

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

В процессе эксплуатации скважин, как правило, происходит снижение их производительности. Одной из основных причин уменьшения дебита скважин является кольматация фильтров и прифильтровых зон водоносного пласта, которая вызывает увеличение гидравлических сопротивлений и снижение притока воды в скважины. Различают три вида кольматации: механическую, химическую, биологическую.

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКВАЖИН

Полнее извлекаются кольматирующие образования с поверхности фильтра и призабойной области и эффективнее восстанавливаются структура и пористость водоносной породы при применении комбинированных способов обработки скважин, сочетающих импульсное или вибрационное воздействие на фильтр и прилегающий к нему пласт с последующим или одновременным растворением разрушенных и диспергированных кольматирующих образований в реагентах.

К импульсно-реагентным методам обработки относятся методы, сочетающие воздействие на фильтр и прифильтровую область взрыва заряда ВВ, электровзрыва, пневмовзрыва с реагентной обработкой. Более высокая степень восстановления производительности скважин во многих случаях обеспечивается осуществлением взрывов различных видов непосредственно в реагентах, так как при этом интенсифицируется массообмен между растворителями и кольматантами, под действием импульсных нагрузок реагенты более глубоко проникают за контур фильтра, а растворенные вещества лучше отводятся от зоны контакта.

Импульсные и вибрационные методы обработки фильтров и прилегающих к ним водоносных пластов успешно применяются также при освоении (разглинизации) скважин, пробуренных роторным способом с промывкой глинистым раствором.

ПНЕВМОВЗРЫВ

Пневмовзрыв (выхлоп сжатого воздуха) в окружающей жидкости возбуждает волны давления, действующие на фильтр и при-фильтровую зону.

Энергия сжатого воздуха при его мгновенном расширении преобразуется в механическую работу. Восстановление проницаемости фильтров и прифильтровых зон происходит за счет разрушающего действия пневмовзрыва. В результате пневмоимпульсного воздействия находящиеся на фильтровой поверхности и прифильтровой зоне глинистые осадки или химический кольматант разрушаются и выносятся гидропотокком в скважину, откуда в последующем удаляются при откачках [44].

К достоинствам пневмовзрыва можно отнести возможность регулирования его гидродинамических параметров и цикличности воздействия в широких пределах, доступность и безопасность рабочего реагента — воздуха.

Одним из параметров пневматической камеры, определяющих интенсивность воздействия импульсных нагрузок на фильтр и породу водоносного пласта, является скорость нарастания давления на фронте ударной волны. Скорость зависит от многих факторов: давления сжатого воздуха, качества обработки внутренних поверхностей пневмокамеры, площади выхлопных отверстий и т. д., которые в конечном итоге определяют быстрое действие пневматической камеры.

Оборудование для пневмоимпульсной обработки скважин

Для восстановления производительности водозаборных скважин широко применяются установки АВПВ-150, разработанные в АЗНИИ водных проблем, и установки АСП-Т, разработанные во ВНИПИ взрывгеофизике и серийно выпускаемые Подольским экспериментальным заводом геологоразведочного оборудования (Мин-гео СССР).

Установки для обработки скважин пневмовзрывами имеют одну и ту же принципиальную схему (рис. 13), но различаются конструкцией пневмоизлучателей, компоновкой оборудования, источниками энергии, способом транспортировки к месту производства работ.

Рабочим органом установки для очистки фильтров скважин является пневмоизлучатель (скважинный пневмоснаряд), обеспечивающий быстрый выпуск сжатого до высокого давления воздуха из выходных отверстий, имеющих достаточно большие размеры. В установках АВПВ-150 широко применяется пневмоснаряд с клапаном типа ПСК-70/1, представленный на рис. 14.

Он состоит из рабочей камеры 1, цилиндра 2 с золотником 3, перекрывающим выхлопные окна 4, клапана 5 с возвратной пружиной 6 и нижнего разрядного клапана 7, прижимаемого к седлу пружиной 8. Разрядная камера, расположенная между клапанами 5 и 7, вверху сообщается с рабочей камерой через клапан 5, а внизу со скважинным пространством через отверстия, перекрываемые клапаном 7.

Пневмоснаряд устанавливается внутри фильтровой трубы, и в рабочую камеру 1 подается сжатый воздух. В начальный момент давление по обе стороны золотника 3 равно, в связи с чем золотник находится в равновесном состоянии и перекрывает выхлопные окна 4. Как только давление воздуха повысится настолько, что превзойдет усилие, создаваемое пружиной 8 и гидростатическим давлением воды в скважине, клапан 7 начнет отходить от седла. При этом давление воздуха мгновенно распространяется на большую площадь, и клапан 7 быстро перемещается вниз, полностью открывая сечение канала. В связи с этим сжатый воздух из разрядной камеры сбрасывается в скважину, а между рабочей и разрядной камерами возникает разность давлений, под действием которой золотник 3 устремляется вниз и резко открывает выхлопные окна 4. Сжатый воздух врывается в скважинное пространство, и под действием возникающих при этом динамических нагрузок разрушаются и диспергируются отложения, препятствующие притоку воды в скважины. После выхлопа воздуха давление в рабочей камере уменьшится и клапаны 5 и 7 вернутся в первоначальное положение под действием усилия, создаваемого пружинами 6 и 8.

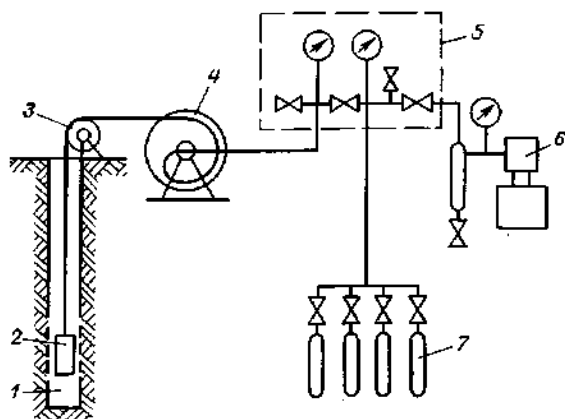


Рис. 13. Схема установки для пневмоимпульсной обработки скважин.

1 — скважина; 2 — пневмокамера; 3 — направляющий блок; 4 — лебедка; 5 — щит управления; 6 — компрессорный агрегат; 7 — воздухохраник.

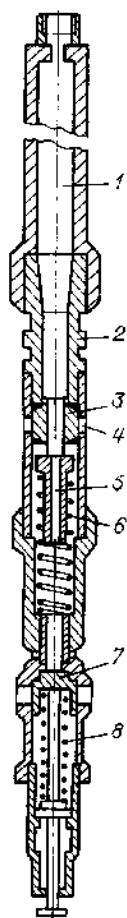


Рис. 14. Схема пневмоснаряда.

1 — рабочая камера; 2 — цилиндр; 3 — золотник; 4 — выхлопные окна; 5 и 7 — клапаны; 6 и 8 — пружины.

Рукав высокого давления подает сжатый воздух в пневмоснаряд и одновременно используется в качестве троса для спуска и подъема снаряда. Он должен быть достаточно гибким, прочным, герметичным, износостойчивым и должен выдерживать давление, не менее чем в 3 раза превышающее максимальное рабочее. Этим требованиям удовлетворяют рукава высокого давления с одной металлической оплеткой по ТУ 6-19-162-80.

Направляющий блок служит для направления рукава в скважину и его начальной центровки.

Лебедка выполняет спуско-подъемные операции пневмоснаряда в скважине. Для укладки рукава с жесткими соединительными узлами барабан лебедки должен иметь диаметр не менее 700 мм. Для подачи сжатого воздуха в движущийся пневмоснаряд конец рукава присоединяется к полуму валу, на котором установлен вертлюг. Электропривод барабана лебедки обеспечивает 6 — 10 об/мин, что соответствует линейной скорости движения рукава 0,25 — 0,4 м/с.

Компрессорный агрегат вырабатывает сжатый воздух и состоит из компрессора и соединенного с ним упругой муфтой электродвигателя. Для таких установок могут использоваться различные компрессорные агрегаты, обеспечивающие сжатие воздуха до 20 МПа. Воздухосборник накапливает сжатый воздух и комплектуется из трех или четырех 40-литровых стандартных баллонов, установленных горизонтально в виде кассеты. Такая емкость воздухосборника достаточна для обработки фильтра.

Щит управления объединяет в одну систему компрессор, воздухосборник и пневмоснаряд и служит для управления движением сжатого воздуха. На щите управления расположены вентили, установленные на линиях зарядки баллонов от компрессора, подачи сжатого воздуха из воздухосборника и компрессора и его сброса в атмосферу. Здесь же находятся манометры, показывающие давление в различных элементах пневмосистемы, а также элементы управления компрессором и лебедкой.

Установка АСП-Т располагается на одноосном закрытом прицепе к грузовому автомобилю (рис. 15 и 16). Она укомплектована набором пневмокамер, предназначенных для обработки водозаборных скважин, работающих в разных технико-геологических условиях. Сжатый воздух поступает в пневмокамеры от баллонов по гибкой пневматической магистрали высокого давления. Автономность установки и высокая ее производительность обеспечивается компрессором высокого давления, с помощью которого производится дозаправка баллонов при пневмообработке скважин.

Основные параметры аппарата АСП-ТМ

Максимальное давление сжатого воздуха в баллонах, МПа 15,0

Максимальное рабочее давление воздуха в магистрали пневмо- 12,0
камеры, МПа

Минимальное рабочее давление в пневмокамере, МПа 3,0

Рабочий объем пневмокамеры, см³ 70, 200, 500

Диаметр пневмокамеры, мм 50, 75, 80

Частота срабатываний пневмокамеры, Гц 0,2 — 0,5

Суммарный объем сжатого воздуха, л 120

Минимальный диаметр обрабатываемой скважины, мм 70

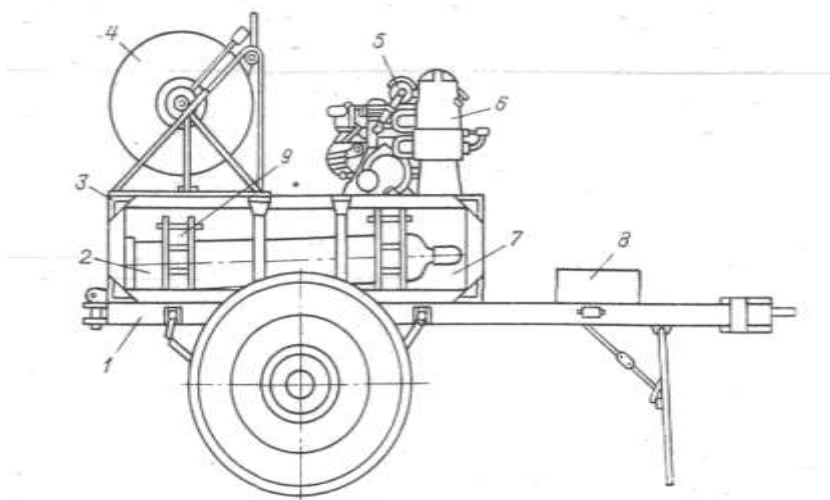


Рис. 15. Автоматическая скважинная пневматическая установка АСП-Т.

1 — одноосный придел; 2 — баллоны со сжатым воздухом; 3 — рама; 4 — лебедка; 5 — компрессор; 6 — ресивер; 7 — камера для баллонов; 8 — ящик для инструментов.

Установка может эксплуатироваться в различных дорожных и погодных условиях при температуре жидкости в скважине от 4 до 50° С и окружающей среды от — 20 до +30° С.

Применение АСП для разглинизации скважин

Испытания аппарата с пневматической камерой объемом 70 см^3 проводилось в районе г. Вичуги Ивановской области.

Для организации водоснабжения города используется днепровско-окский водоносный горизонт. Водовмещающими породами являются пески разномерные, неравномерно глинистые с гравием и галькой. В верхней части разреза пески среднезернистые и мелкозернистые, преобладают последние. В песках, особенно в средней части разреза, встречаются линзы супесей и суглинков мощностью 2 — 5 м. Водонепроницаемой кровлей водоносного горизонта являются плотные суглинки днепровской морены, мощность которых изменяется от 6 — 12 до 26 — 35 м. Необходимо отметить, что моренные суглинки являются относительным водоупором, так как на многих участках они содержат линзы и прослойки супесей и песков, мощность которых достигает 10 — 12 м. Питание водоносного горизонта осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков через наиболее песчаные моренные суглинки.

Водоносные горизонты вскрывались бурением с применением глинистых растворов. Результаты использования пневматических камер объемом 70 см^3 для разглинизации гидрогеологических скважин в районе г. Вичуги приведены в табл. 11.

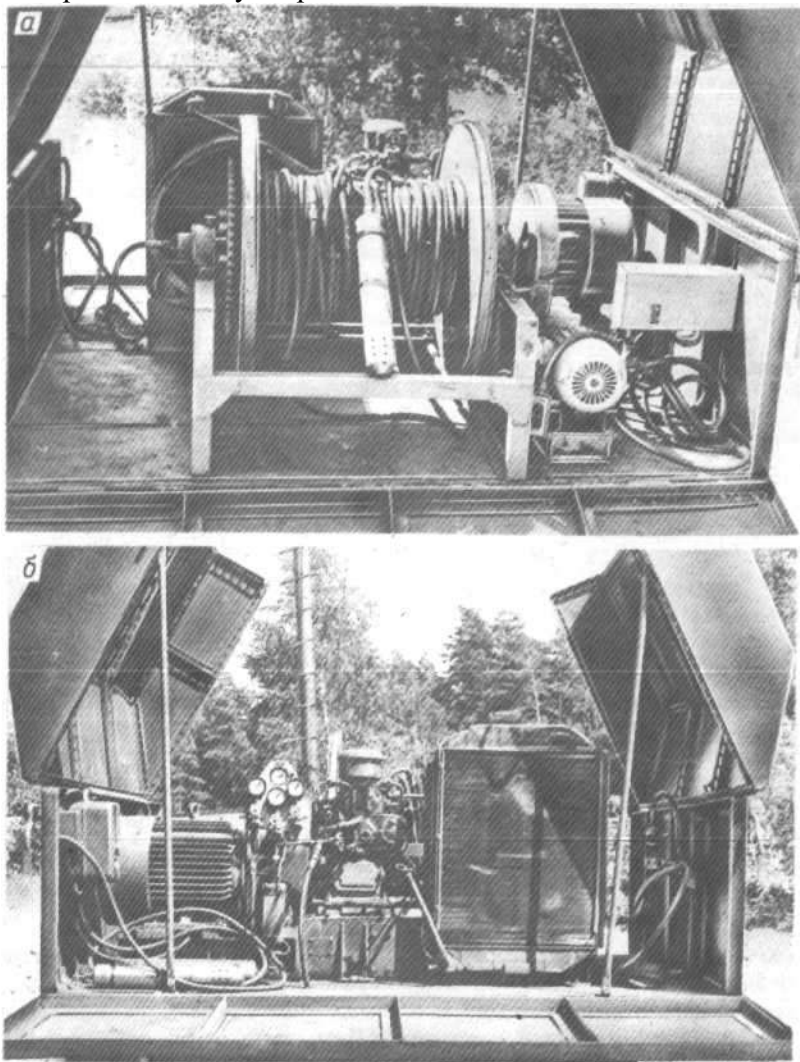


Рис. 16. Внешний вид установки АСПТ.

а — со стороны лебедки (на переднем плане — скважинный пневмоснаряд); *б* — со стороны компрессора и пульта управления.

Сравнительные испытания пневматических камер объемом 70 и 500 см^3 были проведены в скважинах Усманского участка Липецкой гидрогеологической партии (ГГП). Водовмещающими породами являются разномерные пески, гранулометрический состав которых приведен в табл. 12.

Таблица 11

Данные об эффективности пневмоимпульсной обработки гидрогеологических скважин в районе г. Вичуги (Ивановская обл.)

Номер и местоположение скважины	Конструкция фильтровой колонны и интервал обработки	Дебит скважины			
		до пневмообработки		после пневмообработки	
		л / с	л/ (С-М 1	л/с	л/(с-м)
24, Вичугский район, дер. Путковское	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 22,6 — 49,4 м	1,33	0,06	2,18	0,11
21, Вичугский район, дер. Жуковское	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 25,4 — 41,2 м	7,46	0,53	9,26	0,74
23, Кинешемский район, дер. Пешкове	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 21,2 — 37 м	0,74	0,06	4,00	0,34
17, дер. Пестовка	Фильтр сетчатый 0 168 мм в интервале 16,5 — 30 м	1,42	0,70	6,60	0,90
18, дер. Потехино	Фильтр сетчатый 0 108 мм в интервале 21,0 — 26,8 м	1,17	0,09	2,60	0,13
12, г. Вичуга	Фильтр сетчатый 0 108 мм в интервале 39,2 — 42,45 м	4,54	0,27	8,30	0,60

Таблица 12

Гранулометрический состав песков водоносного горизонта (Усманский участок Липецкой ГГП)

Фракция, мм	Количество по массе, %	Фракция, мм	Количество по массе, %
>1,5	2	0,49 — 0,2	30
1,49 — 1,0	5	0,19 — 0,1	36
0,99 — 0,5	18	<0,1	9

Удельные дебиты скважин, пробуренных на небольшой территории в одинаковых гидрогеологических условиях, изменялись от 0,27 л/(с-м) до 3,07 л/(с-м). Такой характер изменения удельных дебитов при довольно однородном гранулометрическом составе во-довмещающих пород в плане и в разрезе свидетельствовал о недостаточной разглинизации скважин. Проведенные работы по разглинизации скважин методами промывки, прокачки эрлифтом и другими оказались малоэффективными, а в некоторых скважинах (1030 н) при откачке пласт почти не работал, и только с помощью пневматического импульсного излучателя произвели разглинизацию скважины. Результаты приведены в табл. 13.

Сравнительные испытания показали, что применение пневмока-мер объемом до 500 см³ обеспечивает более высокие приросты дебита. При испытаниях было установлено, что сетчатые фильтры, изготовленные из латунной сетки на каркасах из перфорированных труб диаметром 108 мм не получают при обработке пневматическими камерами объемом 500 см³ повреждений, приводящих к последующему пескованию скважин. С учетом результатов испытаний в последующих работах в скважинах на воду, оборудованных новыми сетчатыми фильтрами диаметром 108 мм и более, использовались пневмокамеры объемом 500 см³.

Таблица 13

Данные сравнительных испытаний пневматических источников в скважинах Усманского участка Липецкой ГПП

Номер скважины	Удельный дебит, л/(с-м)		Коэффициент эффективности	Объем пневмокамер, см ³	Время обработки скважины, мин
	до пневмо-обработки	после пневмо-обработки			
1021н	0,13	0,50	3,80	70	45
1026н	0,12	2,20	18,30	500	25
ЮЗОн	0,04	0,78	19,50	500	40
1035н	0,39	1,20	3,07	70	25
ЮЗбн	1,10	2,50	2,27	70	25
1037н	1,92	2,18	1,13	70	25
1038н	0,79	1,10	1,39	70	45

Испытания АСП с целью определения эффективности применения пневмообработки при сооружении гидрогеологических скважин были проведены также при разведке подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения на Жуковском и Знаменском участках Оскольского электрометаллургического комбината. На Жуковском участке были опробованы четвертично-нижнемеловой и юрский водоносные горизонты и комплексы. Четвертично-нижнемеловой водоносный комплекс характеризуется безнапорным режимом. Пески по гранулометрическому составу мелко- и среднезернистые. Преобладают фракции 0,5 — 0,2 и 0,2 — 0,1 мм. По площади распространения состав их остается выдержанным. Фильтрационные свойства водоносного комплекса относительно однородны. Удельные дебиты скважин 1,08 — 1,88л/(с-м).

Бурение гидрогеологических скважин на участке производилось с применением жидкого глинистого раствора или водногипановой смеси. Скважины оборудовались в основном фильтрами из латунной сетки на перфорированных каркасах диаметром 108 — 168 мм. Откачки ряда скважин после бурения показали низкие дебиты, обусловленные глинизацией пласта и фильтра.

С целью разглинизации и получения более высоких притоков была проведена пневматическая обработка фильтров ряда скважин. Основные результаты работ приведены в табл. 14.

Как видно из табл. 13 и 14, большинство скважин значительно увеличивали дебит после пневмообработки.

На Знаменском участке пробурено 30 скважин. Глубины скважин изменялись в пределах 42 — 57 м. Водовмещающие породы неоднородны в разрезе. В верхней части разреза преобладают грубозернистые фракции с включением гравия до 5 — 10%. Ниже их сменяют в основном мелкозернистые пески с преобладанием фракций 0,5 — Г), 2 и 0,2 — 0,1 мм (37 — 56%). Пылеватые и глинистые частицы во всем разрезе имеют подчиненное значение, суммарное их содержание не превышает 10%. В нижней части разреза пески разнотер-нистые. Подземные воды обладают слабонапорным режимом.

Таблица 14 Эффективность применения АСП на Жуковском участке Новооскольской ГПП

Номер скважины	Дебит скважины				Коэффициент эффективности
	до пневмо-обработки		после пневмо-обработки		
	л/с	л/(С-М)	л/с	л/(с м)	
100	0,75	Нет свед.	5,64	Нет свед.	7,52
104	4,00	0,35	3,70	0,60	1,71
105	3,55	0,28	4,00	0,80	2,85
106	13,8	3,08	14,40	3,90	1,26
107	0,24	Нет свед.	3,45	Нет свед.	14,37
113	0,15	То же	2,91	То же	19,40
114	0,68	»	3,76	»	5,53
117	7,10	0,84	9,40	1,12	1,33

Бурение гидрогеологических скважин производилось колонковым способом станком ЗИФ-650 в зимнее время и роторным способом установкой УРБ-ЗАМ в летнее время. В качестве промывочной жидкости применялся жидкий глинистый раствор. Две скважины (128г и 131г) пробурены с промывкой 2 — 3%-ным водогипановым раствором. Применение в качестве промывочной жидкости раствора гипана при бурении по водовмещающим песчаным породам горизонта положительно сказалось на производительности скважин при откачках.

Водоприемная часть всех разведочных и наблюдательных скважин была оборудована фильтровыми колоннами. Большинство пробуренных скважин было оборудовано сетчатыми фильтрами с применением

сетки галунного плетения со скважностью 15 — 20%.

Применение глинистого раствора в процессе бурения гидрогеологических скважин пагубно сказывалось на фильтрационных свойствах водовмещающих пород горизонта вблизи фильтровой колонны. Да и сам сетчатый фильтр частично коагулировался глинистыми частицами.

Таблица 15 Результаты применения АСП на Знаменском участке Новооскольской ГПП

Номер скважины	Диаметр фильтра, мм	Интервал установки фильтра, м	Удельный дебит скважины, л/ (с м)		Промывочная жидкость	Коэффициент эффективности
			до пневмо-обработки	после пнев-мообработки		
118г	146	24,3 — 38,9	1,1	5,0	Глинистый раствор	4,55
119г	146	23,7 — 39,3	8,1	9,0	То же	1,11
120г	146	28,0 — 43,7	0,1	4,2	»	42,00
121г	108	25,9 — 43,2	0,1	4,1	»	41,00
124г	108	28,6 — 45,0	0,2	4,0	»	20,00
125г	219	22,2 — 45,1	2,1	4,3	»	2,04
128г	108	70,4 — 80,7	5,8	7,0	Гипан	1,32
131г	108	33,2 — 46,9	5,3	5,7	»	1,00
135г	146	27,5 — 41,0	12,0	13,3	Глинистый раствор	1,11
137г	108	36,0 — 51,6	7,2	10,0	То же	1,40
138г	108	27,6 — 42,4	0,4	2,0	»	5,00
143г	108	32,8 — 44,5	5,0	5,7	»	1,14

Для разглинизации фильтра и пласта производилась промывка скважин чистой водой, желонирование и свабирование. В некоторых скважинах производилась зафильтровая промывка чистой водой через обратный клапан, устанавливаемый в нижнем торце фильтровой колонны. Вода закачивалась через бурильные штанги, которые соединялись с обратным клапаном. На поверхность вода выходила через затрубное пространство, вымывая глинистый раствор. Из-за низкой эффективности примененных методов для разглинизации применялся аппарат АСП. Результаты работ приведены в табл. 15.

Актуальными становятся вопросы качественного вскрытия водоносных горизонтов в сложной гидрогеологической обстановке. Работы по разглинизации скважин с помощью пневмоимпульсных источников проводились в Краснодарском крае, в Казахстане, в восточных районах БАМ. Условия их проведения и результаты в основном совпадают с приведенными примерами.

Применение АСП для восстановления производительности скважин

Эффективность применения пневмоимпульсного излучателя при восстановлении эксплуатационных водозаборных скважин оценивается так же, как и для гидрогеологических скважин, прямым увеличением дебита за счет снижения гидравлического сопротивления фильтра и пласта. Кроме того, для эксплуатационных скважин критерием оценки эффективности является также устойчивость полученного прироста дебита.

Работы по восстановлению дебита эксплуатационных скважин с помощью аппаратов АСП проведены в Воронежской, Курской, Калининской, Московской, Оренбургской областях, Приморском и Краснодарском краях, в Белоруссии, Казахстане, Узбекистане. При этом комплексы аппаратуры АСП использовались для обработки эксплуатационных скважин, вскрывающих как пески, так и скальные и полускальные водоносные породы и оборудованных фильтрами сетчатыми на каркасах из перфорированных труб, проволочными каркасно-стержневыми, дырчатыми и щелевыми, а также фильтрами из полимерных материалов. Ниже приводятся наиболее характерные результаты применения установки АСП в различных гидрогеологических условиях.

Большинство скважин на Киевском водозаборе г. Курска пробурено ударно-канатным способом и вскрывает водоносный горизонт, представленный крупно- и среднезернистыми аллювиальными песками с относительно однородными фильтрационными свойствами.

Таблица 16

Результаты применения пневмообработки водозаборных скважин на Киевском водозаборе г. Курска

Номер скважины	Период эксплуатации, лет	Первоначальный дебит, м ³ /ч	Дебит до пневмообработки, м ³ /ч	Дата обработки	Дебит после пневмообработки, м ³ /ч	Контроль		мерения деф. 12.07.76 г.
						15.07.75 г.	15.12.75 г.	
1	5	40	34	11.07.74 г.	41	36	32	32
2	Новая	26	28	2.01.75 г.	50	Нет свед.	Нет свед.	32
3	6	50	15	16.10.74 г.	23	29	32	32
4	5	50	30	3.01.75 г.	40	40	50	50
5	5	34	38	10.02.74 г.	41	Нет свед.	16	31
7	1	16	13	12.03.75 г.	22	Нет свед.	Нет свед.	15
8	5	35	14	3.01.75 г.	23	13	23	26
18	2	36	17	16.10.74 г.	30	Нет свед.	16	25
19	5	36	10	13.02.75 г.	19	16	24	15
21	6	58	12	17.10.74 г.	19	16	22	23
23	6	50	4	1.03.74 г.	21	28	5	12
25	6	40	13	1.08.74 г.	54	51	29	27
28	6	44	12	2.07.74 г.	85	41	32	50
29	6	40	13	3.10.74 г.	21	29	37	31
32	6	36	10	8.07.74 г.	45	28	Нет свед.	14
33	6	84	8	15.07.74 г.	28	29	37	16
34	6	60	15	9.07.74 г.	41	41	10	7
35	5	60	14	9.07.74 г.	34	13	23	10
36	5	60	40	9.07.74 г.	61	33	23	23
38	2	54	13	5.08.74 г.	32	16	19	18
41	5	50	42	24.08.75 г.	50	НЕТ СВЕД.	Нет свед.	22
46	5	50	10	5.09.74 г.	22	26	24	35
47	5	52	9	6.07.74 г.	21	23	18	47
50	5	48	9	7.07.74 г.	17	16	8	29
53	5	45	6	6.09.74 г.	11	22	11	24
54	5	40	10	7.03.74 г.	22	13	14	16
55	5	51	7	7.03.74 г.	26	29	15	26
56	5	40	11	7.03.74 г.	34	37	31	22
57	2	53	20	7.03.74 г.	65	30	19	19
58	2	40	16	20.09.74 г.	20	36	34	22
60	2	40	24	13.12.74 г.	48	Нет свед.	33	12
61	2	40	21	7.08.74 г.	43	14	11	15
62	2	40	16	21.10.74 г.	23	37	33	Нет
63	1	40	38	24.10.74 г.	57	56	53	свед. Нет
64	1	40	40	2.10.74 г.	60	! 56	61	свед. Нет

Скважины оборудованы фильтрами из перфорированных труб диаметром до 306 мм с проволоочной обмоткой и гравийной обсыпкой. Весь водозабор расположен вдоль реки Сейм по обоим ее берегам. По данным наблюдений, выполненных лабораторией инженерной гидрогеологии ВНИИВОДГЕО по 58 скважинам водозабора, наиболее интенсивное снижение дебитов эксплуатационных скважин (до 50% от первоначального) наблюдалось в первые три года эксплуатации. В последующие годы снижение дебита происходило менее интенсивно и стабилизировалось при 7 — 8 годах эксплуатации скважин.

Пневмоимпульсная обработка скважин водозабора производилась с целью восстановления дебита, снизившегося в процессе эксплуатации. Во всех скважинах использовалась пневматическая камера рабочим объемом 500 см³. Пневмоимпульсной обработке были подвергнуты 64 скважины водозабора (табл. 16). Эффективность работ определялась сравнением дебита по данным откачек скважин до и после

пневмообработки одними и теми же серийными погружными насосами. Прокачка скважин с целью очистки их фильтровых зон от осадков производилась сразу же после пневмообработки. После осветления воды, наступающего примерно через 1,5 — 2,0 ч, измерялся дебит скважин объемным способом и скважины включались в общую сеть городского водоснабжения.

В процессе откачки после пневмообработки двух скважин (54 и 32) были отобраны пробы воды для определения вынесенного осадка и его химического состава. Суммарное количество вынесенного при откачке осадка по скв. 54 составило около 146 кг, по скв. 32 около 110 кг. С целью определения доминирующего компонента 6 проб были изучены в иммерсионных препаратах под микроскопом, спектральным методом, методом рентгенографического и термического анализов. Все изученные пробы оказались одинаковыми по составу. В иммерсионных препаратах в них обнаружены следующие минералы: обломочный кварц (размеры зерен 0,01 — 0,1 мм — 20 — 30%); нонtronит зеленого цвета в виде бесформенных непрозрачных частиц (размером 0,05 — 0,2 мм — 30 — 40%); кальцит (размером 0,001 — 0,01 мм — 20 — 30%); примесь тончайших угловатых частиц металлов, углистого вещества и лимонита — всего в сумме до 10%. Другие методы анализа подтвердили преобладание илистого вещества в осадке.

В семи низкодебитных скважинах водозабора (12; 13, а; 17, а; 18; 22, а; 26 и 26, а), несмотря на двухкратное и более увеличение дебита в результате пневмообработки по сравнению с исходным, не удалось получить притоки, обеспечивающие рентабельную эксплуатацию скважин. После пневмообработки в 5 скважинах усилилось пескование и они были выключены из общей сети водоснабжения.

Суммарный дебит, измеренный сразу же после операций пневмообработки, составил 190% исходного перед пневмообработкой. Для определения стабильности прироста дебита в последующем, через 3 — 14 месяцев после пневмообработки были сделаны контрольные измерения дебита всех скважин, которые показали, что 16 скважин снизили часовую производительность по сравнению с достигнутой в результате пневмообработки, в то время как 32 скважины увеличили производительность (см. табл. 17). За работой скважин, подвергавшихся пневмоимпульсной обработке, в последующие годы велись наблюдения сотрудниками ВНИПИвзрывгеофизики. Изменение дебита скв. 2, пробуренной с использованием обратно-всасывающей промывки представлено на рис. 17 а.

Результаты пневмоимпульсной обработки данной скважины показали, что метод бурения с обратно-всасывающей промывкой в гидрогеологических условиях, подобных условиям Киевского водозабора, не всегда обеспечивает высокое качество вскрытия и освоения водоносного горизонта и требует значительных затрат по освоению скважин с применением специальных средств для разглинизации.

Графики изменения дебита по скв. 7 и 19, также имевшим к моменту пневмообработки относительно низкие первоначальные дебиты, приведены на рис. 17, б и в. Скважины по крайней мере в течение 3 лет после пневмообработки имели повышенную по сравнению с исходной производительность. Необходимо отметить, что достоверность измерений зависит во многом от технического состояния водоподъемного оборудования. Практика показывает, что оценка эффективности того или иного метода интенсификации дебита скважин дает, как правило, заниженные результаты по сравнению с измерениями удельных дебитов.

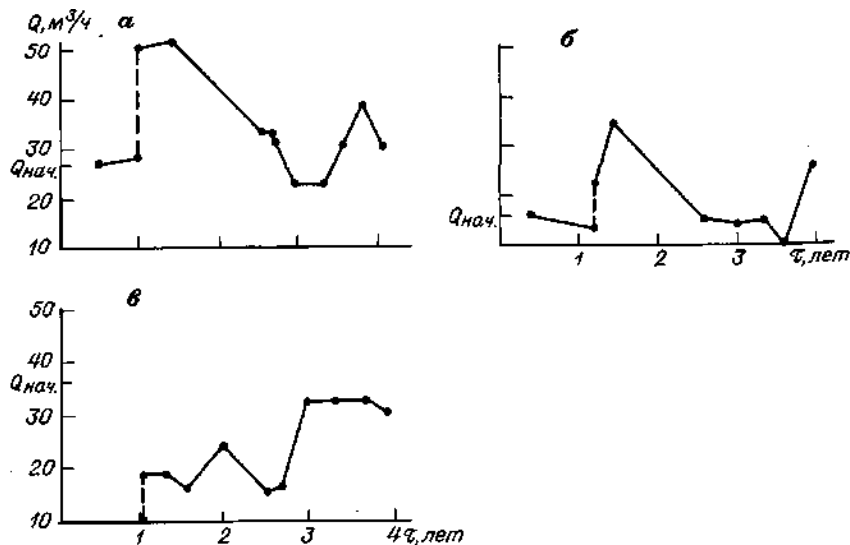


Рис. 17. Графики изменения дебита скважин Киевского водозабора г. Курска для вновь пробуренной скв. 2 (а), для скв. 7, сходящейся в эксплуатации до чороботки около 1 года (б) и для скв. 19, находящейся в эксплуатации до обработки 5 лет (в).

Анализируя результаты применения комплекса аппаратуры АСП для интенсификации притоков скважин в условиях Киевского водозабора г. Курска, можно сделать следующие выводы.

1. Применение пневмоимпульсной аппаратуры позволяет интенсифицировать работу скважин, снизивших дебит, и сделать эксплуатацию большинства из них рентабельной.

2. Сроки эксплуатации скважин до проведения пневмообработки не оказывают решающего влияния ни на абсолютные приросты дебита, ни на их стабильность во времени после обработки.

3. С учетом сроков работы скважин в режиме относительно высокой производительности межремонтный период для скважин водозабора может быть определен 1 — 1,5 годами.

В 1980 г. были проведены работы по восстановлению производительности скважин, обеспечивающих водоснабжение г. Оренбурга. Скважины эксплуатируют песчано-гравийно-галечниковые водоносные горизонты и оборудованы проволочными каркасностержневыми фильтрами диаметром 325 мм с гравийной засыпкой (фракции 1 — 10 мм).

При выполнении пневмообработки была применена технология, позволяющая исключить операцию освобождения скважины от во/ доподъемного оборудования. Ввиду больших диаметров обсадной колонны и фильтра оказалось возможным спускать пневмокамеру в интервал обработки без подъема насоса. Такая технология обеспе-

Таблица 17

Результаты пневмоимпульсной обработки водозаборных скважин г. Оренбурга

Наименование водозабора	Число скважин	Суммарный дебит скважин						Коэффициент эффективности	
		в начале эксплуатации		перед пневмообработкой		после пневмообработки		по отношению к первоначальному удельному дебиту	по отношению к удельному дебиту перед пневмообработкой
		м ³ /ч	м	м ³ /ч	м ³ /ч м	м ³ /ч	м ³ /ч (м)		
Уральский	12	251	785,6	349,5	512,29	487,4	1085,2	1,38	2,12
Южно-Уральский и	18	Нет свед.	Нет свед.	1388,5	649,90	1929,5	1284,4	Нет свед.	1,97

чивала незамедлительную прокачку скважины после или даже в процессе пневмообработки. При откачках после пневмообработки из скважин выносилось большое количество осадка темного или кирпично-красного цвета. Обобщенные результаты работ, позволяющие оценить суммарную эффективность применения метода на Уральском и Южно-Уральском водозаборах г. Оренбурга, приведены в табл. 17.

К сожалению, проследить стабильность прироста дебитов по этим водозаборах не представилось возможным, так как через месяц после пневмообработки во время аномально высокого паводка реки Урал большинство скважин попало в зону затопления и было занесено илом.

Работы по применению ДСП для восстановления дебитов водозаборных скважин проводились также на территории Воронежской и Калининской областей.

Характерные результаты применения АСП по Воронежскому управлению треста Промбурвод приведены в табл. 18. Из таблицы видно, что применение АСП для восстановления скважин в условиях Воронежской области обеспечивает увеличение дебита как в случае консолидированных (известняки), так и в случае рыхлых пород (пески).

Таким образом, применение пневмоимпульсной обработки скважин позволяет увеличить дебиты скважин, эксплуатирующих месторождения подземных вод в различных геолого-технических условиях, и тем самым продлить их жизнь. Вместе с тем необходимо отметить, что пневмоимпульсная обработка скважин может быть применена неоднократно в целях поддержания относительно высоких значений дебита.

Приведенные результаты использования АСП для интенсификации притоков как во вновь осваиваемых, так и в эксплуатирующихся скважинах, охватывают достаточно широкий спектр геолого-технических условий. С учетом их можно прогнозировать перспективы применения аппаратуры в других районах со сходными условиями.

Однако многообразие условий эксплуатации водозаборных скважин как по геологическим, так и по гидрохимическим параметрам диктует необходимость детальной проверки средств и способов,

предназначенных для обеспечения высокопроизводительной работы скважин, в каждом конкретном регионе. Решать вопрос о предпочтительности того или иного метода или средства интенсификации работы скважин можно только после объективной проверки их достоинств и недостатков. Критерием оценки при этом должны служить прямой прирост дебита в результате применения метода или аппарата, а также гарантия безопасных условий труда обслуживающего персонала, стоимость работ, их оперативность и т. п.

Таблица 18

Результаты применения АСП для восстановления дебита эксплуатационных скважин в Воронежской области

Местоположение и номер скважины	Период эксплуатации, лет	Фильтр		Состав пород водоносного пласта	До пневмообработки		После пневмообработки		Коэффициент эффективности
		тип	диаметр, мм		дебит, м ³ /ч	удельный дебит, м ³ /(ч м)	дебит, м ³ /ч	удельный дебит, м ³ /(ч м)	
г. Воронеж, ВПС-9, 1 г. Воронеж, совхоз «Советский» Абрамовский мясоптицекомбинат Воронеж, 32267/11	15 11	Гравийно-проволочный Перфорационный	268 156	Пески Переслаивающиеся аргиллиты,	70,0	6,4	70,0	8,3	1,34 4,1
					2,0	0,2	7,5	0,83	
		Сетчатый № 12/90	306	известняки Пески	0		20,0	4,0	
	Нет свед. 3	Сетчатый	306	Пески	35,0	2,0	70,0	7,0	3,5

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ

Технология реагентной обработки

Реагентные методы восстановления производительности скважин основаны на растворении колюматизирующих соединений и удалении продуктов реакции за пределы скважины обычно путем откачки [4].

Для регенерации скважин наиболее широко применяется соляная кислота HCl, эффективно растворяющая железистые [Fe₂O₃, Fe(OH)₃, FeS] и карбонатные (CaCO₃, MgCO₃) колюматизирующие образования. Оптимальная концентрация кислоты 25 — 30%, при этом процесс растворения интенсифицируется нагревом кислоты до 50 — 60° С.

Более удобны в транспортировке и непосредственном использовании порошкообразные реагенты: бисульфат натрия NaHSO₄, сульфаминовая кислота NH₂SO₃H, солянокислый гидразин N₂H₄·2HCl. Приготовление кислотных растворов в стволе скважины возможно также при помощи газообразных реагентов HCl, CO₂ и SO₂ [2, 28]. Их растворение приводит к образованию в фильтре скважины соляной, угольной и сернистой кислот, растворяющих колюматизирующие образования. Растворы указанных реагентов-нейтрализаторов при взаимодействии с колюматизирующими образованиями и конструктивными элементами фильтра обладают следующими свойствами, которые необходимо учитывать при обработках:

1) образующиеся газы CСb, H₂S при обработке способны вызвать газлифтный подъем раствора по стволу скважины с выбросом на поверхность и опасную загазованность шахтных колодцев и помещений насосных станций;

2) возможность растворения неустойчивых конструктивных элементов скважин (медной, оцинкованной фильтрующих сеток и стальной проволочной обмотки, вяжущего вещества фильтров блочного типа, карбонатной составляющей гравийной обсыпки и блоков и др.);

3) корродирующее воздействие на металлические конструктивные элементы скважин;

4) возможность закупоривания порового пространства прифиль-. тровой зоны продуктами коагуляции растворенного колюматанта при нейтрализации раствора в процессе обработки.

Это предопределяет необходимость тщательной герметизации устья скважины при обработках, введение в

раствор ингибиторов коррозии металлов и стабилизирующих добавок. Работа с жидкими и газообразными реагентами требует соблюдения специальных мер

Таблица 25

Условия применения различных видов реагентов и их оптимальные концентрации, по В. С. Алексею (2)

Реагент		Состав кольматанта	Устойчивость металлического фильтра и обсыпки к кислотам
Состав	Концентрация, %		
HCl	20,0 — 25,0	Fe ₂ O ₃ , Fe(OH) ₃ , FeCO ₃	Кислотоустойчивы
N ₂ H ₄ -2HCl	8,0 — 10,0	FeS, CaCO ₃	
NaHSO ₄ -H ₂ O	5,0 — 7,0	Fe ₂ O ₃ , Fe(OH) ₃ , FeCO ₃ , FeS	
Na ₂ S ₂ O ₄	6,0 — 8,0	Fe ₂ O ₃ , Fe(OH) ₃	Фильтр неустойчив, обсыпка содержит известковистые соединения
HCl	20,0 — 25,0	Fe ₂ O ₃ , Fe(OH) ₃	Кислотоустойчивы
Na ₅ P ₃ O ₁₀	0,8 — 0,5	FeCO ₃ , FeS	
N ₂ H ₄ -2HCl	8,0 — 10,0		
Na ₅ P ₃ O ₁₀	0,1		
NaHSO ₄ -H ₂ O	5,0 — 7,0		
Na ₅ P ₃ O ₁₀	0,1		
HCl	5,0 — 10,0	Fe ₂ O ₃ , Fe(OH) ₃ ,	Кислотоустойчивы
Na ₅ P ₃ O ₁₀	2,5 — 3,0	FeCO ₃ , FeS, CaCO ₃	

безопасности при транспортировке, хранении и приготовлении растворов.

Более слабое корродирующее воздействие на металлические конструктивные элементы скважин оказывает дитионит натрия Na₂S₂O₄, который при концентрации 6 — 8%, pH среды 6 — 8 и температуре не выше 18° С практически полностью растворяет дегидратированные оксиды и гидроксиды железа [5].

Для восстановления дебита скважин с конструктивными элементами, неустойчивыми в кислотах, можно применять комплексообразующие порошкообразные реагенты [триполифосфат натрия Na₅P₃O₁₀] и гексаметафосфат натрия Na₆(PO₃)₆], оптимальная концентрация растворов которых составляет 6 — 8%. При обработке скважин этими реагентами не образуется газов, способных вызвать газлифтный подъем раствора по стволу скважины, что значительно упрощает производство работ. Полифосфаты также являются замедлителями процесса коррозии и при низких концентрациях стабилизируют водные растворы и предотвращают выпадение солей. Условия применения различных реагентов и их оптимальные концентрации приведены в табл. 25.

Концентрированная соляная кислота насосом закачивается в герметизированную скважину непосредственно в фильтр при открытом вентиле на сбросной линии. Растворы из порошкообразных реагентов могут быть приготовлены в заливной емкости или непо-

Таблица 26 **Необходимое количество реагента для обработки 10 м фильтра**

Диаметр фильтра, мм	27%-ная соляная кислота, л	Бисульфат натрия, кг	Дитионит натрия, гидразин солянокислый, кг
306	1200 — 1500 600 — 700	100 — 120	120 — 140
268	1000 — 1200 500 — 600	80 — 100	100 — 120
209	800 — 1000 400 — 500	60 — 80	80 — 100
156	600 — 800	40 — 60	60 — 80

Примечание. В числителе указано количество реагента при подаче раствора в герметизированную на устье скважину, в знаменателе — при подаче раствора в герметизированный фильтр.

средственно в стволе скважины. Для этого в фильтр скважины опускают воздухопроводные трубы и подают сжатый воздух от компрессора под таким давлением, которое исключало бы выброс воздушно-водяной смеси

на поверхность. В бурлящую воздушно-водяную смесь постепенно засыпают необходимое количество реагента. После 5 — 10-минутного перемешивания прекращают подачу сжатого воздуха и извлекают воздухопроводные трубы [4].

Перед обработкой скважин необходимо определить химический состав кольматанта. Пробу осадка можно отобрать с водоподъемного оборудования, из отстойника после механической чистки скважин, а также с поверхности фильтра, извлеченного из скважины.

Реагент для химической обработки скважин выбирается в зависимости от состава кольматанта и устойчивости конструктивных элементов скважины против агрессивного воздействия реагента (см. табл. 25).

Необходимое количество реагента для оптимальной концентрации раствора определяется по табл. 26 [28]. Приведенные в таблице данные основаны на опыте реагентной обработки 500 водозаборных скважин при отборе железосодержащих вод гидрокарбонатно-кальциевого типа при соблюдении оптимального межремонтного периода работы скважин.

При глубоком залегании уровней подземных вод (более 50 м), когда нельзя выдавливать реагент за контур фильтра, скважину обрабатывают способом реагентной ванны, состоящим в следующем. После монтажа герметизирующего устройства, заливки реагента или приготовления раствора из порошкообразных реагентов в скважине, ее герметизируют и в таком положении выдерживают в растворе соляной кислоты и дитионита натрия 10 — 12 ч, в растворе бисульфата натрия и гидразина солянокислого 14 — 16 ч, в фосфатных растворах 20 — 24 ч [2].

При глубине уровня подземных вод до 50 м и фильтрах длиной менее 20 м, когда можно использовать сжатый воздух для выдавливания реагентов за контур фильтра, интенсивное растворение кольматирующих образований обеспечивается циклической обра-

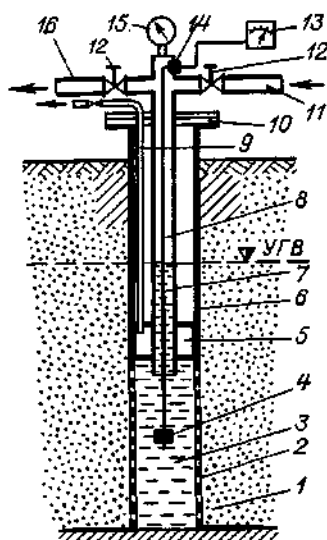


Рис. 30. Схема обвязки скважины при циклическом задавливании реагента.

1 — гравийная обсыпка; 2 — фильтр скважины; 3 — реагент; 4 — датчик для измерения электрического сопротивления реагента; 5 — пневматический пакер; 6 — колонна обсадных труб; 7 — труба пакера; 8 — кабель; 9 — воздухопроводные трубы; 10 — опора; 11 — трубопровод для подачи реагента и сжатого воздуха; 12 — вентиль; 13 — омметр; 14 — сальниковое уплотнение; 15 — манометр; 16 — трубопровод для сброса давления и выпуска продуктов реакции.

боткой, которую проводят в такой последовательности. После заполнения скважины реагентом, производят герметизацию и обвязку скважины по схеме, представленной на рис. 30, при этом применяют пневматические пакеры различных конструкций (рис. 31).

Возвратно-поступательное движение реагента в прифильтровых зонах создают следующим образом. При закрытом вентиле 12 (см. рис. 30) трубопровода для сброса давления и выпуска продуктов реакции 16 компрессором нагнетают по трубопроводу 11 в скважину сжатый воздух. При максимально возможном выдавлении столба реагента в прифильтровую зону скважин вентиль 12 трубопровода 11 перекрывают, компрессор отключают. Затем через 5 — 10 мин сбрасывают давление и выпускают продукты реакции (3 — 5 мин). Далее цикл повторяют. Общая продолжительность обработки не превышает обычно 2 ч, при этом в каждом цикле необходимо обеспечивать давление 0,15 — 0,2 МПа [2]. Время окончания обработки определяют по стабилизации электрического сопротивления раствора, что свидетельствует о предельно возможном увеличении концентрации растворенных кольматирующих соединений и прекращении процесса растворения. Электрическое сопротивление измеряется омметром 13 при помощи датчика 4.

После окончания обработки демонтируют герметизирующее устройство и прокачивают скважину эрлифтом, удаляя остатки реагента и продуктов реакции. Время окончания прокачки определяют по электрическому сопротивлению откачиваемой жидкости. Откачку прекращают при достижении исходных сопротивлений

чистой воды в скважине.

Откачиваемую воду сбрасывают в канализацию, при ее отсутствии — в специально выкопанный огороженный котлован, находящийся на расстоянии не менее 25 м от скважины.

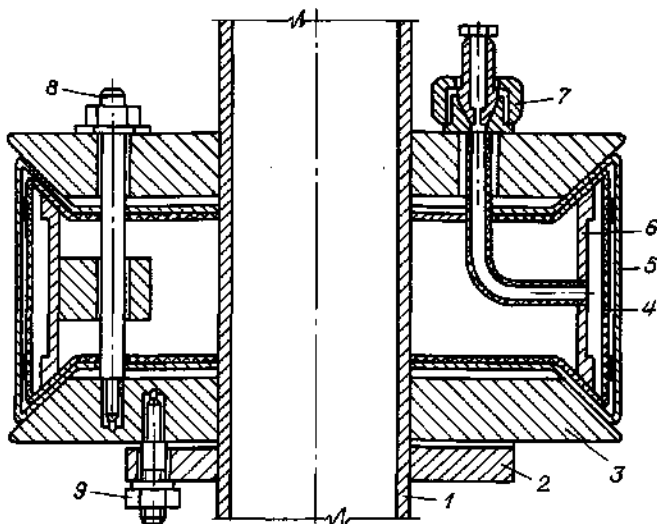


Рис. 31. Пневматический пакер.

1 — труба для заливки реагента; 2, 3 — фланцы; 4 — уплотнительный элемент; 5 — защитная крышка; 6 — обечайка; 7 — ниппель; 8 — шпилька; 9 — болт.

При правильном подборе массы реагента время эрлифтной прокачки скважины не превышает 1 ч.

Межремонтный период ориентировочно определяется при эксплуатации водоносных пластов с железосодержащими водами гидро-карбонатно-кальциевого типа по табл. 27 [30].

Таблица 27

Продолжительность межремонтного периода работы скважин при их реагентной обработке

Тип фильтра	Межремонтный период, лет
Гравийно-проволочный фильтр с толщиной гравийной обсыпки, мм:	
г, р. СП	[__ 2
	1
50 — 200	<u>2 — 3</u>
200 — 300	<u>3 — 4</u>
Сетчатый фильтр	1 __ 2 1
Блочный фильтр	2 __ 3

Примечание. В числителе — период для скважин с кольматирующими образованиями, в которых преобладают окислы и гидроокислы железа, в знаменателе — период для скважин, в кольматирующих образованиях которых преобладают сульфиды, окислы и гидроокислы железа.

Применение комбинированных методов

Регенерация фильтров гидродинамическим действием пневмо-взрывов с последующей реагентной обработкой производилась на скважинах Ульяновского дренажа. При выполнении работ в скважинах осуществляли пневмовзрывы, монтировали герметизирующее оборудование и заполняли полость фильтра 27%-ной соляной кислотой. После этого проводили 8 — 10 циклов задавливания реагента за контур фильтра при давлении сжатого воздуха 0,20 — 0,25 МПа с периодом его подачи 5 мин и выпуска продуктов реакции 3 мин. Продолжительность реагентной обработки составляла 65 — 80 мин.

В результате комбинированной обработки дебит скважин увеличивался в среднем в 5,5 раза, в то время как при обработке

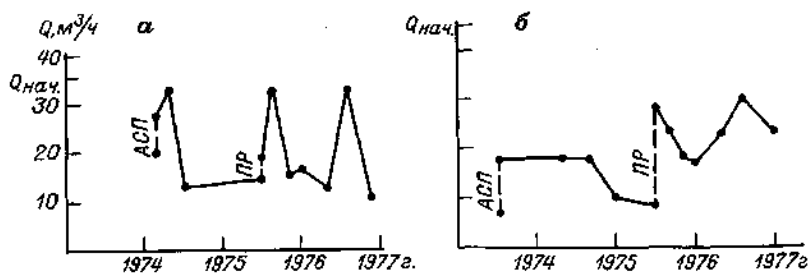


Рис. 34. Графики изменения дебитов скважин Киевского водозабора г. Курска после пневмоимпульсной (АСП) и пневморегентной (ПР) обработок.

а — для скв. 22, находящейся в эксплуатации до первой регенерации 2 года; б — для скв. 26, находящейся в эксплуатации до первой регенерации 5 лет.

таких же скважин только соляной кислотой удельный дебит возрастал в среднем в 2,6 раза [17, 45].

Более высокая степень восстановления производительности скважин может быть достигнута при пневмоимпульсной обработке непосредственно в реагенте, при которой в прифильтровой зоне создается пульсирующее движение реагента. Это интенсифицирует растворение разрушенных кольтматирующих образований. Для регенерации скважин этим способом следует применять реагенты, не обладающие коррозионным воздействием на металлы и резину, например растворы триполифосфата натрия и дитионита натрия со стабилизирующими добавками фосфатов.

Пневморегентную обработку скважины можно производить как при ее герметизации с циклическим задавливанием реагентов воздухом, выбрасываемым из пневмоснаряда, и периодическим сбросом давления, так и при открытом стволе. После обработки пневмоснаряд извлекают на поверхность, полностью разбирают и промывают. Обработку завершают прокачкой скважины эрлифтом до полного удаления раствора реагента и продуктов реакции.

Опыт регенерации скважин пневмовзрывами и реагентной обработкой свидетельствует об эффективности этого метода в различных гидрологических условиях (табл. 30).

В то же время добавка реагента не всегда повышает эффективность пневмоимпульсной обработки ни по абсолютным значениям прироста производительности скважин, ни по стабильности полученного прироста во времени. Это подтверждается многолетними наблюдениями за работой 64 скважин Киевского водозабора г. Курска, проведенными работниками ВНИПИВзрывгеофизики. Характерные графики изменения дебита скважин во времени, построенные по данным табл. 31 (рис. 34), показывают, что темпы падения дебита после пневмоимпульсной (АСП) и после пневморегентной (ПР) обработки близки по значениям, при этом интенсивность снижения производительности происходит не быстрее, чем в условиях естественной эксплуатации тех же скважин.

Комбинированную виброхимическую обработку скважин, фильтр и призабойная зона которых закольтмированы осадками химиче-

Таблица 30

Результаты пневморегентных обработок скважин

Участок работ	опытных	Состав пород водоносного пласта	Характеристика фильтра		Способ обработки	Тип установки	Число скважин	Время эксплуатации, лет	Коэффициент эффективности
			Тип	Диаметр					
Объекты сельскохозяйственного водоснабжения в Тамбовской области		Пески различного гранулометрического состава	Сетчатый	5 — 6	Пневмоимпульсная обработка с последующей кислотной обработкой	АСП-Т	4	1,5 — 6	3,7

Вертикальный дренаж Куйбышевского водохранилища	Мелкозернистые пески	Каркасно-стержне-вой проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой	6	То же	АВП В	2	10-17	5,0
Водозабор «Балтэзерс-2» г. Рига	Разнозернистые пески	Каркасно-стержне-вой проволочной обмоткой и гравийной обсыпкой	8	»	АВП В	2	3	1,2
Объекты сельскохозяйственного водоснабжения в Тамбовской области	»	Сетчатый	5-6	»	АСП-Т	9	2 — 14	3,6

ского происхождения, осуществляют в следующем порядке. Проводят 2 — 3 цикла виброобработки. Затем через патрубков, обычно используемый для отвода поступающей из скважины воды, заливают реагент. Химический состав реагента и его количество определяют в зависимости от физико-химических свойств и структуры кольматанта в соответствии с данными, приведенными в табл. 25. Через 15 — 20 мин после заливки реагента раздувают оболочку пакера и включают вибратор на 10 мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксплуатации водозаборных скважин их фильтры и прифильтровые зоны водоносных пород кольматируются песком, глиной, солями железа, кальция, магния, марганца и другими. Кольматанты осаждаются на водоприемной поверхности фильтров и в порах водоносных пород. В связи с этим увеличиваются гидравлические сопротивления, уменьшается коэффициент фильтрации и производительность скважин. Интенсивность процесса кольматации и характер осадков зависят от гидрогеологических условий работы скважин, режима эксплуатации, конструкции фильтров и др.

Для восстановления производительности скважин широко используются импульсные методы воздействия на фильтр и призабойную область, преобразующие энергию пневмовзрыва. При обработке скважин этим методом кольматирующие образования разрушаются и диспергируются под действием ударной волны и гидродинамического потока. Разрушенные кольматанты выносятся фильтрационным потоком в ствол скважины и удаляются при откачке воды. Этот метод обеспечивают эффект восстановления производительности скважин и может быть использованы при ремонте скважин, работающих в различных гидрогеологических условиях, независимо от структуры и прочности кольматирующих отложений.

Из этих методов более предпочтительными является пневмовзрыв, при использовании которых обеспечивается многократное воздействие импульсных нагрузок с регулируемыми параметрами и этим предотвращается возможность повреждения скважин. Установки для создания пневмовзрыва монтируются из стандартного оборудования, а при их использовании требуется соблюдение достаточно простых правил техники безопасности.

Применение комбинированных методов во многих случаях обеспечивает более высокую степень восстановления производительности по сравнению с импульсными, вибрационными или реагентными за счет лучшего извлечения кольматирующих отложений с поверхности фильтров и прилегающих к ним водоносных пород.