Другая конструкция сальника (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969)

предусматривает его отлив в специальной форме. При откачке воды поток прижимает резиновую манжету к обсадной трубе и герметизирует межтрубное пространство. Свободный спуск снаряда внутри обсадных труб и вынос песка при посадке снаряда в пласт возможны за счет применения кожуха, в котором помещается сальник. После окончания посадки снаряда на проектную глубину промывку прекращают и через 15—20 минут левым вращением вывинчивают бурильные трубы из гидронасадки и извлекают их из скважины. Сальник при этом автоматически срабатывает.

Некоторая разновидность этого способа — посадка фильтра в пласт, когда в нижней части фильтра устанавливаются лопасти для расширения ствола скважины (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969), что позволяет разрушить зону кольматации.

Посадка фильтра с одновременной откачкой эрлифтом относится к тем способам, которые не основаны на применении глинистого раствора как агента для удаления продуктов разрушения горных пород.

Сущность этого способа заключается в том, что фильтр спускают в скважину с открытым нижним концом, внутрь фильтровой колонны опускают колонну воздушных труб (рис 53). Проведение откачки позволяет удалять водонасыщенный песок из-под фильтра, что способствует погружению фильтра в пласт. Данный способ применяют для посадки фильтров в рыхлые водонасыщенные пески.

На первом этапе посадки фильтра, когда водоприток малы, в фильтровую колонну по специальным трубам подают воду, иначе в фильтровой колонне образуются песчаные пробки, препятствующие удалению водонасыщенного песка и погружению фильтра.

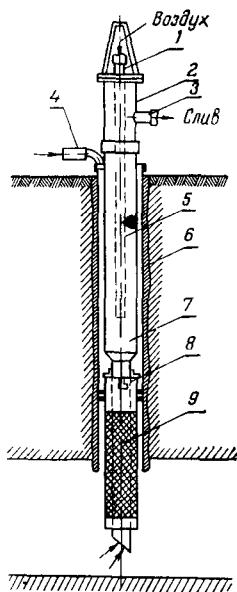


Рис 53 Схема установки фильтра эрлифтом

1 — шланг от компрессора, 2 — оголовок, 3 — па трубок, 4 — шланг от бурового насоса, 5 — воздушные трубы, 6 — обсадная колонна, 7 — водоподъемные трубы, 8 — надфильтровая труба, 9 — фильтр

После установки фильтра в его нижнюю часть засыпают гравий, чтобы исключить пескование скважины.

Закачка воды или раствора под высоким напором в пласт может вызвать образование трещин, т. е. гидравлический разрыв пласта; в этом случае значительно увеличивается дренирующая способность скважины. Чтобы трещины не сомкнулись после снятия противодавления на пласт, в них закачивается гранулированный материал. Растворы, применяемые для этой цели, могут быть обработаны поверхностно-активными веществами (Амиан, Уголев, 1970).

Физические и химические способы разрушения горных пород (взрывной, электроимпульсный, ультразвуковой и др.) пока не могут соперничать с механическими и поэтому не получили практического применения.

Все способы вскрытия пласта различаются тем, устанавливается ли фильтр в зоне пласта.

Таким образом, оценка способов вскрытия пласта показывает, что наиболее эффективными будут те, которые не требуют длительных и сложных работ по освоению пласта и обеспечивают минимальное снижение проницаемости призабойной зоны.

§ 3. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОСВОЕНИЯ (РАЗГЛИНИЗАЦИИ)

Выбор способа освоения определяется гидрогеологическими условиями, технологией буровых работ, конструкцией скважины, фильтра и другими факторами.

Освоение облегчается, если:

водоносный горизонт характеризуется высоким напором и представлен устойчивыми породами без пропластков глины, а также крупно- и среднезернистыми песками, гравием и галечником;

во время проходки водоносного горизонта не применяют глинистый раствор, пласт вскрывают водой или аэрированным раствором;

фильтр установлен в скважину сразу же по окончании бурения, а процесс освоения начинается немедленно после установки фильтра;

фильтр имеет максимально допустимую скважность; сохраняется достаточный зазор между стенками скважины и фильтром.

В общей проблеме освоения различают две задачи. освоение пласта и освоение фильтра. Очевидно, эффективным считается тот способ, который успешно решает обе задачи. Если в скважине фильтр не устанавливают, то освоение в общем случае облегчается.

Все способы по принципу действия делятся на шесть групп.

К I группе относятся способы, у которых разрушение продуктов кольтмации и удаление их из призабойной зоны осуществляются потоком воды. В этой группе промышленное применение получили промывка через рабочую поверхность фильтра и через башмак и обработка стенок скважины струей воды через насадки. Продукты кольтмации удаляются в восходящем потоке воды по затрубному пространству, а также по колонне труб.

Промывка скважины через рабочую поверхность фильтра. Сущность этого способа заключается в том, что вода через бурильные трубы нагнетается внутрь фильтра и через его рабочую поверхность поступает в зафильтрованное пространство. Такая промывка обеспечивает лучшую разглинизацию самого фильтра, главным образом его верхней части. Однако разглинизация стенок скважины происходит менее эффективно.

Чтобы избежать разлива воды через внутреннее сечение водоподъемной колонны, в верхней ее части устанавливают сальник.

Промывку заканчивают при полном поглощении или резком уменьшении количества промывочной жидкости, изливающейся на поверхность, а также при осветлении выходящей воды и интенсивном выносе песка на поверхность земли. Эти явления служат показателем окончания разглинизации водоносного горизонта.

Недостаток способа — способность раскольтмации лишь верхних интервалов фильтра и явно недостаточная раскольтмация пласта. Разновидностью этого способа является обработка сухим льдом.

Обработка сухим льдом. В США применяют способ восстановления дебитов с помощью сухого льда (твердая углекислота). Сухой лед вступает в реакцию с водой, что вызывает разрушение глинистой корки и продуктов кольтмации. После окончания обработки пласта скважину промывают. Во избежание преждевременного взаимодействия с водой сухой лед доставляют в зону пласта в специальных контейнерах.

Расход твердой углекислоты для скважин диаметром 150—200 мм составляет от 5 до 20 кг, но в среднем не более 1 кг на 10 м ствола скважины, так как при большем расходе может возникнуть замораживание воды. Данный способ не получил применения, его разрушающая способность невелика.

Затрубная (зафильтровая) промывка. Глинистый раствор и глинистую корку удаляют путем промывки затрубного пространства водой. Для этого в башмак фильтра ввинчивают на левой резьбе бурильные трубы, через которые подают воду. На эксплуатационной колонне закрепляют оголовок для отвода промывочной жидкости. Если фильтр устанавливают на эксплуатационной колонне, бурильные трубы в оголовке скважины закрепляют сальником. В этом случае скважину оборудуют кондуктором, который цементируется до устья.

После окончания промывки бурильные трубы правым вращением вывинчивают из башмака и извлекают из скважины, а отстойник фильтра во избежание пескования частично засыпают гравием. Иногда с этой целью в башмаке устанавливают обратный клапан. Затем проводят откачку из скважины с расходом, превышающим расход при промывке. При этом происходит дальнейшая разглинизация скважины, о чем свидетельствует увеличение дебита скважины, понижение динамического уровня и полное осветление воды.

Продолжительность откачки, при которой завершается разглинизация скважины и стабилизируется удельный дебит, зависит от степени глинизации стенок скважины при бурении, свойств водоносных пород и интенсивности прокачки.

В крупнозернистых песках разглинизация заканчивается за несколько часов или суток, в мелко- и среднезернистых — за 6—8 суток, а в ряде случаев и более.

Недостаток способа затрубной промывки — неполное удаление глинистой корки. Вода, выходя из-под башмака фильтра, поднимается не по всему зазору между стенкой скважины и фильтром, а по изолированным каналам, промытым в глинистой корке. Давление насоса и скорости восходящего потока недостаточны для того, чтобы полностью удалить глинистую корку и закольматированную породу. По осветлению воды судят о завершении разглинизации, хотя большая часть скважины в зоне фильтра остается неочищенной от глинистой корки.

По данным лабораторных работ И. Н. Бандырского, зафильтровая промывка при скорости потока воды 1 м/с и длительности промывки до 40 часов позволяла смыть корку только с 20—30% поверхности стенок скважины.

К недостаткам способа относится также и большой расход воды.

Промывка фильтра изнутри ершом. Часто этот способ выполняют с помощью так называемого гидравлического ерша.

Разглинизацию применяют для восстановления водоотдачи скважин, каптирующих водоносные пески. По характеру процесса разглинизации способ промывки фильтра изнутри ершом близок к промывке скважин через рабочую часть фильтра.

Гидравлический ерш позволяет сконцентрировать промывочную воду на ограниченном участке фильтра, что повышает эффективность его действия. Гидравлический ерш представляет собой отрезок перфорированной трубы длиной 0,8—1,0 м, имеющий сверху и снизу резиновые манжеты по внутреннему диаметру фильтра. В скважину его опускают на трубах, по которым подается вода. В процессе разглинизации ерш перемещается по длине фильтра.

В некоторых случаях, например при отсутствии воды для промывки, ерш используют для очистки фильтра сжатым воздухом.

Применение гидравлического ерша позволяет более качественно осуществлять очистку фильтра, однако, так же как и при промывке через рабочую поверхность фильтра, разглинизация водоносного горизонта малоэффективна. Более эффективна очистка внутренней поверхности фильтра путем промывки водой через гидронасадки (рис. 54).

К II группе относятся способы освоения, основанные на разрушении и удалении продуктов коагуляции путем снижения противодавления столба промывочного раствора на пласт. Снижение уровня столба промывочного раствора может быть выполнено путем использования различных насосов (центробежных и др.), эрлифтных водоподъемников, а также относительно малопроизводительных средств желонирования и свабирования.

Прокачка насосом и эрлифтом. Этот способ обычно применяют при разглинизации напорных водоносных го-

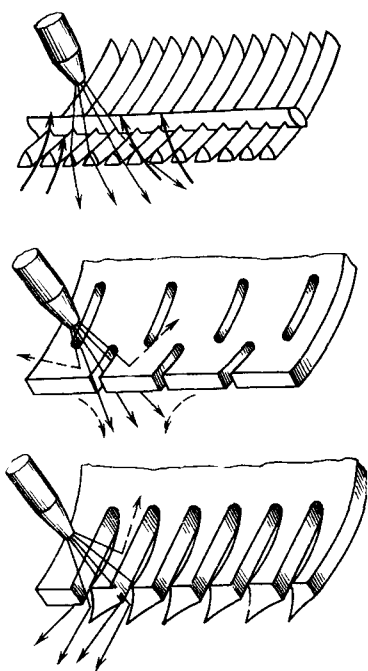


Рис. 54. Схема промывки фильтров из гидронасадки.

снижает величину репрессии (возбуждения) на пласт и ведет к загрязнению рабочей поверхности фильтра. Эффективность данного способа, особенно в сетчатых, блочных, проволочных и других фильтрах больших сопротивлений, мала; принципиально не отличается от описанного способа откачки эрлифтом, штанговым насосом и др.

Свабирование и желонирование. Этот способ обычно применяют для разглинизации слабонапорных горизонтов и проводят путем периодического перемещения вверх и вниз поршня-сваба внутри эксплуатационной колонны. Сваб представляет собой металлический диск, диаметр которого несколько меньше диаметра (внутреннего) труб с резиновым клапаном. При ходе сваба вверх давление в трубах под свабом снижается и из прифильтровой зоны засасывается глинистый раствор и со стенок скважины обрушивается глинистая корка. При ходе сваба вниз клапан открывается и глинистый раствор проходит в про-

ризонтов. Перед прокачкой скважину промывают водой. Если водоносный горизонт представлен твердыми трещиноватыми породами или галечниками, прокачку ведут с максимальной производительностью, обеспечивающей максимальный перепад давления.

Для повышения эффективности периодически останавливают прокачку, т. е. создают так называемые гидравлические удары в зоне фильтра.

Разглинизацию ведут до осветления выходящей воды и прекращения выноса песка.

Недостатком этого способа является удаление продуктов кольматации через рабочую поверхность фильтра, что

странство над свабом. Сваб спускают в скважину на бурильных трубах, ход его достигает нескольких десятков метров. Сваб обычно не опускают ниже верхнего обреза рабочей части фильтра. Свабирование продолжают до тех пор, пока в скважине не установится относительно стабильный уровень воды, не меняющийся значительное время.

К недостаткам этого способа относятся: кольматация фильтра глинистым раствором; опасность разрыва сетки в сетчатых фильтрах и большая продолжительность работ.

Разглинизация обратновсасывающей промывкой через окна. Этот способ был предложен и успешно внедрен в практику В. И. Блажковым. В нижней части фильтра имеются так называемые промывочные окна (см. рис. 10). Разглинизацию начинают с проведения откачки. Чаще всего для этого используют эрлифт, желонирование менее предпочтительно из-за более низкой производительности. В случае применения эрлифта в начальный период откачки, когда водопритоки малы, в скважину по специальной колонне труб подают воду.

В начале откачки на урезе промывочных окон создается перепад давления, вызывающий обрушение стенок скважины, сложенных рыхлыми водовмещающими породами. Обрушенная порода перемещается вниз вдоль фильтра и удаляется вместе с глинистым раствором через внутреннее сечение фильтра.

Чтобы глинистый раствор не поступал из верхних участков ствола скважины в зону пласта, над фильтром в верхнем nipple устанавливают эластичный пакер, изготавливаемый из брезента, внутрь пакета заливают 10—15 л тяжелого глинистого раствора.

Процесс разглинизации занимает 2—3 часа. За это время из зоны пласта извлекается до 1—2 м³ заглинизированной породы. Большим преимуществом этого способа является возможность достаточно полного удаления из зоны пласта не только находящегося в затрубном пространстве глинистого раствора, но и заглинизированной породы. Данный способ хорошо зарекомендовал себя при разглинизации водонасыщенных песков различной зернистости и с разными напорами. После окончания процесса разглинизации окна перекрывают кольцом, устанавливаемым снаружи или внутри фильтровой колонны. Кольцо в начальном положении закреплено на фильтро-

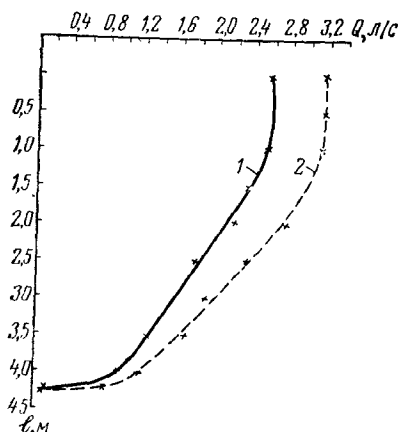


Рис. 55. Схема загрузки фильтров по длине:
1 и 2 — до применения гидронасадки и после нее.

вой колонне с помощью дюралюминиевых или медных заклепок, срез заклепок и перекрытие промывочных окон осуществляются ударом колонны воздушных труб по перемычке кольца.

Данный способ эффективен для разглинизации фильтров небольшой длины — до 4—6 м, в случае разглинизации более длинных фильтров происходит заземление заглинизированного экрана вдоль верхней части фильтра, и водопритоки в этой зоне снижаются (рис. 55).

При спуске фильтра с закрытой нижней пробкой происходит интенсивная циркуляция раствора внутри фильтра, что снижает его проницаемость и затрудняет процесс освоения скважины.

В. И. Блажков предложил устанавливать внутри колонны труб над фильтром цементную пробку. При спуске фильтра с открытыми окнами глинистый раствор поступает в фильтр главным образом через эти отверстия и в меньшей степени через фильтрующую поверхность. В верхнем ниппеле фильтра устанавливают цементную пробку, что ограничивает количество поступающего раствора внутрь фильтра и снижает динамическую глинизацию фильтра. В дальнейшем цементная пробка разбивается буровым инструментом или колонной воздушных труб и падает в отстойник, не препятствуя процессу разглинизации.

Проницаемость фильтра можно сохранить, если фильтр покрыть специальной пастой (ПАВ, графит и др.), которая в дальнейшем растворяется в воде. В этом отношении интересны исследования Ю. С. Федорова и др. (Северокавказское геологическое управление). Время распада пасты регулируется количеством и качеством ингредиентов. На защиту сетчатого фильтра диаметром 127 мм и длиной 10 м требуется 33 кг пасты.

Комбинированный способ разглинизации. Главная причина низкой эффективности многих способов освоения заключается в том, что каждый из них направлен на решение какой-то одной задачи: либо разглинизации стенок скважины, либо очистки фильтра.

Необходимо, чтобы процесс освоения был комплексным и включал операции по восстановлению проницаемости скважины и фильтра. Этим требованиям отвечает комбинированный способ разглинизации.

К профилактическим мерам, которые должны обеспечить минимальную кольматацию водоносного пласта и фильтра во время проходки и оборудования скважины фильтром, относится использование для вскрытия азрированных растворов, обработанных ПАВ. Это позволяет снизить плотность промывочного раствора и противодавление на пласт, а также кольматацию пласта и фильтра за счет закупорки отверстий и поровых каналов пласта и фильтра пузырьками воздуха.

К профилактическим мероприятиям относится также и сокращение времени контакта глинистого раствора с водоносным пластом и фильтром. Это достигается исключением простоев и выполнением всех операций в сжатые сроки.

Внутри колонны над фильтром может быть установлена цементная пробка.

Процесс разглинизации проводят путем обратновсасывающей промывки через окна.

Исследования показали, что обратновсасывающая промывка через окна недостаточно полно позволяет очистить от глинистых частиц фильтр, особенно сетчатого типа, с внутренней стороны. Это подтверждает анализ работы фильтров, проведенной методом расходомерии в различных гидрогеологических условиях. Поэтому для улучшения качества разглинизации целесообразно после пробной откачки промыть фильтр чистой водой с помощью бурового насоса.

Для этой цели можно использовать гидравлический ерш или гидронасадки (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969).

Промывка фильтра водой изнутри увеличивает дебиты на 20—40%.

Для очистки фильтров можно использовать взрыв торпеды ТДШ, однако этот способ нередко приводит к прорыву сеток фильтра (Ловля, 1971).

Характеристика способов разглинизации

Операции	Комбинированный способ разглинизации, ст/смен	Затрубная промывка через башмак фильтра, ст/смен
Подготовка и ликвидация работ по разглинизации	1,2	1,2
Профилактические мероприятия	1,3	1,0
Разглинизация: пласта	1,0	14
фильтра	0,6	—
Итого	4,1	16,2

Средние затраты времени на разглинизацию комбинированным способом и затрубной (зафильтровой) промывкой через башмак фильтра приведены в таблице 25.

Таким образом, на разглинизацию одной скважины глубиной около 100 м экономится около 4 ст/смен, или около 720 руб. В целом по стране замена затрубной разглинизации комбинированным способом только за счет сокращения времени на разглинизацию позволит сэкономить более 8,6 млн. руб. в год. Если принять, что дебиты скважин возрастут в 2—2,5 раза, то это мероприятие по стране позволит дополнительно получить около 850 млн. м³ воды в год и сократить много скважин, которые в настоящее время проектируют и бурят для целей водоснабжения, обводнения пастбищ, дренажа и т. д. Комбинированный способ разглинизации разработан Д. Н. Башкатовым, Ю. А. Олоновским, В. И. Блажковым и Е. Н. Дрягалиным.

III группу составляют способы, позволяющие с помощью механических расширителей, эксцентричных долот, обработкой стенок скважины струей потока жидкости через насадки разрушить зону кольматации пласта. Данные способы являются не только способами освоения, но и одновременно способами вскрытия пласта и были рассмотрены в § 2 настоящей главы.

IV группу составляет способ закачки воды в пласт, в результате которой нарушаются связи продуктов кольматации с водовмещающей породой и продукты кольматации перемещаются в глубь пласта, освобождая тем самым призабойную зону.

Перспективно исследовать режим динамического нагнетания воды в пласт, так как это с большим эффектом должно обеспечить разрушение продуктов коагуляции и их удаление из призабойной зоны.

Этот способ пока не получил промышленного применения, однако исследования в этом направлении ведутся.

В V группу входят способы, основанные на гидродинамическом воздействии на пласт. Здесь, помимо хорошо известных гидродинамических способов, широко представлены и так называемые физические (взрыв, электроимпульс, ультразвук и др.).

Гидравлический удар. При ударе по поверхности воды, заполняющей фильтровую колонну, мгновенное давление распределяется во все стороны одинаково. Под действием давления рабочая поверхность фильтра очищается от глинистых частиц, которые при последующей откачке выносятся на поверхность. Удар по поверхности воды обычно производится желонкой, заполненной металлическими предметами. Масса желонки 1,0—1,5 т, высота подъема 4—5 м. Гидравлический удар способствует очистке фильтра. В то же время глинистые частицы, коагулирующие водоносный горизонт, под действием удара могут уплотняться и снижать проницаемость водовмещающих пород.

Способ прост и широко применяется в США, в нашей стране не получил распространения.

Гидравлический удар может быть создан также при резкой остановке насоса, эрлифта. Эта технология откачки широко используется в практике работ.

Освоение с помощью струйных аппаратов. В трестах «Промбурвод» и «Востокбурвод» разработан и успешно внедряется способ освоения, основанный на применении гидроэлеватора.

Преимущества этого способа заключаются в следующем:

создаются большие гидродинамические перепады давления на пласт, что способствует его достаточно полному восстановлению;

не требуется дополнительного применения компрессоров, воздушных труб или специальных насосов;

освоение пласта проводится в сжатые сроки, причем процесс откачки начинается и является продолжением процесса освоения.

Недостаток этого способа процес освоения пласта ведется через фильтр, что при использовании сетчатых и других фильтров больших сопротивлений может не дать достаточного эффекта.

Для откачки воды применяют бесклапанный однолинейный струйный аппарат. В качестве нагнетательной линии используют бурильные трубы. Если рабочий расход воды Q_1 и полезный Q_2 , то суммарный расход в водоподъемных трубах $Q_0 = Q_1 + Q_2$. Подъем ведется в обсадной колонне без специальных водоподъемных колонн. Между струйным аппаратом и внутренними стенками обсадной колонны усганавливают резиновый пакер, который срабатывает автоматически под действием потока воды, закачиваемой по бурильным трубам

Томским политехническим институтом созданы эжекторные насосы типа НЭ.

Краткая техническая характеристика эжекторных насосов типа НЭ

Марка	НЭ 8 12	НЭ-4-6
Рабочий напор приводного насоса, м	500	400
Рабочий расход приводного насоса, м ³ /ч	18	10,8
Подача эжекторного насоса при высоте подъема воды 15 м	90	45
25 м	64,8	32,4
50 м	43,2	22,7
75 м	28,8	14,8
100 м	18	11,2
Масса, кг	100	30

Экономический эффект от применения по одной скважине составляет около 1,5 тыс. руб.

Во ВИЭСХ разработаны струйные аппараты диаметром 135 и 185 мм. Это позволяет устанавливать их в обсадных трубах диаметром 168 и 219 мм. При подаче воды 4,5 л/с, давлении насоса 3 МПа и динамическом уровне от 25 до 100 м производительность струйных аппаратов колеблется от 3,0 до 9,5 л/с. Диаметр сопла 9,0 мм, втулок 25, 20 и 18 мм.

Откачки с помощью струйных аппаратов позволяют поднимать воду с содержанием твердых частиц (диаметром до 5—6 мм) до 30% по массе.

С. Л. Драхлисом и В. В. Верстовым проведены исследования гидродинамических процессов, возникающих при работе струйных аппаратов (рис. 56).

Работа поршневого насоса характеризуется неравномерностью количества нагнетаемой жидкости, а это приводит к пульсации давления в зоне струйного аппарата и в призабойной зоне (рис 57, 58) Увеличение пульсаций положительно сказывается на гидродинамическом давлении и способствует более эффективному освоению

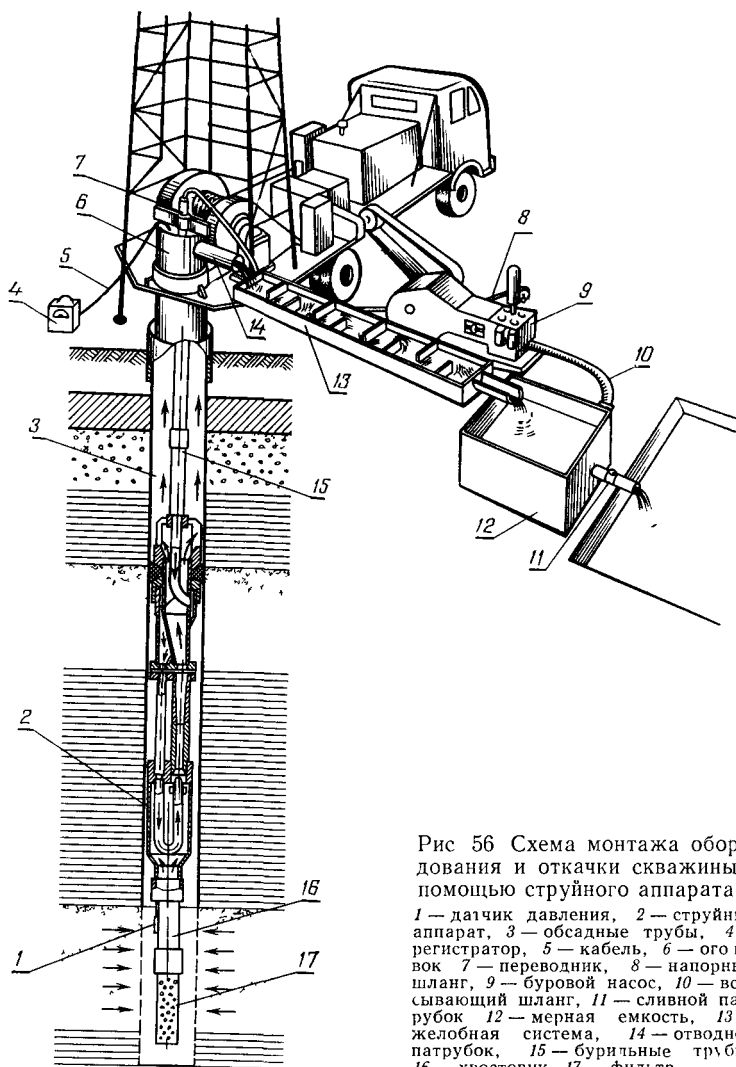


Рис 56 Схема монтажа оборудования и откачки скважины с помощью струйного аппарата

1 — датчик давления, 2 — струйный аппарат, 3 — обсадные трубы, 4 — регистратор, 5 — кабель, 6 — оголовок 7 — переводник, 8 — напорный шланг, 9 — буровой насос, 10 — всасывающий шланг, 11 — сливной патрубок 12 — мерная емкость, 13 — желобная система, 14 — отводной патрубок, 15 — бурительные трубы, 16 — хвостовик 17 — фильтр

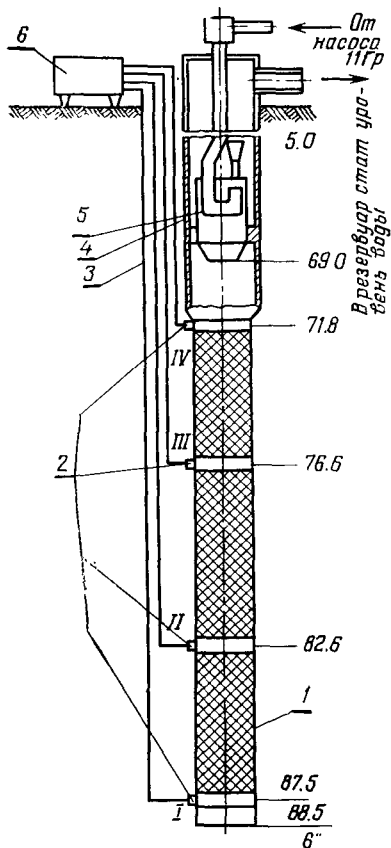


Рис. 57. Схема монтажа в опытной скважине датчиков давления и струйного аппарата:

1 — фильтровая колонна; 2 — датчики давления воды (I, II, III, IV); 3 — измерительный кабель; 4 — эксплуатационная колонна; 5 — струйный аппарат; 6 — регистратор.

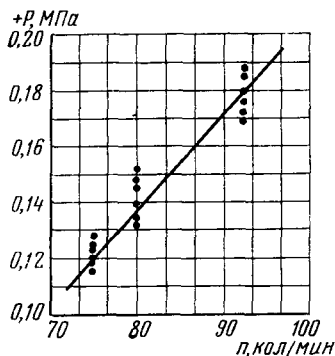


Рис. 58. Кривые изменения гидродинамического давления в фильтровой зоне скважины при числе двойных ходов бурового насоса в минуту.

пласта. Исследования показали, что гидродинамическое давление по длине фильтра распространяется практически мгновенно. При резкой остановке бурового насоса происходит распакеровка струйного аппарата и в призабойной зоне возникает гидравлический удар, сопровождающийся значительным повышением гидродинамического давления (до двух раз и более). Чем ниже

статический уровень, тем выше гидродинамическое давление. Наиболее эффективно освоение пласта происходит в динамическом режиме бурового насоса. При этом значительно увеличивается вынос бурового шлама и породы пласта. С. Л. Драглис и В. В. Верстов рекомендуют начинать освоение при 60—70 двойных ходах поршневого насоса в минуту, постепенно число двойных ходов

возрастает до 90—100, причем процесс сочетается с гидроударной обработкой. Гидродинамический режим откачки и создание гидравлических ударов в зоне пласта способствуют разрушению связей между глинистым раствором и породой, что облегчает условия удаления продуктов глинизации. На рисунке 59 изображена зависимость изменения дебита в процессе освоения пласта. Гидроударный режим работы струйного аппарата обеспечивает наибольшую эффективность. Данный способ успешно спробирован на многих скважинах, в разнообразных гидрогеологических условиях и отличается более высокими показателями, чем другие известные способы освоения.

Взрыв заряда или торпеды детонирующего шнура (ТДШ). Характерная особенность взрыва—высокая скорость распространения превращения вещества ВВ (скорость детонации), равная 4000—9000 м/с (Ловля, 1971).

Взрыв сопровождается ударной волной, характеризующейся изменением давления, температуры и плотности среды от P_f , T_f и γ_f до начальных параметров P_0 , T_0 и γ_0 и ниже. Ударная волна по фронту своего движения приводит к повышению давления. Давление за фронтом быстро падает.

В момент взрыва в результате химической реакции образуются газовые продукты, которые начинают действовать на прилегающую к заряду жидкость. Волна сжатия распространяется со скоростью звука в сжатой жидкости. Образовавшийся газовый пузырь вызывает смещение окружающей жидкости. Таким образом, от источника взрыва в сторону пласта распространяется так называемый газовый пузырь (рис. 60).

Применение этого способа для освоения основано на следующем. В момент взрыва в жидкости распространяется ударная волна, главным образом в радиальном направлении. Поскольку давление по фронту волны быстро падает по мере удаления от заряда, то действие ударной волны по оси скважины можно не принимать во внимание. Давление ударной волны в момент подхода к стенкам фильтра может достигать 100 МПа. Благодаря кратковременности действия ударная волна при определенной величине заряда не разрушает каркас фильтра, а только выбивает кольматирующие его частицы. Воздействия ударной волны на стенки фильтра — первая фаза процесса освоения.

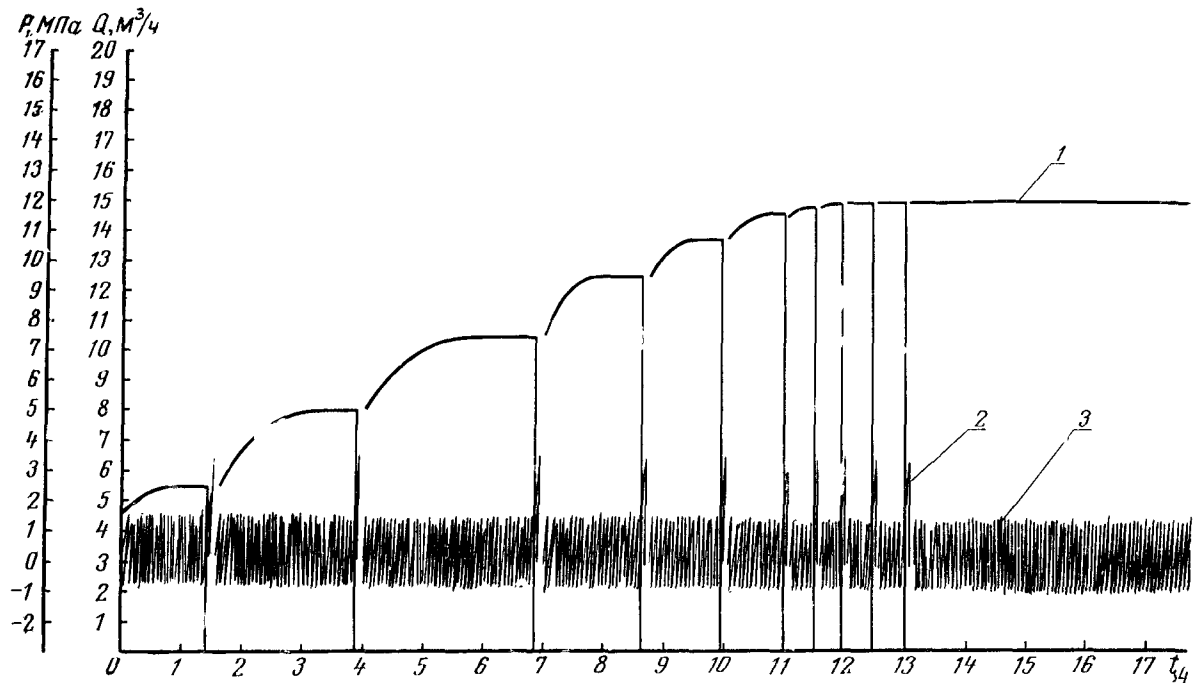


Рис. 59. График освоения скважины с применением струйных аппаратов и гидроимпульсной обработки:

1 — производительность скважины; 2 — гидродинамическое давление при гидравлическом ударе; 3 — гидродинамическое давление при работе поршневого насоса.

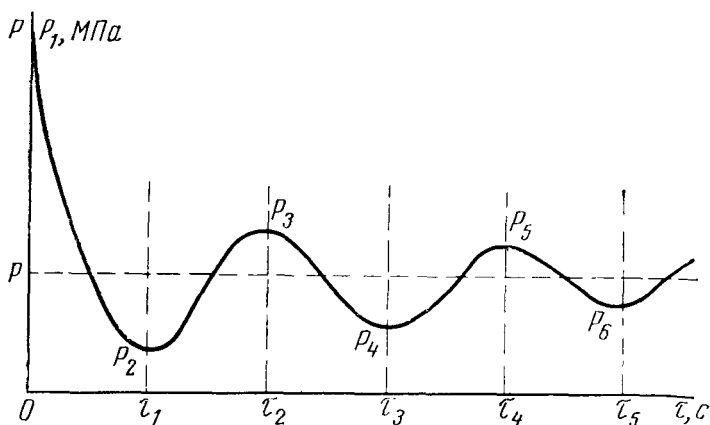


Рис. 60. График пульсации газового пузыря при взрыве.

Вторая фаза заключается в удалении разрушенных частиц из отверстий фильтра в результате пульсации образовавшегося при взрыве газового пузыря.

Для проведения взрыва чаще всего используют торпеду из детонирующего шнура ТДШ, состоящую из заряда из 2—3 ниток детонирующего шнура в водостойкой оболочке ДШ-В, содержащего от 12 до 13,5 г взрывчатого вещества на 1 м; электродетонатора (ЭД-8, ЭД-С) для подрыва заряда торпеды; приспособления для крепления шнура и центрирования торпеды в зоне фильтра и кабельной головки для крепления торпеды к кабелю.

Длина торпеды должна соответствовать длине фильтра. Мощность торпеды (число ниток шнура) подбирают в зависимости от конструкций фильтра и других конкретных условий.

Недостаток способа состоит в том, что он не обеспечивает удаления глинистой корки из зоны фильтра и в определенной степени приводит к уплотнению глинистого материала в пласте. Этот способ требует обязательной промывки или прокачки скважины для удаления продуктов кольматации из пласта.

Наличие фильтра или какой-либо другой преграды существенно снижает эффективность воздействия взрыва на породы. Внутри фильтра или обсадной трубы могут возникнуть опасные напряжения и их разрыв за счет эффекта отражения от внутренних стенок трубы.

В устойчивых водовмещающих породах можно применять взрывы фугасных торпед и больших зарядов ВВ. Для предохранения и защиты элементов конструкции скважины над зарядом ВВ может устанавливаться цементный мост. После взрыва цементный мост и участок, где был проведен взрыв, разбуривают и промывают.

Подбор величины зарядов и числа возможных торпедирований проводят согласно данным таблицы 26.

Т а б л и ц а 26

Величина зарядов и число возможных торпедирований

Фильтр		Диаметр проволоки, мм	Водовмещающие породы	Число ниток детонирующего шнура на ТДШ-25	Число взрывов
материал	диаметр, мм				
Все виды металлических сеток	100—170	—	Пески мелко-, средне- и крупнозернистые	1	1
Проволочный на стержневом каркасе	200	—	То же	1	1
	100—170	До 2	Пески средне- и крупнозернистые	1	1
Проволочный на перфорированной трубе	100—170	Более 2	То же	1	1—2
		До 2	Пески средне- и крупнозернистые	1	1
	Более 200	Более 2	То же	1—2	1—2
		До 2	» »	1—2	1—2
Перфорированная труба	100—170	2—3	» »	2	1—2
		Более 3	» »	3	1
		—	Гравийно-галечниковые отложения, скальные породы	2—3	1
	Более 200	—	То же	3—5	1—2

При взрыве торпеды детонирующего шнура в фильтрах капсуль-детонатор следует устанавливать в обсадной колонне выше верхнего края фильтра во избежание повреждения последнего.

В практике работ широко используются торпеды детонирующего шнура марок ТДШ-50, ДТШ-25 и ТДШ-В с максимальным наружным диаметром 50, 25 и 60 мм.

Способ пневмовзрыва. Этот способ предложен В. Г. Склянским. Его сущность заключается в периодическом использовании эффекта мгновенного преобразования энергии сжатого воздуха при его резком расширении. При этом возникает ударная волна, действующая на фильтр и породу пласта. Ударная волна воздействует на зону кольматации и частично или полностью ее разрушает. Силу пневмовзрыва и его частоту можно регулировать.

Сжатый воздух от компрессора под давлением 10—20 МПа по шлангу высокого давления или специальным трубам подается к пневмоснаряду.

Специальный снаряд для пневматического прострела разработан Раменским отделением института ВНИИгеофизика, снаряд прошел предварительные испытания и может быть оценен как весьма перспективный.

Электроразрывной способ. Сущность способа состоит в разряде высоких напряжений, подаваемых на электрод, через горную породу, в результате чего горная порода разрушается. Продукты разрушения удаляют раствором или воздушным потоком.

В Томском политехническом институте ведутся работы по использованию этого способа для разрушения горных пород при бурении, дроблении монолитов и др. Способ может быть использован для разрушения и отделения продуктов кольматации от породы пласта и фильтра.

Электрогидравлический способ. В зону пласта опускается снаряд специальной конструкции. Между электродами этого снаряда возникает электрический пробой, а в промывочной жидкости волны высокого гидродинамического давления, что способствует разрушению зоны кольматации. Этот способ недостаточно разработан и не получил пока промышленного применения. В этом направлении ведутся исследования.

Новочеркасским политехническим институтом создана специальная электрогидроударная установка, смонтированная на автомашине типа ЗИЛ и имеющая автономное энергоснабжение. Энергия от импульсного конденсатора, расположенного в кузове автомашины, по коаксиальному кабелю подается в разрядное устройство, помещаемое в зоне пласта. Номинальное разрядное напряжение 60 кВ. В результате вокруг разрядного устройства возникают ударные волны и импульсные потоки жидкости, что приводит к разрушению закольматирован-

ных осадков. Установка прошла испытания в тресте «КМАруда» и, по имеющимся сведениям, позволяла декольматировать 1 м фильтра за 5—8 минут.

Декольматация осуществляется способом многократного воздействия на фильтр и пласт ударных волн, параметры которых регулируются. Последнее обстоятельство весьма важно, так как позволяет избежать разрушения фильтров.

Освоение ультразвуком. Способ основан на свойстве жидкости подвергаться периодическому сжатию и растяжению при прохождении через нее ультразвуковых колебаний. Жидкость не выдерживает напряжения и рвется, образуя пустой пузырек-каверну. В этот пузырек всасываются газы, растворенные в жидкости, и ее пары, затем пузырек быстро захлопывается. В момент захлопывания пузырька образуется ударная волна, и давление вблизи пузырька достигает десятков единиц мегапаскалей. Облако таких пузырьков на границе металлической поверхности фильтра и кольматирующих ее глинистых частиц разрушает силы сцепления между последними, отрывая их друг от друга. Источником ультразвуковых колебаний может быть ультразвуковой генератор типа УЗГ-25, краткая техническая характеристика которого приведена ниже:

потребляемая мощность	7,5 кВт
выходная мощность	2,5 кВт
частота электромагнитных колебаний	17—25 кГц
питание от сети	380 В
частота сети	50 Гц

Преобразование колебаний генератора в механическую энергию производится магнитоотриктором, который опускают в скважину на двухжильном кабеле.

Во время обработки магнитоотриктор медленно перемещается по стволу скважины в зоне фильтра.

В процессе работы ведется откачка воды эрлифтом.

Этот способ в опытно-варианте применяли для очистки фильтра от глинистых частиц после разглинизации зоны фильтра через промывочные окна. Способ освоения ультразвуком не получил промышленного применения.

Таким образом, физические способы разрушения продуктов кольматации (ультразвук, электрогидравлический и электроимпульсный эффекты) пока не получили промышленного применения, что объясняется на данном этапе их развития более низкой эффективностью, а также

сложностью и дороговизной применяемого оборудования и аппаратуры.

Применение эффекта вибрации. Сущность способа заключается в том, что в зону пласта опускают вибратор того или иного типа. Вибрация передается на жидкость и далее на фильтр и пласт. Во ВНИИгидромеханизации сантехнических и специальных строительных работ создан самоходный агрегат АВО-1 для вибрационной разглинизации скважин. Данный способ пока применяется в опытном порядке.

Способ создания глубокого вакуума (имплозии). Этот способ предложен Ю. Д. Качмаром и Я. Н. Калининском. Его сущность заключается в том, что в скважину в зону фильтра опускают стеклянный или какой-либо другой сосуд с выкачанным воздухом. Сосуд разбивают или с помощью специального устройства открывают доступ в него. В зоне пласта возникает перепад давления. Пластовая вода вместе с продуктами кольтматации устремляется в ствол скважины, и тем самым восстанавливается проницаемость пласта. Этот способ также требует последующего удаления продуктов кольтматации с помощью откачки или промывки; практически не разработан и не получил промышленного применения.

Гидравлический разрыв пласта. Этот способ широко используется в нефтяной промышленности. В практике бурения скважин на воду не получил распространения, хотя для глубоких скважин и в соответствующих гидрогеологических условиях его использование может оказаться весьма эффективным.

В VI группу входят способы, основанные на обработке призабойной зоны кислотой, специальными химическими веществами, способствующими либо распаду раствора, либо растворению продуктов кольтматации и водомещающих пород.

Коагуляция промывочного раствора. Может быть применен раствор, который самопроизвольно коагулирует в пласте через какой-то отрезок времени. Такие растворы пока не получили распространения.

Освоение скважин, пройденных с использованием глинистого раствора, может быть достигнуто применением специальных коагуляторов глинистого раствора, например поликриламида, сернокислого алюминия Al_2SO_4 и др. При этом важно обеспечить активную связь коагулятора с глинистым раствором. Зафильтровывая промывка,

очевидно, не создает условий для глубокого проникновения в пласт коагулятора и эффективного его распада. Более перспективным представляется схема нагнетания коагулятора в пласт. В этом направлении целесообразно проведение экспериментальных работ.

За рубежом применяют специальные промывочные растворы, которые самостоятельно коагулируют в воде. Однако каких-либо сравнительных данных, подтверждающих их эффективность, пока не имеется.

Обработка пласта соляной и плавиковой кислотами.

Данный способ основан на способности соляной кислоты растворять карбонатные породы. В. А. Амиян и В. С. Уголев (1970) считают, что кислота, воздействуя на карбонатную среду, значительно увеличивает проницаемость пласта, часто намного превышающую естественную.

В пористом коллекторе, где трещиноватость имеет подчиненное значение, формируется сеть каналов растворения. Чем больше число и глубина этих каналов, тем выше их дренирующее действие.

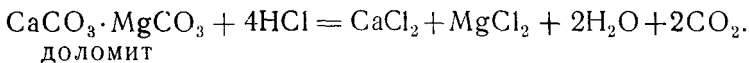
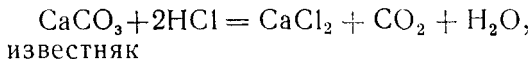
В трещиноватых коллекторах кислота очищает поверхность трещин и расширяет их. В ряде случаев могут возникнуть новые трещины. Если при кислотной обработке трещины достигнут протяженности до 15—30 м от скважины, то продуктивность скважины возрастает в 10—15 раз и более.

В песчано-карбонатных коллекторах эффективность солянокислотных обработок ниже.

Солянокислотные обработки пласта обычно применяют для восстановления дебитов скважин, которые понизились в процессе эксплуатации.

В работах В. А. Амияна, В. С. Уголева (1970), Г. Т. Овнатанова (1970) дано описание проведения солянокислотных обработок.

Соляная кислота растворяет карбонатные породы, реакция имеет следующий вид:



Различают два вида кислотных обработок: кислотные ванны и кислотные обработки под давлением.

Кислотные обработки под давлением более эффективны, так как позволяют вызвать глубокие процессы взаимодействия кислоты с породой. В результате выделения углекислого газа давление в зоне пласта увеличивается и способствует более глубокому проникновению глино-кислоты в пласт. При этом верхнюю часть эксплуатационной колонны оборудуют герметичным оголовком с манометром. Для принудительной закачки кислоты применяют компрессоры.

Согласно ГОСТ 857—57, состав соляной кислоты (в %) должен удовлетворять следующим требованиям:

концентрация	не менее 31,0
содержание железа	не более 0,02
содержание серной кислоты	не более 0,005

На практике обычно применяют соляную кислоту концентрацией 10—20%. Чтобы снизить коррозионное воздействие соляной кислоты на металл, в нее вводят ингибиторы катапин А, К, ПБ-5 и др. Солянокислотные растворы в нефтяной промышленности обрабатываются ПАВ типа ОП-7, ОП-10, уксусной кислотой и т. д. Эта замедляет скорости реакции кислоты с породой и позволяет вытеснить кислоту в пласт при более низких давлениях и небольших скоростях, что увеличивает зону обработки пласта. Введение таких добавок способствует лучшему контакту породы с кислотой за счет более интенсивного разрушения и оттеснения с поверхности гидрофобной пленки (Амиян, Уголев, 1970; Овнатафов, 1970).

В нефтяной промышленности для этих целей применяют двуокись углерода в жидком состоянии, азот, аэрированные соляные кислоты, изменение температуры закачиваемой кислоты с помощью сухого льда и т. п.

При солянокислотных обработках кальциевые и магниевые соли при определенных условиях вторично могут выпадать в осадок. Это исключается при использовании сульфаминовой кислоты.

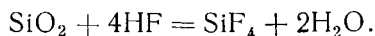
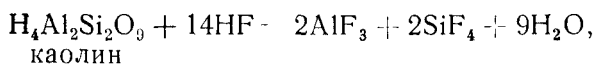
Интересные исследования проводятся по введению в солянокислотный раствор набухающих полимерных материалов, которые выполняют функции расклинивающего каркаса в трещинах (Амиян, Уголев, 1970).

Основной компонент глино-кислоты — соляная (хлористоводородная) и плавиковая (фтористоводородная) кислоты. Соляная кислота, входящая в состав глино-кислоты, предназначена для растворения карбонатных ма-

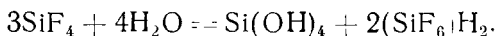
териалов, содержащихся в породах водоносного горизонта и в глинистой корке. Плавиковая кислота растворяет глинистые частицы. Процентное содержание указанных кислот зависит в основном от минерального состава пород.

Для предупреждения коррозии фильтров в состав кислотной смеси вводят антикоррозионные добавки-ингибиторы.

Характер реакции растворения горных пород глино-кислотой весьма сложен, в общем виде он может быть выражен следующими химическими уравнениями:



Реакция взаимодействия каолина и кварца с плавиковой кислотой происходит достаточно быстро. Фтористый кремний SiF_4 вступает в реакцию с водой кислотного раствора:



Эта реакция протекает медленно.

Для приготовления глинокислоты применяют:

соляную кислоту техническую концентрацией не менее 27,5%, серную кислоту — не более 0,4, железо — не более 0,03%;

плавиковую кислоту техническую с содержанием хлористого водорода не менее 40%, кремнефтористоводородную — не более 0,4 и серную кислоты — с содержанием не более 0,05%.

Кислоту закачивают при максимальной подаче насосов, но не менее 0,02—0,03 м³/мин.

После кислотной обработки скважину промывают и проводят прокачку для удаления продуктов химических реакций.

Кислотная обработка — сравнительно дорогое мероприятие, требует специального оборудования и определенных условий проведения и не во всех случаях обеспечивает полное растворение глинистого материала.

Интересные исследования ведутся Промбурвотом по использованию кислотной обработки в комбинации со взрывом. Этот способ перспективен.

§ 4. ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ВСКРЫТИЯ И ОСВОЕНИЯ ПЛАСТА

Оценку способа освоения (разглинизация) проводят по ряду показателей. Например, если две или более рядом расположенные скважины пробурены на один и тот же водоносный горизонт и если горизонт имеет выдержанные гидрогеологические параметры по площади, конструкции скважин, технология вскрытия и оборудования пласта идентичны, то оценку способов или технологии освоения выполняют по удельным дебитам. Если понижения при откачке будут одинаковыми, то сравнение проводят по дебиту скважин.

Однако в практике такие условия почти никогда не встречаются и использование показателя удельного дебита или дебита для сравнения способов и технологии освоения пластов затруднительно.

Поэтому пользуются безразмерным показателем сопротивления ξ , характеризующим несовершенство скважины по степени и характеру вскрытия пласта (Шестанов и др., 1974; Бочеввер и др., 1969). Этот показатель называют скин-эффектом.

Понижение S_0 в центральной скважине при постоянном расходе Q для времени t может быть записано в виде:

$$S_0 = S_c + \Delta S_{н.с} = \frac{Q}{4\pi Km} \left(\ln \frac{2.25at}{r_c^2} + 2\xi \right), \quad (78)$$

где S_c — понижение уровня, обусловленное откачкой из совершенной скважины;

$\Delta S_{н.с}$ — дополнительное понижение уровня, обусловленное несовершенством скважины;

K — коэффициент фильтрации;

m — мощность пласта;

a — коэффициент пьезопроводности;

r_c — радиус скважины.

В небольшие промежутки времени в прифильтовой зоне устанавливается квазистационарный режим, поэтому в практических расчетах пользуются формулой Дюпюи — Форхгеймера:

$$S_0 = \frac{Q}{2\pi Km} (N + \xi), \quad (79)$$

где N — показатель гидравлического сопротивления для совершенной скважины;

$$\xi = \xi_1 + \xi_2. \quad (80)$$

Здесь ξ_1 , ξ_2 — показатели сопротивления, характеризующие соответственно полноту и характер вскрытия пласта.

Величина ξ_1 зависит от соотношения длины фильтра и мощности пласта, а также интервала установки фильтра по мощности пласта. Определяют ее на основании решений А. Л. Хейна, Н. Н. Веригина, В. Д. Бабушкина и других исследователей.

Величина ξ_2 , характеризующая степень эффективности пласта в результате проведенных работ, складывается из трех составляющих:

$$\xi_2 = \xi_{2\phi} + \xi_{2п} + \xi_{2н.л}, \quad (81)$$

где $\xi_{2\phi}$, $\xi_{2п}$ и $\xi_{2н.л}$ — показатели сопротивления, обусловленные соответственно только фильтром, породой в прифильтровой зоне и отклонением от линейного закона фильтрации.

Раздельное определение величин $\xi_{2\phi}$, $\xi_{2п}$ и $\xi_{2н.л}$ в натурных условиях невозможно, поэтому суммарную величину ξ_2 находят по результатам опытных откачек из центральной скважины, когда рядом с ней имеются две или более наблюдательные скважины. В наблюдательных скважинах $\xi_2 = 0$, поэтому проводимость Km и показатель ξ_2 рассчитывают по формулам:

$$Km = \frac{Q}{2\pi(S' - S'')} (\xi'_1 - \xi''_1), \quad (82)$$

$$\xi_2 = \frac{2\pi Km(S_0 - S')}{Q} - (\xi'_0 - \xi'_1), \quad (83)$$

где S' , S'' — понижения уровня в первой и второй наблюдательных скважинах;

S_0 — понижение уровня в центральной скважине;
 ξ'_1 , ξ''_1 — показатели сопротивления ξ_1 , подсчитанные соответственно для первой и второй наблюдательных скважин;

ξ'_0 — показатель сопротивления совершенной водозаборной скважины.

При наличии пьезометрической скважины, расположенной на расстоянии 1—1,5 м от центральной, получают более надежные значения показателя обобщенного сопротивления ξ_2 .

Показатель ξ_2 рассчитывают графоаналитическим способом. Если имеется лишь одна наблюдательная скважина, то ξ_2 определяют при расчете Km по графику понижения или восстановления уровня при откачке в условиях неустановившегося движения (Бочевер, Алексеев, 1965).

Как показали исследования (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969), показатель ξ_2 достигает 70—80% и более, поэтому соответствующие понижения составляют до 70% общего понижения уровня в водозаборных скважинах.

Оценку сопротивлений прифильтровых зон проводят с помощью индикаторных кривых $Q = \Phi(S_0)$, которые могут быть представлены параболической $S_0 = AQ + BQ^2$ или линейной $S_0 = \frac{Q}{b}$ зависимостями. Коэффициенты A и b характеризуют суммарные сопротивления фильтра и прифильтровой зоны, коэффициент B — дополнительные сопротивления, возникающие в связи с отклонением от линейного закона фильтрации.

Показатель ξ_2 характеризует общее дополнительное сопротивление в скважине за счет ее несовершенства по характеру вскрытия пласта.

Исследование прифильтровых зон с помощью скважинных расходомеров позволяет оценить степень освоения по длине фильтра или пласта.

В связи с отсутствием исследований по сравнительной оценке различных способов вскрытия и освоения пластов были поставлены опыты на специальных кустах (Башкатов, Олоновский, Дрягалин, 1969). Обобщив результаты исследований, можно сделать следующие выводы (см. табл. 27):

широко распространенный в практике способ разглинизации зафильтровой промывкой малоэффективен, так как обеспечивает всего лишь 10—30% дебитов, полученных в скважинах ударного бурения;

малая эффективность зафильтровой промывки имеет место даже при освоении самоизливающихся скважин;

задержка начала работ по разглинизации затрудняет последующее их проведение и снижает эффективность

этих работ. Так, задержка работ по разглинизации на одни сутки (опытный участок № 1 в районе г. Краснодара) привела к тому, что последующие мероприятия по восстановлению проницаемости прифилтровой зоны успеха не имели, и скважина оказалась практически безводной;

разглинизация взрывом ТДШ не гарантирует сохранения сетчатого покрытия фильтров и дает эффект при условии интенсивного удаления продуктов взрыва из прифилтровой зоны;

способ посадки фильтра размывом водой и расходной обеспечивает наивысшие показатели по дебитам.

Расчеты показателя ξ_2 , проведенные на основании выполненных исследований, показали, что $\xi_2 < 0$. Это объясняется, вероятно, тем, что мелкие фракции песка в процессе введения фильтра в пласт были вынесены вместе с потоком воды и образовали вокруг фильтра зону повышенной проницаемости.

Аэрированные растворы, обработанные ПАВ и имеющие плотность около $0,8 \text{ г/см}^3$, позволили обеспечить дебиты на уровне дебитов скважин ударного бурения и выше их. Поэтому применение аэрированных растворов следует рассматривать как весьма прогрессивное направление в решении проблемы освоения водозаборных скважин.

Разглинизация пласта обратновсасывающей промывкой через окна также эффективна. Однако разглинизация по длине фильтра отличается неравномерностью, вызванной более интенсивным удалением песка из зоны, прилегающей к промывочным окнам. При этом способе разглинизации у верхних интервалов фильтра происходит «защемление» глинистой корки и заглинизированной породы. Этим и объясняется неравномерность притока в таких скважинах. Промывка фильтра водой изнутри повышает дебиты скважин в среднем на 20—40% (см. табл. 27, рис. 55).

Если промывку фильтров изнутри проводят через длительное время (8 месяцев), то это не дает должного эффекта, что связано с консолидацией и упрочением связей глинистого материала с водовмещающими породами.

Комбинированный способ разглинизации сочетает в себе преимущества ряда способов и позволяет получать дебиты выше, а показатели сопротивления ξ_2 ниже, чем в скважинах ударного бурения.

Результаты откачки после разглинизации комбинированным способом

Условия проведения эксперимента	До обработки гидронасадкой									После обработки гидронасадкой									Сопровождающие
	понижение, м			дебит, м ³ /ч			удельный дебит, м ³ /ч			понижение, м			дебит, м ³ /ч			удельный дебит, м ³ /ч			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Вскрытие пласта с обычным глинистым раствором. Разглинизация через промывочные окна со спуском водоподъемных труб выше окон. Откачка с расходомерией. Промывка гидронасадкой через 8 месяцев. Откачка с расходомерией	1,43	3,0	1,43	0,79	2,37	1,26	0,55	0,79	0,88	1,4	—	—	1,58	—	—	1,13	—	—	54,7
Вскрытие пласта с глинистым раствором, обработанным ОП-7. Разглинизация через окна со спуском водоподъемных труб выше окон. Откачка с расходомерией. Промывка гидронасадкой через 8 месяцев. Откачка с расходомерией	1,33	2,73	1,33	2,7	6,26	3,1	2,0	2,3	2,33	1,25	—	—	3,06	—	—	2,44	—	—	14,4

Первая группа скважин

Вскрытие пласта с обычным глинистым раствором. Разглинизация через промывочные окна со спуском водоподъемных труб выше окон. Откачка с расходомерией. Промывка гидронасадкой через 8 месяцев. Откачка с расходомерией	1,43	3,0	1,43	0,79	2,37	1,26	0,55	0,79	0,88	1,4	—	—	1,58	—	—	1,13	—	—	54,7
Вскрытие пласта с глинистым раствором, обработанным ОП-7. Разглинизация через окна со спуском водоподъемных труб выше окон. Откачка с расходомерией. Промывка гидронасадкой через 8 месяцев. Откачка с расходомерией	1,33	2,73	1,33	2,7	6,26	3,1	2,0	2,3	2,33	1,25	—	—	3,06	—	—	2,44	—	—	14,4

Продолжение

Условия проведения эксперимента	До обработки гидронасадкой									После обработки гидронасадкой									Сопротивление ξ
	понижение, м			дебит, м ³ /ч			удельный дебит, м ³ /ч			понижение, м			дебит, м ³ /ч			удельный дебит, м ³ /ч			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Вскрытие пласта с обычным глинистым раствором. Разглинизация затрубной промывкой. Откачка с расходомерией. Промывка гидронасадкой через 8 месяцев. Откачка с расходомерией	1,47	3,0	1,47	0,72	1,69	0,9	0,49	0,56	0,61	1,45	—	—	2,0	—	—	1,35	—	—	79,4

Вторая группа скважин

Вскрытие пласта с глинистым раствором, обработанным ОП-7. Разглинизация через промывочные окна при спуске водоподъемных труб ниже окон.																			
Откачка с расходомерией	1,92	—	—	4,50	—	—	2,34	—	—	1,3	1,91	1,21	3,89	6,26	4,1	2,99	3,28	3,3	12,8

Условия проведения эксперимента	До обработки гидронасадкой									После обработки гидронасадкой									Сопротивление ξ
	понижение, м			дебит, м ³ /ч			удельный дебит, м ³ /ч			понижение, м			дебит, м ³ /ч			удельный дебит, м ³ /ч			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Вскрытие пласта с глинистым раствором, обработанным ОП-7. Разглинизация через промывочные окна при спуске водоподъемных труб ниже окон. Промывка гидронасадкой. Откачка с расходомерией	2,30	—	—	4,32	—	—	1,88	—	—	1,3	2,35	1,13	3,35	5,95	3,6	2,58	2,53	3,19	13,1
Вскрытие пласта с глинистым раствором, обработанным ОП-7. Разглинизация через промывочные окна без водоподъемных труб. Промывка гидронасадкой. Откачка с расходомерией	2,80	—	—	5,75	—	—	2,05	—	—	1,3	2,88	1,32	3,78	6,84	4,79	2,91	2,38	3,63	12,3
Скважина ударно-механического бурения	3,1	—	—	4,64	—	—	1,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25,3

Примечание. Диаметр фильтра 108 мм, длина 4 м; сетчатый. Водовмещающие породы — разнозернистые пески с коэффициентом фильтрации $K=7$ м/сут. Глубина скважины 25 м.

Таким образом, наиболее эффективны те способы, которые обеспечивают минимальную кольматацию пласта и максимальное удаление объема породы, закольматированной при вскрытии пласта и его оборудовании.

§ 5. БУРЕНИЕ СКВАЖИН С ПРЯМОЙ ПРОМЫВКОЙ ВОДОЙ

Главный недостаток вращательного способа бурения с глинистым раствором — трудность восстановления проницаемости прифилтровых зон. Этот процесс, как известно, требует применения специальных методов и средств, которые в большинстве случаев весьма трудоемки, дорогостоящи и не всегда обеспечивают положительный результат. Поэтому во многих организациях переходят на бурение с прямой промывкой водой. Если в устойчивых породах это не вызывает каких-либо осложнений, то при проходке рыхлых отложений на первых порах довольно часты случаи обвалов стенок скважины и прихватов бурового снаряда.

Д. Н. Башкатовым, Г. П. Квашниным и другими было предложено вскрывать рыхлые водовмещающие породы с противодавлением на пласт. Суть предложения сводилась к тому, что при бурении поддерживалось определенное противодавление на пласт за счет долива воды через устье скважины.

Бурение скважин в рыхлых отложениях с водой проводилось и ранее в Курской, Воронежской и Саратовской областях, в Западной Сибири и других районах. Данное предложение отличалось тем, что бурение проводили либо в устойчивых песках, либо в слабонапорных водонесных горизонтах, либо при использовании естественных растворов, когда вскрытие пласта осуществлялось естественным глинистым раствором.

Напряжения, возникающие в породе, с достаточной точностью определяют по уточненной формуле Кулона:

$$\sigma_z = (\gamma_{\text{п}} h_{\text{п}} - A) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) + A - h_{\text{р}} \gamma_{\text{р}}, \quad (84)$$

где $\gamma_{\text{п}}$ — плотность породы,

$h_{\text{п}}$ — глубина залегания,

φ — угол внутреннего трения;

A — пластовое давление;

$h_{\text{р}}$, $\gamma_{\text{р}}$ — высота и плотность промывочного раствора.

Устойчивость стенок скважины наблюдается при $\sigma_z < \sigma_{п}$, где $[\sigma_{п}]$ — предел прочности породы при одноосном сжатии.

На основании решения В. Г. Березанцева, уточненно Г. М. Мариупольским, Н. Д. Бессоновым и Ю. М. Новиковым, радиальное давление, которое должно быть уравновешено гидростатическим давлением столба промывочной жидкости, определяют по следующей формуле:

$$\sigma_r = r_0 \left\{ \gamma_1 \frac{\sqrt{C_2}}{\psi_2 - 1} \left[1 - \left(\frac{r_0}{r_2} \right)^{\psi_2 - 1} \right] + \gamma_1 \frac{\sqrt{C_1}}{\psi_1 - 1} \left(\frac{r_0}{r_2} \right)^{\psi_1} \frac{C_2}{C_1} \right\}, \quad (85)$$

где σ_r — радиальное давление;

r — радиус скважины;

γ_1, γ_2 — средние плотности слоев пород.

$$\psi_1 = 2 \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right)$$

$$\psi_2 = 2 \operatorname{tg} \varphi_2 \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_2}{2} \right)$$

$$r_1 = r_0 + H \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right)$$

$$r_2 = r_0 + m \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right),$$

где φ_1 и φ_2 — углы внутреннего трения породы соответственно для двух слоев пород,

C_1 и C_2 — коэффициенты бокового распора соответственно для двух слоев пород,

H — глубина залегания водоносного слоя;

m — мощность водоносного слоя.

Анализ показывает, что наибольшие напряжения возникают в слабонапорных пластах и при снижении уровня промывочной жидкости в стволе скважины. Последнее обстоятельство следует особенно тщательно учитывать в процессе бурения и при спуско-подъемных операциях проводить постоянный долив воды, не допуская

снижения уровня ниже установленного значения (1,5—3,0 м).

Исследования по данной технологии были выполнены на опытном полигоне ВСЕГИНГЕО в 1970—1972 гг. Бурение проводили буровой установкой УРБ-ЗАМ. Давление на забой осуществлялось массой бурильной колонны. Количество промывочной жидкости, подаваемой на забой, было постоянным. Для долива использовали специальную емкость объемом 1 м³, оснащенную мерной рейкой. Расход промывочной жидкости замерили в отстойнике размером 1,65×1,65×1,15 м с помощью мерной рейки, проводили также замеры потерь промывочной жидкости. Применяемый способ учета потерь промывочной жидкости обеспечивал точность измерений с ошибкой до 10%.

Перед каждым наращиванием бурового снаряда скважину промывали до прекращения выноса песка в течение 5—7 минут.

Спуск фильтровой колонны также проводили при постоянном доливе воды и поддержании гидростатического напора на отметке устья скважины. Всего было пробурено 15 скважин. После окончания первых экспериментальных работ с целью всесторонней проверки данного способа вскрытия водовмещающих пород были пробурены скважины, в которых установили следующие фильтры: сетчатый диаметром 108 мм при длине рабочей части 4 м, тарельчатый диаметром 108 мм при длине рабочей части 2,62 м. Две скважины были оборудованы фильтрами с коническими отверстиями (ФКО) диаметром 108 мм. Бурение скважины прошло без осложнений.

Результаты опытных откачек приведены в таблице 28 и на рисунке 61.

Эффективность данного способа подтвердилась при производстве работ в Саратовской, Тамбовской, Новосибирской и других областях. Так, по разработанной методике в Волжской экспедиции Гипроводхоза было пробурено около 100 скважин глубиной от 50 до 135 м. Сква-

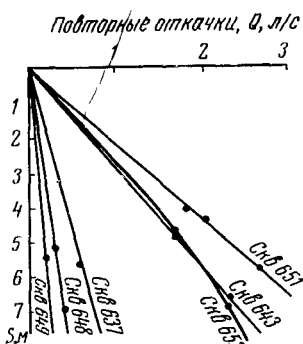


Рис. 61. График зависимости $Q = \Phi(S)$ при откачке воды из мелкозернистых песков на Шемиловском участке.

Таблица 28

Данные бурения скважин с промывкой водой

№ скважины	Глубина скважины, м	Способ бурения	Интервал установки фильтра, м	Тип фильтра	Толщина фильтра, м	Затраты времени на разглинизацию, ч	Статический уровень, м	Подъем, м	Дебит, л/с	Удельный дебит, л/с
637	26,5	Вращательный с промывкой глинистым раствором	22,0—26,0	ФКО	4,0	19,0	3,33	7,90	0,74	0,09
648	25,25	То же	20,7—24,75	ФКО	4,05	15,0	3,33	7,12	0,32	0,045
651	26,0	Вращательный с промывкой водой	21,45—25,5	ФКО	4,05	—	3,57	5,89	2,30	0,39
643	25,74	То же	22,92—25,54	Тарельчатый	2,62	—	3,30	6,53	2,16	0,38
653	24,6	» »	20,10—24,10	ФКО	4,0	—	3,36	6,87	3,22	0,47
642	27,0	» »	22,0—26,0	Сетчатый	4,0	—	3,04	5,41	2,11	0,39

жины бурили трехшарошечными долотами № 10 и 5. До кровли водоносного горизонта бурение вели на естественном глинистом растворе, через каждые 5 м проходки раствор разбавляли водой и полностью его заменяли на воду при вскрытии водоносного пласта.

Мощность водоносного горизонта, вскрытая скважинами, различная (54,0; 38,1; 30,0 и 10,0 м). В процессе бурения по водоносным пластам проводили замер расхода воды на бурение всего горизонта. Расход воды составил: при мощности 54,0 м — 4,4 м³; при 38,1 м — 3,80; при 30,0 м — 2,04; при 10,0 м — 0,55 м³. В процессе бурения проводили хронометраж механической скорости бурения и расхода воды. Расход воды на бурение всей скважины составлял 4—10 м³.

Механическая скорость колебалась от 15 до 100 м/ч. Сравнительные данные по скважинам приведены в таблице 29.

Таблица 29

Сравнительные данные результатов бурения скважин с водой и глинистым раствором

№ скважины	Характеристика водоносных пород	Мощность водоносного горизонта, м	Диаметр фильтра, мм	Длина фильтра, м	Дебит скважины, л/с	Удельный дебит, л/с	Коэффициент фильтрации (расчетный), м/сут
Промывка глинистым раствором							
303	Песок мелкий	68,0	146,0	9,70	0,97	0,09	5,5
312	То же	4,5	89,0	3,2	0,03	0,003	0,95
Промывка водой							
328	Песок мелкий пылеватый	85,0	146,0	5,0	1,34	0,15	8,95
326	Песок пылеватый	4,0	146,0	2,5	0,32	0,1	6,5

Примечание На скважинах, которые бурят с промывкой глинистым раствором, в последующем проводили разглинизацию комбинированным способом, продолжительность разглинизации от 1,5 до 3,5 сут.

В Тамбовской ПМК треста «Бурводсельстрой», в ПМК-11 треста «Курскмелиоводстрой» вскрытие водоносных горизонтов проводят с промывкой водой. Водоносные горизонты Тамбовской и Курской областей пред-

ставлены разнозернистыми песками, в основном мелко- и среднезернистыми. Мощности водоносных горизонтов от 7 до 30 м со статическим уровнем от 5 до 70 м от поверхности земли. Дебиты скважин колеблются от 5 до 50 м³/ч. Глубина залегания водоносных пластов от 30 до 150 м.

В Тамбовской области применяют одноколонную конструкцию скважин, в Курской — двухколонную с извлекаемым кондуктором. Диаметры эксплуатационных колонок 168—325 мм. Фильтры устанавливают впотай. В Тамбовской области используют фильтры с гравийной обсыпкой, в Курской — сетчатые.

Расходы воды для условий этих областей при вскрытии и оборудовании водоносного пласта фильтром составляют от 3 до 10 м³. До водоносного пласта бурение ведут с промывкой глинистым раствором, затем устанавливают технические (эксплуатационные) колонны с цементацией до устья. Водоносный горизонт вскрывают и бурят с промывкой водой.

По данным Т. И. Ставиновой, на Ростовском участке Ивановской геологоразведочной экспедиции бурение скважин с водой при постоянном доливе воды на устье позволило увеличить удельные дебиты скважин с 0,15 л/с в случае применения глинистого раствора до 1,85 л/с при новой технологии.

Лабораторные исследования показали, что устойчивость стенок скважин при прочих равных условиях в крупнозернистых песках выше, чем в мелкозернистых. Это, очевидно, объясняется несколько большим фильтрационным давлением на частицы песка со стороны фильтрующегося в пласт потока.

Исследования показали, что при перепаде давления на пласт $\Delta h > 1,5-3,0$ м устойчивость стенок скважины сохраняется.

При бурении скважин с водой наблюдения за ее поглощением позволяют получить данные о фильтрационных свойствах водоносных пород, что бывает необходимо при выборе наиболее благоприятных участков установки фильтра.

В первом приближении такие расчеты выполняют по формуле (Башкатов и др., 1972):

$$T = 1,2q_0, \quad (86)$$

где T — водопроводимость пород, м²/сут;

q_0 — водопоглощение при понижении уровня $S=1$ м, м³/сут.

$$K = \frac{T}{m}, \quad (87)$$

где K — коэффициент фильтрации,
 m — мощность пласта, м

Расчеты, выполненные по этой методике, показали хорошую сходимость показателя коэффициента фильтрации с данными опытных откачек

В тресте «Молдбурвод» разработан и успешно применяется (Башкатов, Оноприенко, 1973) оригинальный способ вскрытия и освоения мелкозернистых водоносных песков, требующих наличия контура рыхлой обсыпки. Попытки получить воду из этих пород приводили либо к устойчивому пескованию скважин, либо в случае применения фильтров со значительными сопротивлениями к ничтожно малым дебитам

Сущность данного способа заключается в том, что до водоносного пласта скважину бурят под обсадную колонну диаметром 273 или 324 мм, затем проводят обсадку скважины и затрубную цементацию (рис. 62).

Бурение до водоносного пласта ведут по обычной технологии с применением глинистого раствора. Водоносный пласт вскрывают пилот-скважиной диаметром 112—140 мм. После этого в скважине проводят стандартный геофизический каротаж и уточняют границы и зоны повышенной водообильности. Пласт вскрывают с применением гидравлического способа разрушения и удаления продуктов разрушения горных пород. Эксплуатационную колонну с фильтром в нижней части опускают на бурильных трубах. По бурильным трубам подается вода, которая через обратный клапан попадает в затрубное пространство и поднимается к устью скважины. Гравийную смесь засыпают в восходящий поток воды, и вокруг фильтра сетчатого типа образуется песчано-гравийная смесь.

Чтобы предотвратить смещение эксплуатационной (фильтровой) колонны в стволе скважины и получить равномерное распределение песчано-гравийной смеси на трубах, устанавливают центрирующие фонари из полос железа шириной не менее 50 мм через каждые 5—10 м длины фильтровой колонны. Г. Ф. Овчинников предложил упростить этот способ за счет того, что скважина не крепится обсадной колонной до водоносного пласта, установить лишь кондуктор в верхней части ствола (рис. 63)

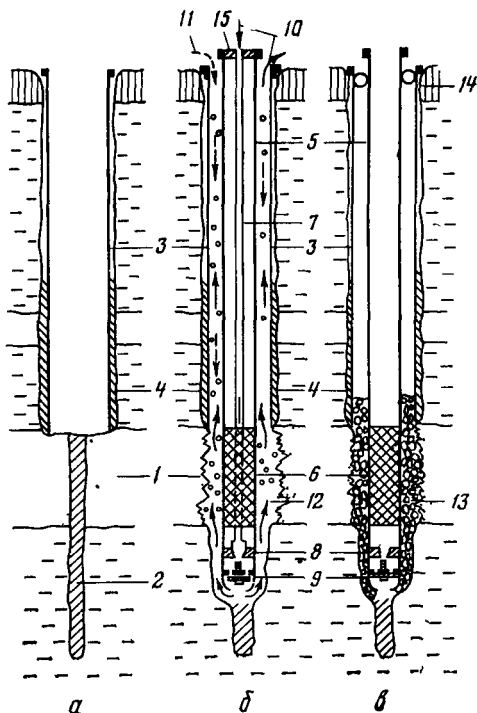


Рис 62 Метод бурения скважин с применением гидравлического размыва пласта и песчано гравийной обсыпки фильтра

а — бурение и обсадка скважины до вскрытия водоносного горизонта, *б* — вскрытие водоносного горизонта и песчано гравийная обсыпка фильтра, *в* — конструкция скважины, подготовленной к эксплуатации, 1 — водоносный пласт, 2 — ствол скважины, пробуренной малым диаметром ($5\frac{3}{4}$ — $7\frac{3}{4}$ "), 3 — обсадные трубы диаметром 10—12", 4 — цементация затрубного пространства, 5 — фильтровая колонна труб диаметром 6—8", 6 — фильтр сетчатый, 7 — бурильные штанги, 8 — левое резьбовое соединение муфты штанг с донной частью фильтра, 9 — обратный клапан, 10 — направление циркуляции воды при разглинении водоносного пласта, 11 — направление движения песчано гравийной смеси при обсыпке фильтра, 12 — заfilterовое пространство, 13 — песчано гравийный фильтр, 14 — пеньковый сальник, 15 — герметизирующее приспособление

После промывки в затрубное пространство засыпают песчано-гравийную смесь на 5—10 м выше кровли водоносного пласта.

Песчано-гравийная смесь отделяется от оставшегося интервала ствола скважины цементным мостом. В устье скважины также устанавливают цементную пробку. Преимуществом этой схемы является экономия обсадных труб. Однако ее применение возможно, если ствол скважины не вскрывает другие водоносные пласты, так как

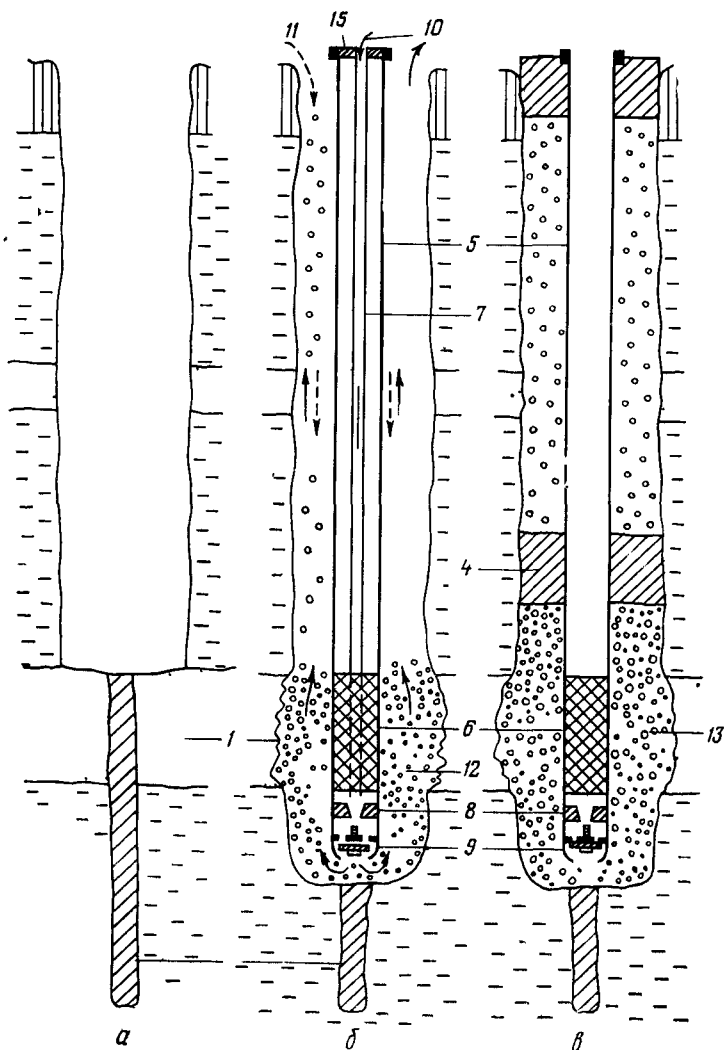


Рис 63 Метод бурения скважин с применением гидравлического размыва пласта и песчано гравийной обсыпки фильтра (II вариант) Условные обозначения те же что на рисунке 62

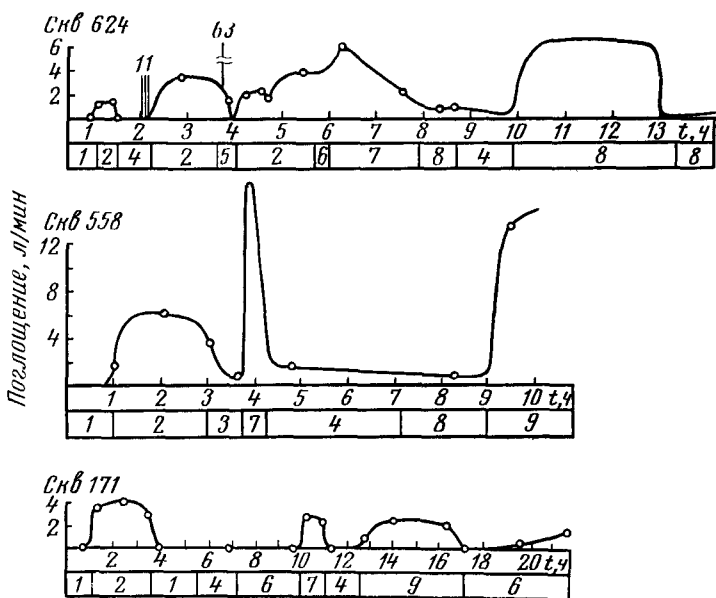


Рис 64 Графики зависимости поглощения от вида работ в скважине при вскрытии водоносного горизонта с промывкой водой Углубка
 1 — в глинах 2 — в песках 3 — в глинистых песках 4 — прекращение углубки и промывки 5 — наращивание инструмента 6 — промывка 7 — подъем инструмента 8 — геофизические исследования 9 — крепление

в этом случае может происходить переток подземных вод по стволу Дебиты скважин, оборудованных по такой технологии, составляют 7—15 м³/ч Мощность водоносных песков колеблется от 7 до 15 м, глубина статических уровней достигает 100—150 м В таких условиях могут возникнуть интенсивные поглощения промывочной жидкости Исследования (Башкатов, Оноприенко, 1973) показали, что поглощение зависит от литологии пород и вида работ Наиболее интенсивное поглощение наблюдается при углубке, проработке ствола и спуско-подъемных операциях (рис 64) Весь объем поглощенной жидкости за период от начала вскрытия пласта и до окончания подъема бурового инструмента колеблется от 1,8 до 3,8 м³, что составляет 2,75—9,3% объема скважины В процессе углубки интенсивность поглощения изменяется от 3,5 до 6,7 л/мин, а объем поглощенной жидкости составляет 40—70% общего объема поглощенной жидкос-

ти за весь период работ Результаты наблюдений за поглощением воды в интервале скважины 265—276 м при диаметре бурения 450 мм и глубине статического уровня 100 м приведены в таблице 30

Т а б л и ц а 30

Результаты наблюдений за поглощением воды

Вид работ	Продолжительность работ	Вскрытая мощность пласта, м	Поглощение, л/мин	Количество поглощенной воды	
				л	%
Бурение в песках углубка с промывкой	4 ч	0,5—11,5	1,2—3,5	654	42,0
	15 мин	11,5	3,5	52	3,2
Прекращение углубки и промывки	3 ч 10 мин	4,5—11,5	1—1,5	155	9,8
Проработка ствола	10 мин	0,5—4,5	3,5—63,0	39	2,5
Подъем инструмента длиной 276 м	2 ч	11,5	6—16,3	666	12,5
Итого	9 ч 35 мин	11,5	—	1566	100

При избыточном гидростатическом давлении на пласт более 1 МПа поглощение не превышает 1—1,5 л/мин. Удельное водопоглощение оказалось меньше полученного при пробной откачке удельного дебита в 400 раз. Это объясняется тем, что в процессе бурения происходит поглощение промывочного раствора и кольматация пласта за счет наличия шлама в растворе и частиц глины. При откачке же наблюдается удаление продуктов кольматации.

При вращательном и поступательном движениях бурового инструмента поглощение увеличивается более чем в 3 раза, а при проработке ствола, особенно при наличии сальника из породы над долотом, в несколько десятков раз. В этом случае создаются благоприятные условия для гидравлического разрыва пласта. Чем выше гидродинамические давления на промывочный раствор, тем выше поглощение. Причем интенсивность его зависит от количества энергии, передаваемой от бурового инструмента промывочной жидкости, и от степени совершенства гидравлической системы пласт — скважина, т. е. от про-

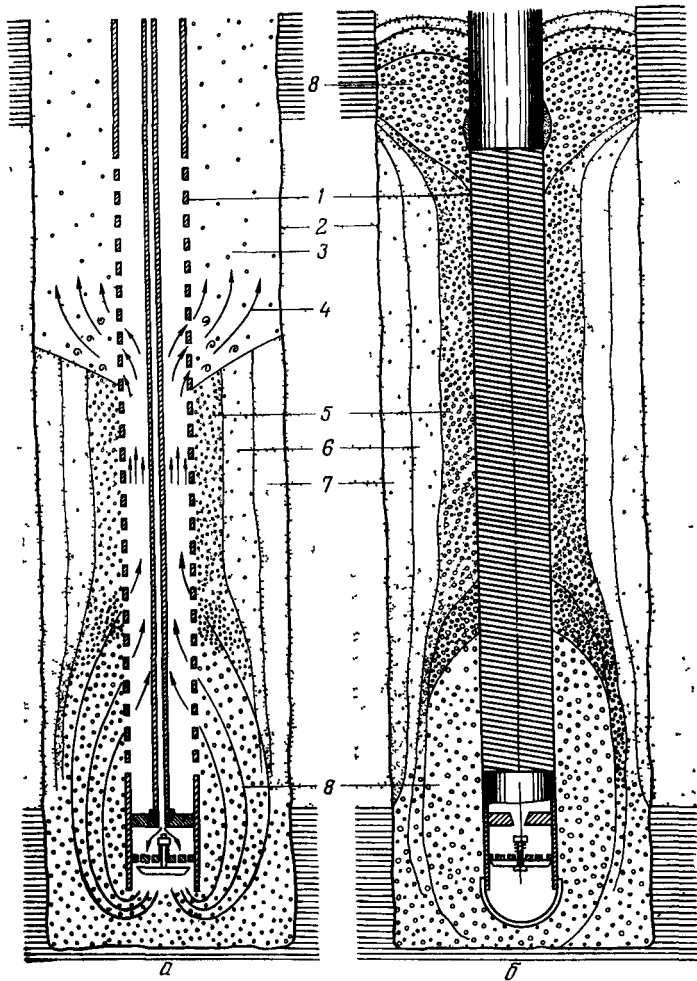


Рис 65 Формирование структуры гравийно обсыпного фильтра в во сходящем потоке воды

a, б — начальная и конечная стадии, *1* — фильтровый каркас, *2* — стенки скважины, *3* — зафильтрованное пространство, *4* — направление движения воды в процессе осаждения гравия, *5* — внутренний контур обсыпки, *6* — средний контур обсыпки, *7* — наружный контур обсыпки, *8* — участки максимальной крупности частиц

нищаемости вскрываемого пласта и призабойной зоны. В процессе углубки скважины в водоносных песках обе величины динамически изменяются. Экспериментальные исследования и теоретические расчеты показывают, что распределение гидродинамического давления в скважине при движении колонны труб подчиняется волновым законам. Возникшие колебания постепенно затухают.

Поглощение воды существенно не влияет на фильтрационные свойства призабойной зоны. Однако при бурении вода обогащается разбуренными частицами породы и глинистым материалом. Вскрытая часть пласта, поглощая воду, обогащенную частицами выбуренной породы, частично кольтматируется последними и уменьшает поглотительную способность пласта. Поэтому интенсивность поглощения почти не зависит от вскрытой мощности водоносных пород. Из рисунка 64 видно, насколько существенное влияние оказывают литология пород и характер работ в стволе скважины на поглотительную способность пласта. При вскрытии водоносных песков на скважине № 171 в тресте «Молдбурвод» наблюдалось поглощение воды, равное 4 л/мин. Дальнейшая углубка скважины в подстилающие водоносный пласт глины привела к кольтматации и полному прекращению поглощения при бурении, промывке и проработке ствола. При вскрытии (скважина № 558 в том же тресте) глинистых песков в подошве водоносного пласта интенсивность поглощения уменьшилась с 6 до 1,5 л/мин.

Таким образом, интенсивность поглощения при вскрытии водоносных пластов с промывкой водой в значительной степени зависит от наличия глинистых минералов и прослоев глин в толще вскрываемых пород, режимов бурения и технологии спуско-подъемных операций.

При проведении гравийной обсыпки в восходящем потоке воды М. Г. Оноприенко было отмечено, что поток воды, выходящий из канала в башмаке, в основном движется в затрубном пространстве между бурильными трубами и внутренними стенками каркаса фильтра (рис. 65). Меньшая часть потока воды проходит через слой гравийной обсыпки. В силу того что мелкие частицы гравия вымываются и не достигают зоны пласта, конечный состав гравийной обсыпки в зоне пласта весьма отличается от состава, который использовался при ее обсыпке. Учет этого фактора позволяет обоснованно проектировать и проводить гравийные обсыпки в скважинах.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамов С. К. Фильтр конструкции Перевозникова К. К. и результаты его испытания. — «Разведка и охрана недр», 1949, № 1.

Абрамов С. К. Подбор фильтрующих обсыпок для горизонтальных дренажей. — «Научные сообщения, Гидрогеология». М., ВОДГЕО, 1962.

Абрамов С. К. Методы подбора и расчета фильтров буровых скважин. — В сб.: Фильтры водозаборных скважин. М., Стройиздат, 1954.

Абрамов С. К., Биндеман Н. Н., Семенов М. П. Водозаборы подземных вод. М., Госстройиздат, 1947.

Акимов Г. В. Теория и методы исследования коррозии металлов. М., Изд. АН СССР, 1945.

Алексеев В. С., Тесля А. Г. Об оценке гидравлических сопротивлений сетчатых фильтров. — «Гидротехника и мелиорация», 1967, № 5.

Алтухов В. А., Ваксман В. Л. Крепление скважин неметаллическими трубами. — В сб.: Технический прогресс при строительстве скважин на воду. М., Дом научно-технической пропаганды им. Ф. Дзержинского. 1974.

Альтшуль А. Д., Краснов Н. С. Гидравлическое сопротивление сеток с квадратными ячейками. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1967, № 9.

Амирян В. А., Уголев В. С. Физико-химические методы повышения производительности скважин. М., «Недра», 1970.

Башкатов Д. Н., Рохлин Л. И. Техничко-экономические предпосылки обоснования выбора способа бурения и типа буровой установки для проходки гидрогеологических скважин. — «Сборник ВСЕГИНГЕО». М., 1969.

Башкатов Д. Н. Обоснование способа и диаметра бурения при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. — «Экспресс-информация». М., ВИЭМС, 1971.

Башкатов Д. Н., Тесля А. Г. Гидрогеологические наблюдения при бурении и опробовании скважин на воду. М., «Недра», 1970.

Башкатов Д. Н. и др. Бурение гидрогеологических скважин с прямой промывкой водой. — «Экспресс-информация». М., ВИЭМС, 1972.

Башкатов Д. Н., Олоновский Ю. А. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин. М., «Недра», 1968.

Башкатов Д. Н., Олоновский Ю. А., Дрягалин Е. Н. Разглинизация буровых скважин на воду. М., «Колос», 1969.

Башкатов Д. Н., Олоновский Ю. А., Дрягалин Е. Н. Разглинизация гидрогеологических скважин. — В сб.: Бурение, опробование и оборудование гидрогеологических скважин. М., 1969.

Башкатов Д. Н., Оноприенко М. Г. Вскрытие водоносных горизонтов в рыхлых отложениях. — «Разведка и охрана недр», 1973, № 8.

Башкатов Д. Н., Сутягин В. В., Овчар И. Л. Исследования технологии крепления скважин на воду в районе работ МСУ. — В сб.: Совершенствование технологии сооружения скважин на воду. Новосибирск, 1972.

Беликов В. Г. и др. Промывка скважин при бурении, креплении и цементировании скважин. М., «Недра», 1973.

Беляков В. М. Лабораторные испытания гравийных фильтров в напорных условиях. Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. — «Труды совещания по вопросам водопонижения в гидротехническом строительстве». М., 1959.

Беляков В. М. и др. Руководство по проектированию и сооружению бесфильтровых скважин на воду. М., ВНИИГиМ, 1974.

Белюсов Д. И., Рощупкин В. И. Буровые установки. М., «Недра», 1973.

Бондаренко В. И. Вертикальные дренажи с пластмассовыми фильтрами. — «Гидротехническое строительство», 1964, № 9.

Бочевер Ф. М., Алексеев В. С. Оценка сопротивления водозаборных скважин по опытному и эксплуатационным откачкам. — «Разведка и охрана недр», 1965, № 3.

Бочевер Ф. М. и др. Основы гидрогеологических расчетов. М., «Недра», 1969.

Бочевер Ф. М., Орфанди К. Ф. Опыт определения исходных гидрогеологических параметров для оценки эксплуатационных запасов подземных вод. — «Труды лаборатории инженерной гидрогеологии ВНИИВОДГЕО», сб. 4. М., Госстройиздат, 1962.

Вальдман И. Я. Современные роторные установки для сооружения скважин на воду. — В сб.: Технический прогресс при бурении скважин на воду, 1974.

Васильев А. Д. Предварительные рекомендации по изготовлению пластмассового тарельчатого фильтра. М., ВСЕГИНГЕО, 1970.

Владимиров К. А. Крепление скважин тонкостенными трубами. М., «Недра», 1974.

Владиславлев В. С. Разрушение горных пород при бурении. М., «Недра», 1958.

Воздвиженский Б. И., Мельничук И. П., Пешалов Ю. А. Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. М., «Недра», 1973.

Воронцов В. И. Новый фильтр из стеклопластика для вертикального дренажа. — «Материалы технического совещания по вопросам улучшения проектирования, строительства и эксплуатации систем вертикального дренажа». М., Гипроводхоз, 1968.

Вортман З. М. Практика ударно-канатного бурения на воду. М., «Недра», 1972.

Гаврилко В. М. Фильтры водозаборных, водопоказательных и гидрогеологических скважин. М., Стройиздат, 1968.

Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Фильтры из стеклопластиковых труб. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1968, № 8.

Гаврилко В. М. и др. Бурение высокодебитных водозаборных и дренажных скважин. М., «Колос», 1974.

Голубинцев О. Н. Механические и абразивные свойства горных пород и их буримость. М., «Недра», 1967.

Григорьев В. М. Понижение уровня грунтовых вод погло-
фильтровыми установками. М., Стройиздат, 1955.

Грибаум И. И. Геофизические методы определения фильтра-
ционных свойств горных пород. М., «Недра», 1965.

Деревянных А. И. Отложения в промысловой зоне в период
освоения скважин на воду. ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР,
вып. 3 (44), 1969.

Деревянных А. И., Макаров Л. В., Сотников А. Б. Освоение гидрогеологических скважин в сложных геологических усло-
виях. М., ВИЭМС, 1971.

Драхлис С. Л., Верстов В. В. Гидродинамические процессы
при пробной откачке скважин на воду. ЦБНТИ Минмонтажспец-
строя СССР, вып. 3 (105), 1975.

Дубровский В. В. и др. Справочник по бурению и оборудо-
ванию скважин на воду. М., «Недра», 1972.

Забурдаев В. В. Использование полиэтиленовых труб для
строительства водопроводов и буровых скважин в Тамбовской обла-
сти. — В сб.: Научно-техническая конференция по применению поли-
меров в водном хозяйстве. М., 1965.

Каменский Г. Н. Основы динамики подземных вод. М.,
Госгеолтехиздат, 1943.

Карамбиров Н. А. Исследование и основы расчета колодез-
ных гравитационных фильтров. — «Труды ВНИИ гидротехники и ме-
лiorации», т. XXV, вып. 2. М., Сельхозгиз, 1948.

Карамбиров Н. А. Гравитационные фильтры. — В сб.: Фил-
тры водозаборных скважин. М., Госстройиздат, 1952.

Карамбиров Н. А., Михайлов М. И., Роговой В. Л.
Фильтр-каркас для буровых скважин. Авторское свидетельство
№ 149737. 1962.

Карамбиров Н. А., Роговой В. Л. Универсальный пласт-
массовый фильтр-каркас для водозаборных, водопонижительных и гид-
рогеологических скважин. — В кн.: Сельскохозяйственное водоснаб-
жение Целинного края. Алма-Ата, 1963.

Квашнин Г. П., Сайфуллин Х. Н., Заварзин В. И.
Экспериментальные данные по технологии бурения и освоения сква-
жин на воду глубиной 1500 м. ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР,
вып. 11 (89), 1973.

Клячко В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод. М.,
Стройиздат, 1971.

Козловский Е. А., Борисович В. Т., Комаров М. А.
Современные методы и технические средства оптимизации разведоч-
ного бурения. М., ВИНТИ, 1975.

Лерман С. М., Володько И. Ф. Крепление артезианских
скважин неметаллическими трубами. М., «Недра», 1968.

Логинов В. М., Шуссер Л. М. Справочник по сельскохо-
зяйственному водоснабжению. М., «Колос», 1975.

Ловля С. А. Взрывные работы в водозаборных скважинах.
М., «Недра», 1971.

Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. М.—Л.,
Госэнергоиздат, 1951.

Медведев Н. В., Гланц А. А., Григоровский А. С.
Справочник механика по геологоразведочному бурению. М., «Недра»,
1973.

Милихикер А. Г. Осадкообразование в скважинах водопони-
жения. М., «Энергия», 1971.

Милиц Д. М., Шуберт С. А. Гидравлика зернистых материалов. М., Изд. МКХ РСФСР, 1955.

Миронов А. И. Совершенствование технологии сооружения скважин на воду глубиной 1200 м в условиях Западной Сибири. — В сб.: Совершенствование технологии сооружения скважин на воду. Новосибирск, 1972.

Николадзе Г. И. Применение пластмасс в водоснабжении и канализации. М., Стройиздат, 1966.

Овнатанов Г. Т. Вскрытие и обработка пласта. М., «Недра», 1970.

Оводов В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение. М., Сельхозгиз, 1960.

Оводов В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. М., Сельхозгиз, 1960.

Онопrienko М. Г. Вскрытие и оборудование водоносных горизонтов в условиях юга Молдавии. — В сб.: Технический прогресс при строительстве скважин на воду. Московский дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского. М., 1974.

Палий П. А., Корнеев К. Е. Буровые долота. М. «Недра», 1971.

Панкратова Г. М. Опыт применения пластмассовых фильтров и фильтров с коническими отверстиями при гидрогеологических исследованиях. — В сб.: Технический прогресс при строительстве скважин на воду. Московский дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского. М., 1974.

Паус К. Ф. Буровые промывочные жидкости. М., «Недра», 1967.

Полубаринова-Кочина П. Я., Пряжинская В. Г., Эмих В. Н. Математические методы в вопросах орошения. М., «Наука», 1969.

Поляков Г. Г. Экспериментальные исследования скважин, гидродинамически несовершенных по степени вскрытия. — «Известия высших учебных заведений. Нефть и газ», 1958, № 7.

Поляков Г. Г. Экспериментальные исследования влияния перфорации скважин на приток при линейной фильтрации жидкости. — «Известия высших учебных заведений. Нефть и газ», 1959, № 12.

Поляков Г. Г. Экспериментальные исследования влияния перфорации скважин на приток при нелинейной фильтрации жидкости. — «Известия высших учебных заведений. Нефть и газ», 1969, № 3.

Пундиков В. С., Шкиндер А. М. Бурение глубоких скважин под кондуктор двумя забоями. — В сб.: Совершенствование технологии сооружения скважин на воду. Новосибирск, 1972.

Решеткина Н. М., Барон В. А., Якубов Х. Вертикальный дренаж орошаемых земель. М., «Колос», 1966.

Роговой В. Л. Фильтры для водозаборных скважин. — «Материалы для водохозяйственного строительства». ЦБНТИ, серия 6, вып. 2. М., 1968.

Роговой В. Л., Карамбиров Н. А. Фильтр для водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин. Авторское свидетельство № 192125. 1967.

Симомянц Л. Е. Оптимизация процесса бурения скважин. — «Нефтяное хозяйство», 1973, № 9.

Строительные нормы и правила. СНиП II-31—74, ч. II, гл. 31. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М., Стройиздат, 1975.

Сулакшин С. С. Технология бурения геологоразведочных скважин. М., «Недра», 1973.

Суреньянец Я. С. Водяные скважины. М., Изд. МКХ СССР, 1957.

Суриин А. А. Водоснабжение, ч. I. Л., 1926.

Сутягин В. В., Тюпин Н. М. Современное состояние и перспективы совершенствования работ по цементированию скважин. М., Дом научно-технической пропаганды им. Ф. Дзержинского, 1974.

Чулков Н. А. Коррозионноустойчивые фильтры для трубчатых колодцев. М., Стройиздат, 1971.

Федоров В. С. Проектирование режимов бурения. М., Гостехиздат, 1958.

Филатов Б. С., Кошко И. И. Справочник по бурению структурно-поисковых и сейсморазведочных скважин. М., «Недра», 1975.

Щелкачев В. Н. Влияние проницаемости при забойной области и диаметра скважины на ее дебит. — «Нефтяное хозяйство», 1945, № 10 и 1946, № 2.

Шестаков В. М. и др. Опытнo-фильтрационные работы. М., «Недра», 1974.

Шульгин Д. Ф., Васильев В. А. Некоторые вопросы работы фильтров водозаборных скважин. — В сб.: Влияние орошения на вторичное засоление, химический состав и режим подземных вод. М., «Наука», 1964.

Ятров С. Н. Естественные промысловые жидкости в бурении. М., «Недра», 1968.

Bieske E., Stockstadt am Rein, BRD, 1965.

Bieske E. Alterungserscheinung bei Bohrbrunnen. Tage der Wasserbauindustrie. Budapest, Oktober, 1968.

Bieske E. Grundwasserabsenkung durch Bohrbrunnen. Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, 1969, 20, N 2, N 3, N 4.

Bristol Plastic Limited, Catalog, 1965.

Dodson C. K., Cardwell W. T. Flow into slotted liners and on Application on the theory to core analysis. Petrol. technology, 1944, 7, N 2.

Howard R., Watson A. Relative productivity index of gun perforated completions. As affected by depth. penetration. world oil, February, 1952, 1.

Hugelmann H., Kassel. Kunststoffrohre in der Trinkwasserversorgung. Wasser und Boden, N 5, 1959.

Hasimoto H. On the flow of a viscous fluid past a thin screen at small Reynolds numbers. «Journal of the Physic. Soc. Japan», N 6, v. 13, 1958.

Hünegerg K. Renovation between of wells. International Water Supply Congress and Exhibition. Stockholm Special Subject, 1964, N 3.

Johnson Well Screens. Catalog N 154, Copyright, 1954. Edward E. Johnson, Ins. Printed in USA.

Klotz D. Hudraulische Eigenschaften der Schlitzfilter, Borh-technik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, 1969, 20, N 12.

Klotz D. Hudraulische Eigenschaften der Schlitzfilter I. Borh-technik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, 1970, 21, N 10, 11.

Klotz D. Hudraulische Eigenschaften der Kiesbelagfilter. Borh-technik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, 1971, 22, N 8, 9.

Leatherwood F. N., Peterson D. F. Hudraulic head loss at the interface between uniform sands of different sizes. Trans. Amer. Geophys. Union, 1954, 35.

Mar ton L. Vizado kutak «előregedisl», különös tekintettel az «okkeresedesre». Hidrol. Közlönyo, 1966, N 7.

Mar ton L. Furt kutak üzemzavarai es azok megelőzels «Műsz. torvezes», 1966, N 7.

Muskat M. The effect of casing perforations on well productivity. Trans. Amer. Inst. Min. Met. Engrs. 1943, 151.

Nold — Brunnenfilterbuch 3 erweiterte Auflage, bearbeitet.

Nold J. F. Polyester — Filter. Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, 1967, N 7.

Olendski W. W sprawie porownywania wydajnosci studzien o ioz nej konstrukcji filtrow. Przegl. geol., 1960, 8, N 11.

Part J. Corrosion in water wells. Water wells z 1966, 20, N 3.

Pataki N. Preseit maugyantas faszürök első hazai alkalmazasa. OVF Vizkutato es Fűro Vallalat fötechnologia. Budapest, 1967.

Petersen J. S., Rohwer C., Albertson M. L. Effect of well screens an flow into wells. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs, 1953, 79, N 365.

Plochniewski Z. O niektorych przyczynach zarastania filtrow studziennych. Przegl. geol., 1966, 14, N 6.

Riempp G. Brunnenverockerung an Vertikalbrunnen. Wasserwirtschaft-wassertechnik, 1964, N 4.

Schönebecker Brunnenfilter, Catalog. BRD, Hannover, 1963.

Skott V. H., Vaadia I. Hydraulic properties of perforated well casings. J. Irrigat. and Drain. Div. Proc. Amer. Soc. Civil. Engrs. 1958, vol. 84, N 1.

Tanaki K. Hudraulic of wells. J. Agric. Engng. Soc. Japan, Vol 24, N 5, 1956.

Solliman M. M. Boundary flow considerations in the desingn of wells. J. of the Irrigation and Drainagl Div. Proc. Amer. Soc. Civil. Engrs., 1965, 91, N 1.

Truelsen Chr. Neue Erkenntnisse zur Verhinderung der Verockerung und Alterung von Bohrbrunnen. Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau, 1958, Heft 11.

Weite F. Filtration im Brunnenbau insbesondere unter Verwendung von Kiesbelagfiltern.

Wyrebski P. Monolitowe filty laminatowe (poliester zbrojny włoknem szklanym). Techn. noszuk, 1965, 4, N 15—16.