

**Особенности и результаты
высоконапорной кавитационно-
реагентной технологии
реанимации бездействующих
и интенсификации действующих
водозаборных скважин хозяйственного
и питьевого назначения**

Проблемы при эксплуатации водозаборных скважин

- **При эксплуатации водозаборных скважин возникают типичные проблемы, которые можно разделить на три группы: наличие посторонних предметов в скважинах; пескование, т. е. засорение фильтра песком, поступающим с добываемой водой; снижение дебита скважины в результате кольяматации.**
- **Посторонние предметы (гаечные и цепные ключи, гайки, болты, стропы, кирпичи, камни и др.) попадают в скважину при проведении работ над ее устьем. Иногда происходит обрыв или отвинчивание водоподъемных труб с насосом ЭЦВ или отдельно насоса.**
- **Снижение производительности скважин в процессе эксплуатации связано с ухудшением пористости и проницаемости пород призабойной зоны пласта и фильтров вследствие закупорки пор в результате механического, химического и биологического кольямататажа.**

Механический кольматаж

- **Механические формы кольматации активно появляются на этапе сооружения водозаборной скважины, а также в процессе эксплуатации за счет суффозии. При вскрытии или проходке водоносного горизонта вращательным способом с прямой промывкой образуются зоны кольматации пласта, которые связаны с проникновением частиц бурового шлама, глинистого раствора (промывочной жидкости) и фильтрата глинистого раствора.**
- **Механический кольматаж контактной зоны между гравийной обсыпкой и водовмещающей породой, а также на границе фильтрующей поверхности и прилегающей к ней гравийной обсыпки вызывается заклиниванием пор и трещин, обеспечивающих фильтрацию, элементами пласта, в-первую очередь, глинистыми частицами.**

Химический кольтматаж

- Производительность и дренирующая способность скважин существенно снижаются в процессе эксплуатации вследствие зарастания фильтров и прифильтровых зон скважин различными химическими соединениями. Эти соединения образуются в результате нарушения химического равновесия в пласте, связанного с действием в нем гидродинамического возмущения. Нарушение химического равновесия обуславливается выпадением солей, а также смещением газового равновесия, выражающегося в гидролизе бикарбоната железа, окислении закисного железа до трехвалентной формы и избыточном образовании карбонат – ионов.
- В результате нарушения химического равновесия в прифильтровой зоне за счет понижения давления происходит десорбция свободной углекислоты из подземных вод. При этом интенсифицируется гидролиз бикарбоната железа, в результате чего Fe^{2+} окисляется до Fe^{3+} с образованием гидроксида трехвалентного железа $Fe(OH)_3$, основного кольтматирующего соединения.
- При эксплуатации скважин в водоносных горизонтах с подземными водами, склонными к выделению кольтматирующих образований, следует избегать неравномерности режима эксплуатации, в результате которого происходит аэрация подземных вод, надежно герметизировать устья скважин, исключать использование эрлифтных водоподъемников, проверять работу обратных клапанов погружных насосов с тем, чтобы предотвратить поступление обогащенных кислородом вод в фильтр, и предусматривать регулярную регенерацию скважин.

Биологический кольматаж

- **Процессы химического кольматажа, происходящие в прифилтровых зонах скважин, интенсифицируются биологической деятельностью. Основной причиной этого являются железо-, сульфат-, марганцевые бактерии, которые в нескольких видах присутствуют во всех водоносных породах и подземных водах и в результате жизнедеятельности осаждают железо, марганец и выделяют сероводород из подземных вод.**
- **У железобактерий есть такие физиологические особенности, как способность оказывать каталитическое действие на процесс перевода закиси железа в окись, а также интенсивное выделение большого количества гидрата окиси железа, что является основным продуктом их окислительной работы. Они не требуют органических питательных веществ. Существование железобактерий связано с наличием в воде растворенных кислых соединений.**

Основные методы интенсификации дебита скважин

- **Свабирование.**
- **Эрлифтная откачка.**
- **Электрогидроимпульсный метод.**
- **Пневмоиспульсный метод.**
- **Гидродинамический высоконапорный.**
- **Реагентные методы.**

Обсадная колонна подвергается только воздействию коррозии со стороны подземных вод и кислотных обработок. Поэтому срок эксплуатации обсадной колонны в 3 -10 раз превышает срок эксплуатации фильтра. Фильтр и прифильтровая зона скважины являются теми основными элементами, от состояния которых зависят основные эксплуатационные характеристики работы скважины

Вибрационные методы интенсификации добычи пластовых флюидов известны и промышленно апробированы с 70-х годов прошлого века. Особенностью волновых методов интенсификации скважин, ограничивающей их применение, является возможность получения отрицательного результата из-за неверных технических или технологических параметров обработок. Конкретными причинами является закупорка каналов кольматантом в результате поверхностного сцепления, адгезионного прилипания, закупоривающего действия конгломератов слипшихся частиц кольматанта с размерами, превышающими сужения пор в пористой среде. В результате после свабирования, пневмоимпульсной обработки или электрогидроимпульсной обработки возможно не повышение, а снижение дебита.

Использование реагентных методов эффективно в случае точного диагностирования природы кольматанта, верных технологических и технических решений. При неверном подборе реагентов возможно «набухание» глинистых частиц пласта, выпадение водонерастворимых солей, приводящие к резкому снижению дебита после капитального ремонта.

На форсированных режимах обработки пневмоимпульсные и электрогидроимпульсные методы дают высокие результаты повышения дебита, но при этом до 50% скважин, оснащенных сетчатыми фильтрами, приходят в негодность, и скважины начинают песковать. Наиболее целесообразно использование таких методов на бесфильтровых скважинах.

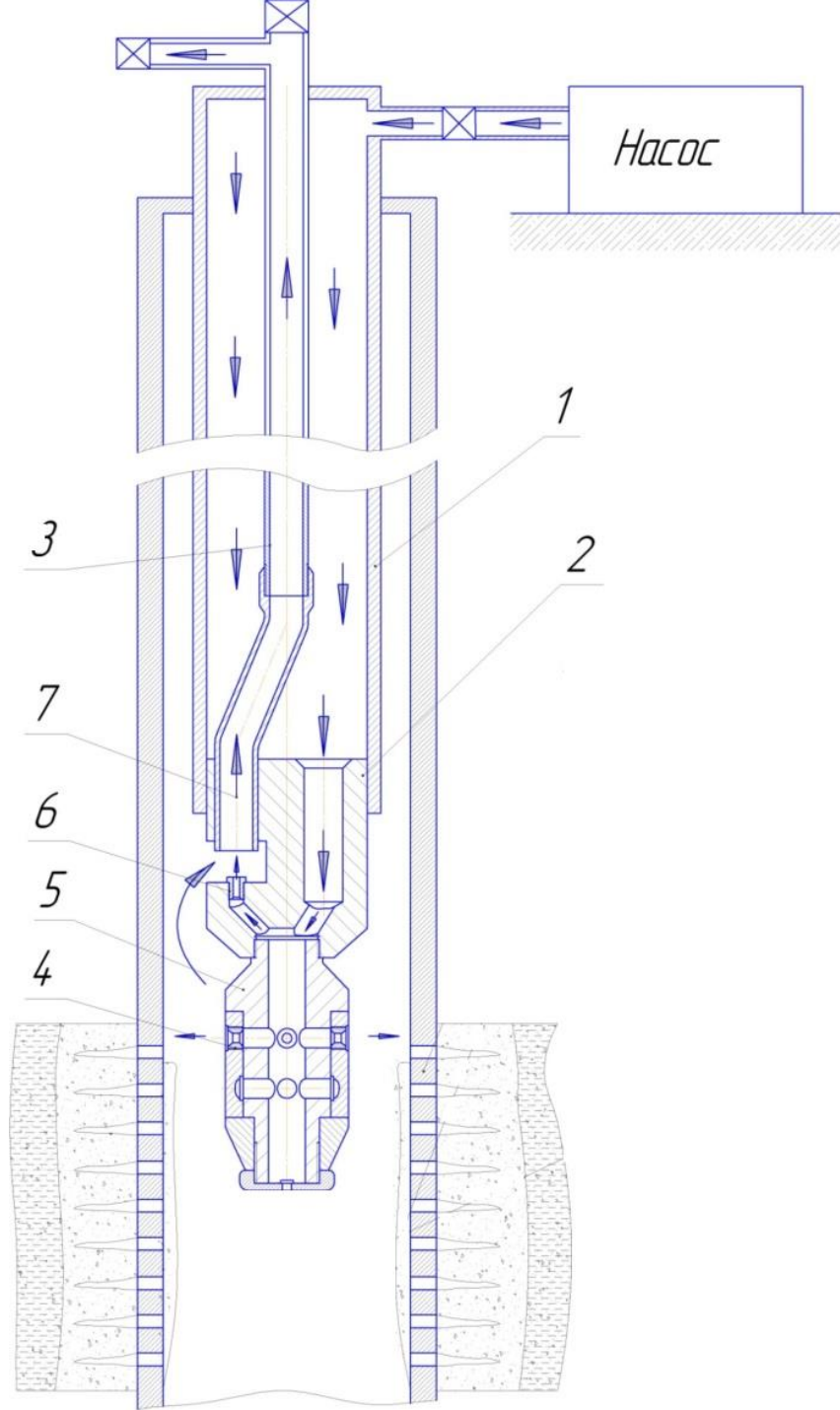
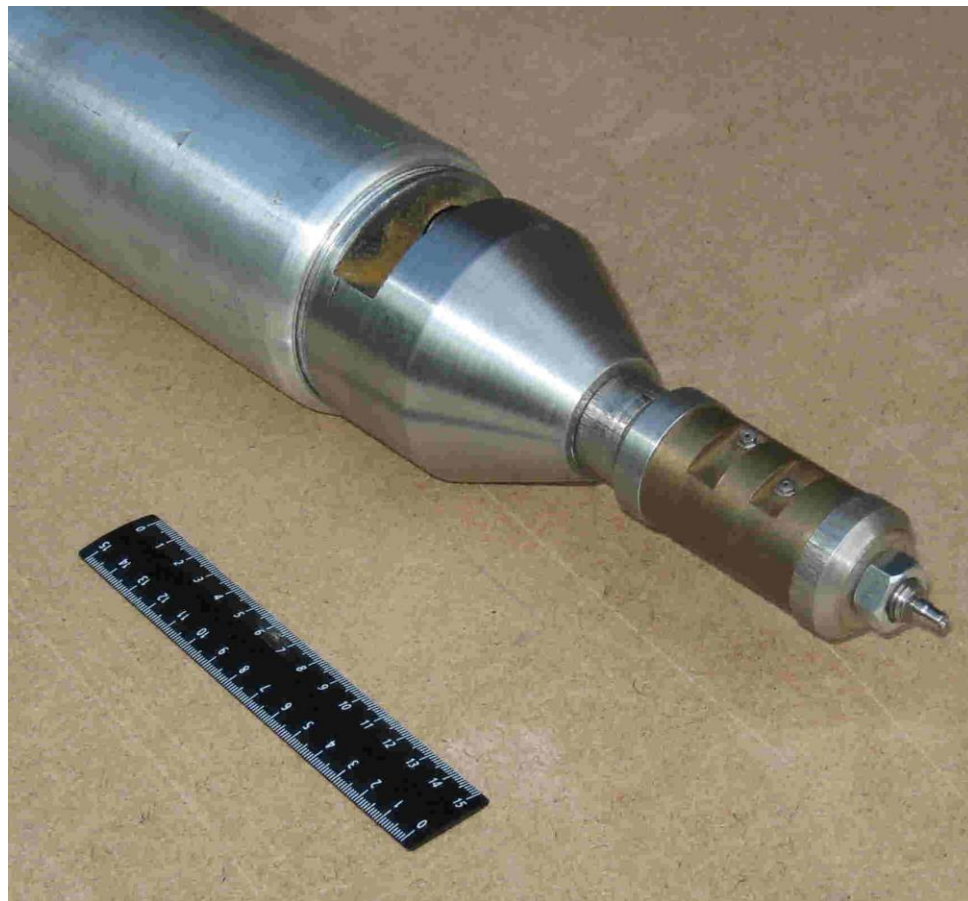
Перечисленные факторы являются причиной того, что зачастую эксплуатирующие организации ликвидируют скважины, а не проводят капитальный ремонт, или проведенный ремонт не дает положительного результата, и, несмотря на затраченные финансовые и временные ресурсы, скважины ликвидируют и бурят новые

- В действительности, количество скважин, которые нецелесообразно реанимировать по экономическим или технологическим причинам, не превышает 5-10% от фонда бездействующих. Это, в-основном, пескующие скважины, ремонт которых осложняется оборванными и заклинившими насосами, посторонними предметами, биологическим заражением, нарушением целостности обсадной колонны и т.п.).**
- При использовании современных эффективных методов ремонта скважин можно значительно снизить долю бездействующих скважин без их ликвидации, путем перевода в действующие, а также повысить эффективность работы действующих скважин.**

Описание разработанных технологий и технических средств

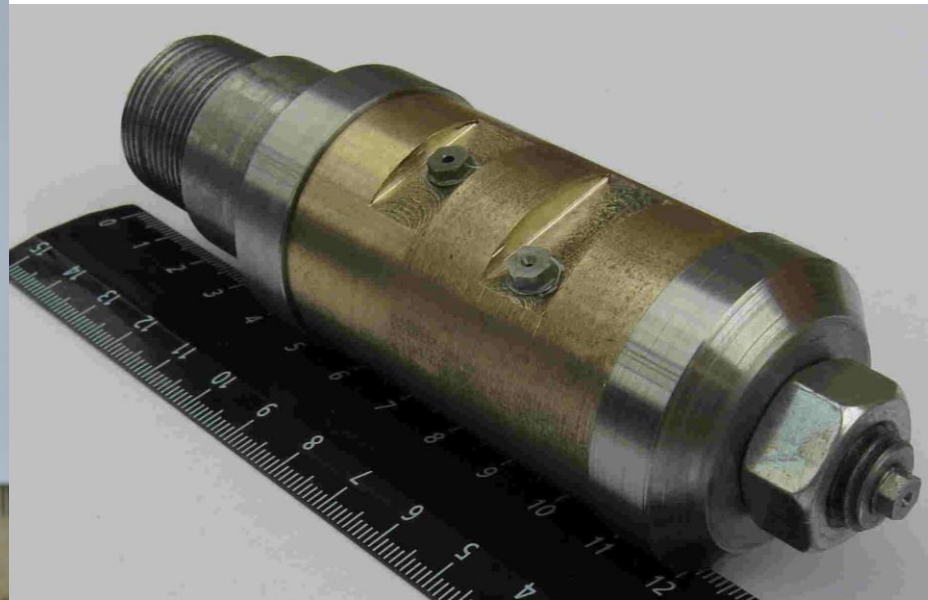
- **Разработана технология обработки скважин, основанная на сочетании эффектов гидродинамической кавитации, низкочастотных волновых процессов и реагентной обработки, а также устройства, реализующие эту технологию.**
- **Для повышения эффективности очистки внутренних стенок фильтровых колонн используются ротационные устройства, в том числе работающие по принципу роторно-пульсационных аппаратов, обеспечивающих равномерную очистку всей поверхности. Эти устройства предназначены как для равномерной очистки обсадной и фильтровой колонн, так и для одновременного создания низкочастотных колебаний.**
- **Технологии и технические средства позволяют провести реанимацию скважин за 2–3 дня без применения громоздкого бурового оборудования.**
- **Стоимость восстановления скважин по данным технологиям составляет 20-40% от стоимости строительства новой скважины.**

Схема кавитационной волновой технологии обработки призабойной зоны пласта и ротационный вибратор, совмещенный со струйным насосом

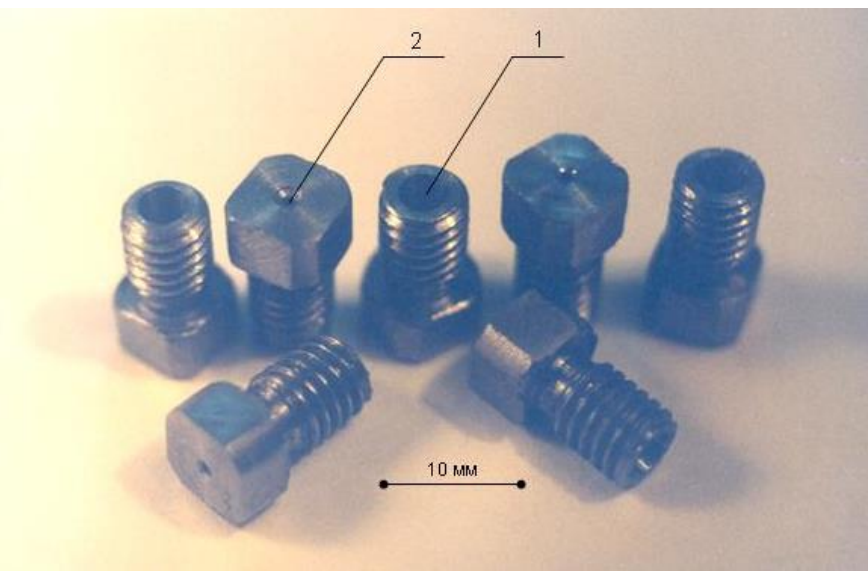


Волновое воздействие генерируется путем прокачки жидкости через вибраторы - гидродинамические генераторы кавитации, спускаемые в скважину. Пульсации давления возникают по 2 причинам – из-за периодического перекрытия каналов статора-ротора в ротационном вибраторе, а также за счет кавитационного течения в профилированных специальным образом насадках.

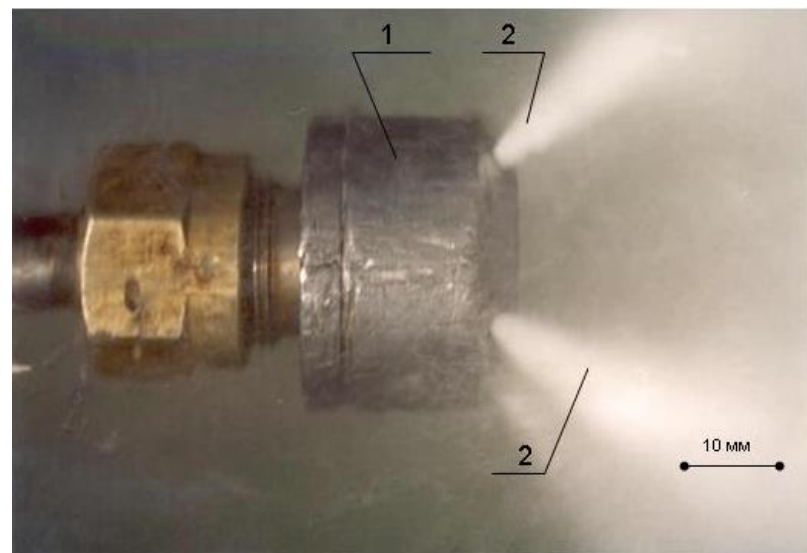
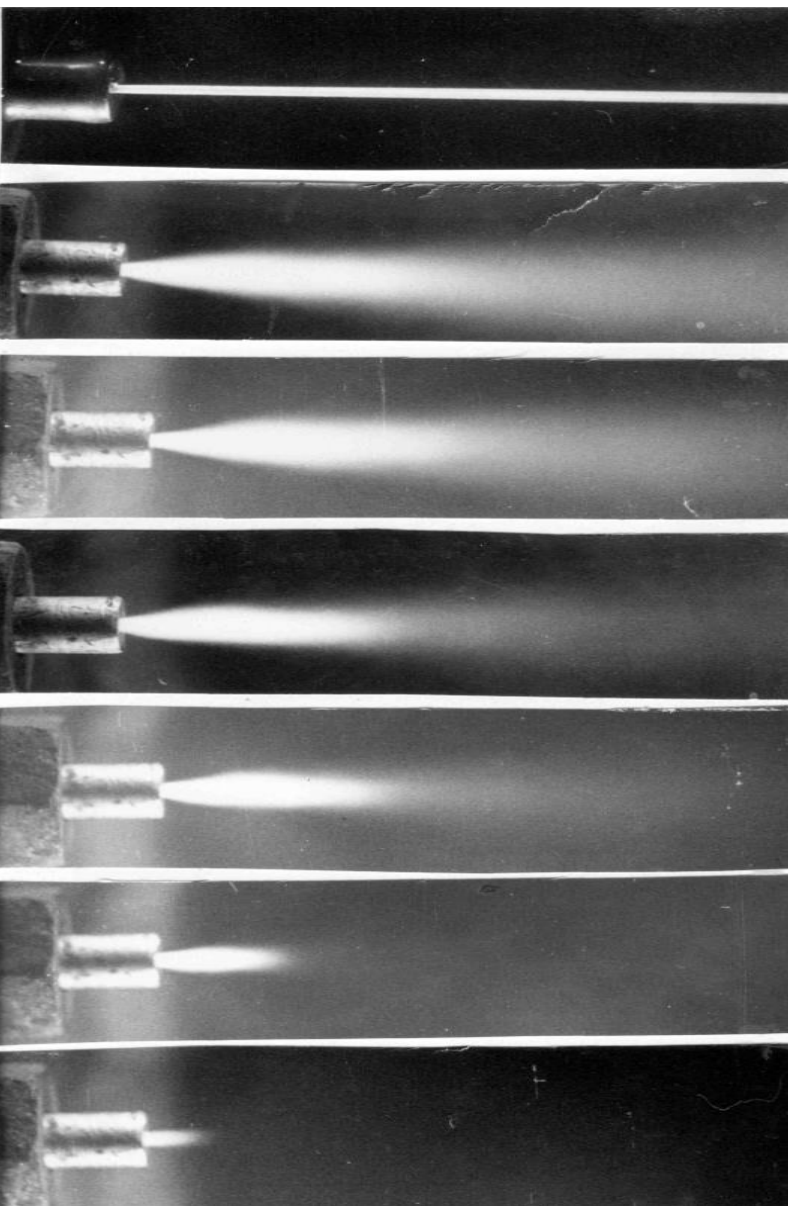
Упругие колебания способствуют интенсифицированию фильтрации жидкости и обеспечивают вынос из призабойной зоны кольматирующего материала, в результате чего очищаются естественные поровые каналы.



Комплекты разработанных гидродинамических насадков и кавитаторов



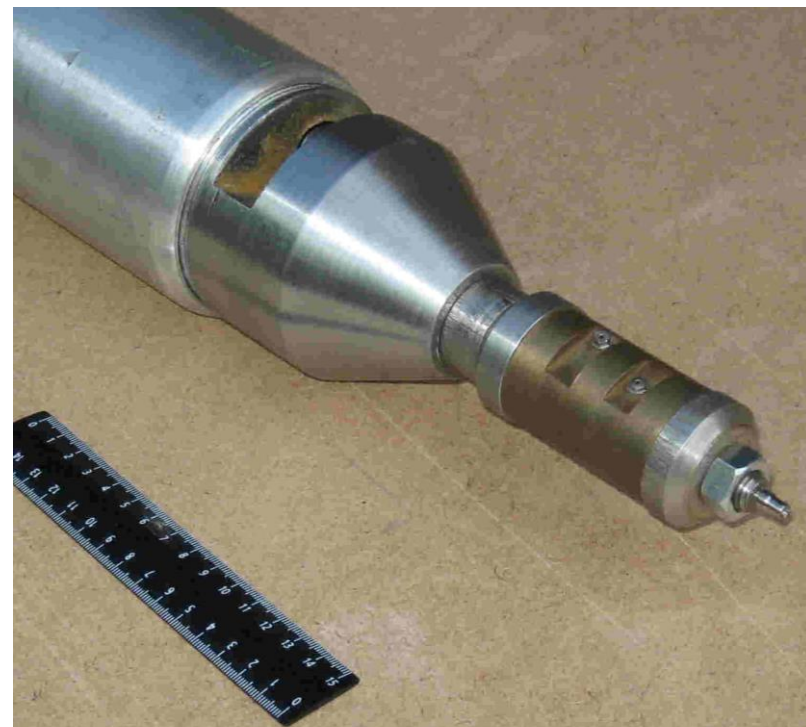
Исследования кавитационного истечения



Эрозия генераторов кавитации (слева - новый, средний - за 3 ч, справа - за 5,5 часов работы на водопроводной воде в скважинных условиях)

- **Частота импульсов, возбуждаемых гидроимпульсным устройством (ротационным гидравлическим вибратором), регулируется изменением конфигурации и диаметра генераторов кавитации, а также расхода рабочей жидкости наземного насосного оборудования. При увеличении расхода повышается перепад давления и частота вращения золотника относительно корпуса ротационного гидравлического вибратора, следовательно, увеличивается скорость открытия и перекрытия отверстий, в которых установлены генераторы кавитации. Возможно изменение частоты импульсов в диапазоне 10–150 Гц даже при малых расходах рабочей жидкости (0,5–1,5 л/с) и перепаде давления 4–40 МПа.**
- **Скорость возвратно-поступательного перемещения роторного или статического вибратора по стволу скважины составляет не более 5 м/мин. Экспериментально установлено, что необходимо и достаточно проводить 7-10-кратную обработку продуктивных интервалов в возвратно-поступательном режиме. В стволе скважины во время ее обработки во взвешенном состоянии находятся мелкие частицы кольматанта, песка и продуктов коррозии. Поэтому для исключения гидроабразивного разрушения сетки фильтра остановка вибратора напротив сетчатого фильтра более чем на 10 секунд не допускается.**
- **Волновое воздействие генерируется прокачкой жидкости через вибраторы, спускаемые в скважину на рукавах высокого давления без использования буровой установки.**

- Для исключения получения отрицательного результата, т.е. для предупреждения закупорки пористой среды и фильтров кольматантом, слипшимся в крупные конгломераты, в процессе обработки скважины на репрессии, необходимым условием эффективной очистки призабойной зоны пласта является сочетание виброволнового воздействия с созданием депрессии на пласт. В таком случае происходит одновременное дробление и диспергирование кольматанта, а также его извлечение из пористой среды вместе с откачиваемой водой и подъем на дневную поверхность.
- При обработке скважины депрессия на пласт осуществляется за счет компоновки вибратора струйным насосом. С этой целью также были разработаны струйные насосы для различных типоразмеров обсадных колонн. Помимо функции создания депрессии задачей разработанных струйных насосов является откачка песка и продуктов коррозии из скважины без использования эрлифта.



Вода с кольматантом, откачиваемая из скважины питьевого назначения, в процессе волновой обработки



Осуществляется как откачка воды с диспергированным кольматантом, так и извлечение на дневную поверхность продуктов коррозии, песка и гравия с размером фракции до 12 мм, что позволяет в процессе ремонта скважины провести откачку отложений из отстойника скважины без бурового насоса, эрлифта (громоздкого оборудования), и, тем самым, восстановить полную глубину скважины

**Гравийно-песчаная смесь
из отстойника скважины 605
Сорумского ЛПУМГа**



Результаты интенсификации скважин в Краснодарском крае

Местоположение скважины, глубина	Дебит до/после обработки, м ³ /час		Прирост дебита
	до	после	
211 Гр, ст. Тбилисская, 310 м	6,9	13	6,1/88%
16 (7302), Курганинский район, 306 м	55	85	30/54%
пос. Радищево, Ст. Советская, 75 м	0,8	7,7	6,9 (862%)
Ст. Попутная, 38 м	1,3	16	14,7(1130%)
Ст. Прочноокопская, 125 м	4,2	10,5	6,3 (150%)
г.Темрюк, 180 м	14,5 $h_{\text{дин}}=43$ $h_{\text{ст}}=2$ м	22,6 $h_{\text{дин}}=20$ м	3,58 раза 189% от дебита, полученного после бурения скважины
Ст. Чамлыкская	0,6 $h_{\text{дин}}=85$ $h_{\text{ст}}=43$ м	13,8 $h_{\text{дин}}=83,5$ м	23,6 раза
Ст. Прочноокопская, Администрация Прочноокопского СП, 180 м	17	30	13 м ³ /час 76%
Село Трехсельское, Успенский район, Администрация Трехсельского СП, 160 м	3	22	19 м ³ /час 633%

Результаты интенсификации скважин в Краснодарском крае

Местоположение скважины, глубина	Дебит до/после обработки, м ³ /час		Прирост дебита
	до	после	
Ст. Бесскорбная, ЗАО фирма «Агрокомплекс», 80 м	5,5	8	2,5 м ³ /час 45%
Ст. Советская, Администрация Советского СП, 60 м	0,6	3,8	3,2 м ³ /час 533%
Ст. Советская, Администрация Советского СП, 89 м	4,4	8,2	3,8 м ³ /час 86%
Ст. Советская, Администрация Советского СП, 162 м	3,5	7,5	4 (114%)
Ст. Советская, Администрация Советского СП, 108 м	2,4	5,6	3,2 м ³ /час 133%
Ст. Новопокровская, 220 м	6,5	11,2	4,7/ 1,72 раза
Ст. Новопокровская, 235 м	10,8	19,2	8,4/ 1,77 раза
Г.Горячий Ключ, 257 м	3,5	10,2	6,7/2,9 раза
Ст.Крыловская , 200 м	17,8	112	94,2/ 6,29 раза

Результаты интенсификации скважин в регионах ЮФО РФ

Местоположение скважины, глубина	Дебит до/после обработки, м ³ /час		Прирост дебита
	до	после	
Ставропольский край, с.Птичье	2,4 h _{динн} = 60 м	7,0 h _{динн} = 60 м	2,92 раза
Ст. Григорополисская, Ставропольский край, 245 м	0,9	4,2	3,3 м ³ /час 366%
Р.Калмыкия, вблизи п.Адык, скв. 1. Минерализация воды более 10 г/л	3,0 h _{динн} = 24 м	21,6 h _{динн} = 14 м	17,5 раз
Р.Калмыкия, вблизи п.Адык, скв. 2 Минерализация воды более 10 г/л	0,4 h _{динн} = 24 м	19,0 h _{динн} = 22 м	53,9 раза
Р.Калмыкия, Ики-Бурульский район, скв. 2 Минерализация воды более 10 г/л	1,5	7,8	6,3/5,19 раза
Р.Калмыкия, Ики-Бурульский район, скв. 3 Минерализация воды более 10 г/л	1,2 h _{динн} = 73 м	6,0 h _{динн} = 67,5 м	4,8/5,6 раза
Р. Адыгея, с.Сергиевское, 200 м	3,5	12	8,5/337%
Р. Адыгея, с.Сергиевское, 200 м	3,6	17	13,4/ 4,7 раза

Результаты интенсификации скважин в ХМАО Тюменской области

Наименование ЛПУМГ, № скважины	Удельный дебит до/после обработки, м ³ /час / м		Максимальный дебит до/после обработки, м ³ /час при динамическом уровне		Прирост дебита
	До	После	До	После	
Сорумское ЛПУМГ, скв. № 608	0,03125	2,48	1,5 h _{дин} = 60 м	119 h _{дин} = 60 м	79 раз
Сорумское ЛПУМГ, скв. № 612	0,19	2,44	6,9 h _{дин} = 50 м	136 h _{дин} = 70 м	12,84 раза
Сорумское ЛПУМГ, скв. № 605	0,618	2,12	12 h _{дин} = 30 м	40,28 h _{дин} = 29,6 м	3,43 раза 96,4% от дебита после бурения
Сорумское ЛПУМГ, скв. № 621	0,57	1,81	10 h _{дин} = 30	34,4 h _{дин} = 31,5 м	3,11 раза 84% от дебита после бурения
г. Югорск, Комсомольское ЛПУМГ, скв. 1104	0,45	1,83	12 h _{дин} = 45	39,5 h _{дин} = 39,1 м	4,07 раза 99% от дебита при оценке запасов 2011 г
г. Югорск, Комсомольское ЛПУМГ, скв. 1105	0,14	2,16	4 h _{дин} = 45	46,6 h _{дин} = 38,6 м	15,4 раза 200% от дебита при оценке запасов 2011 г

Преимуществами разработанных комплексных методов интенсификации дебита скважин являются их эффективность, экологическая чистота, простота операций, низкие временные затраты.

Отсутствует необходимость использования буровой установки и штатного бурового оборудования, поскольку подача воды к вибратору возможна с помощью рукава высокого давления, а подача в скважину химических реагентов и откачка продуктов реакции – с помощью полиэтиленовых труб.



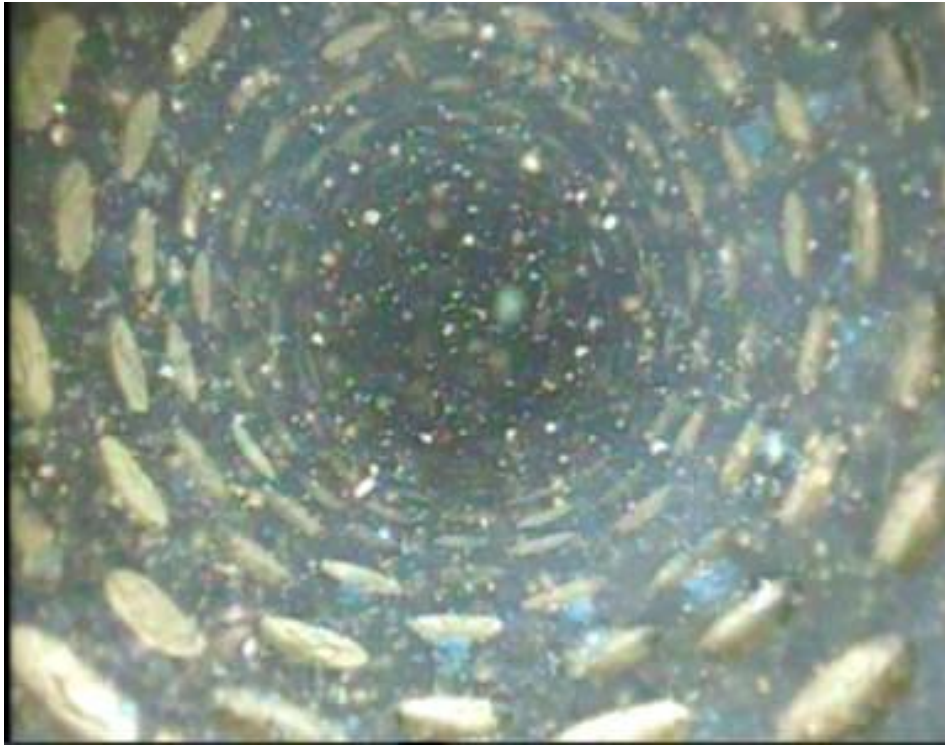
Ловильные работы

- Для снижения трудоемкости и стоимости операций по извлечению посторонних предметов, находящихся в водозаборных скважинах, разработан и изготовлен ряд ловильных инструментов (труболовки, раскидные и нераскидные ерши под соответствующие типоразмеры труб и насосов), спускаемых в скважину на тросе, что сделало обязательным использование буровых установок при ремонте скважин.

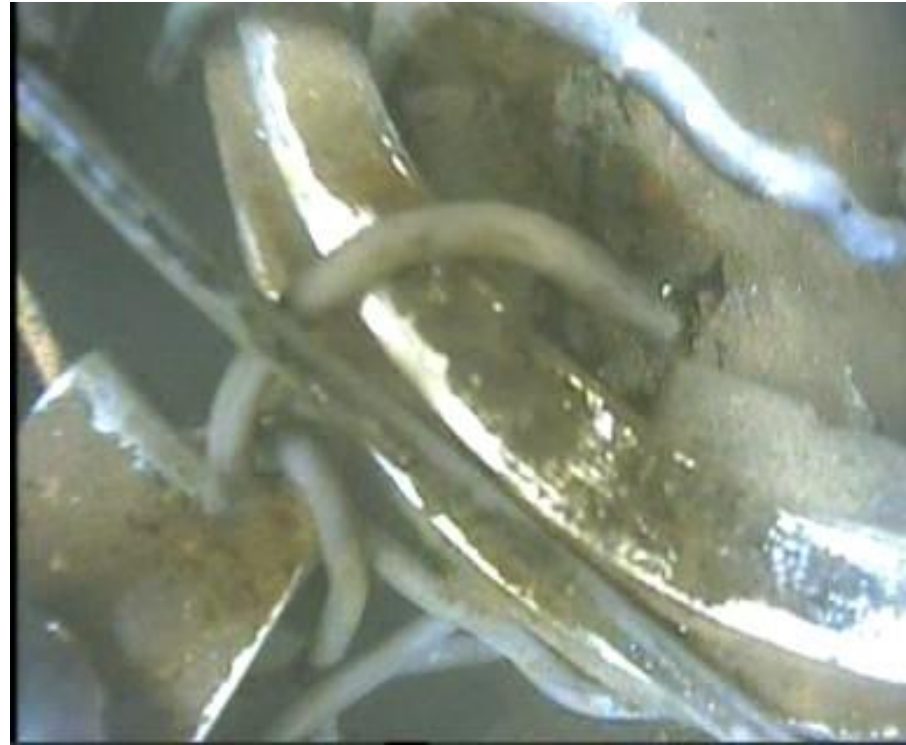


Мониторинг технического состояния скважины

- Для реализации любого варианта ремонта, оценки его технологичности и стоимости, подбора или разработки ловильного инструмента необходимо иметь сведения о конструкции скважины, наличии в ней песка и посторонних предметов (насосов, водоподъемных труб, кабелей, гаек, ключей, тросов и др.).**
- Эти данные оперативно получают с помощью глубинной видеокамеры, что позволяет принять рациональное решение о методе и технических средствах ремонта скважины, значительно сократить время ремонта (например, оборванные трубы и насос извлекаются за 2–3 часа).**
- Использование видеокамеры до и после очистки скважины позволяет визуально оценить эффективность ее обработки. При необходимости выявления источника поступления песка используется установка пакера с одновременной откачкой воды из скважины струйным насосом (с малыми габаритами) и видеообследовани**



а) оценка состояния фильтров и колонны, скважина 1967г, г. Тихорецк, Ø168 мм, глубина 330 м;



б) элементы оборванного погружного насоса и кабеля, глубина 160 м, Ст. Березанская

Экономический эффект для конкретной высокодебитной скважины в Курганинском районе

Проведена интенсифицирующая обработка скважины глубиной 310 м водоснабжающей организации в Курганинском районе.

Первоначальный дебит скважины после бурения – 120 м³/час.

За годы эксплуатации дебит понизился до 40 м³/час.

После обработки дебит повысился до величины более 150 м³/час при идентичном динамическом уровне.

Ввиду отсутствия насоса с подачей выше 100 м³/час, эксплуатацию вели с дебитом 85 м³/час.

Через 4 месяца эксплуатации скважина по-прежнему круглосуточно работала с данным дебитом 85 м³/час.

При этом, повышение потребления электроэнергии составило 7кВт/ч, что при стоимости 1 кВт/ч 6,00 р за сутки составляет $7*24*6,0=1008$ р.

При этом за сутки скважина обеспечивает увеличение подачи воды при цене 55 руб/м³ на $(85-40)*24*55=59400$ руб.

Суточный экономический эффект без учета затрат на обработку составляет $59400-1008=58392$ руб.

Всего за 4 месяца водоснабжающая организация дополнительно реализовала воды на $58392*4*30=7,0$ млн. руб. (при том, что реальный дебит скважины выше 85 м³/час).

Стоимость работ по интенсификации дебита составила 400 тыс. руб.

Экономический эффект только за 4 месяца для одной высокодебитной скважины составил $7,0-0,4=6,6$ млн. руб.

БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ
Строительство новой скважины

ПРОЕКТНЫЙ ВАРИАНТ
Реанимация существующей скважины

Стоимость строительства скважины глубиной 200 м составляет в среднем 20 тыс. руб за 1 метр скважины. В стоимость услуг входит:

1. Проезд буровой техники к месту бурения
2. Геофизические исследования
3. Стоимость обсадных труб
4. Буровые работы
5. Крепление стенок скважины
6. Освоение и прокачка скважины до визуальной чистой воды
7. Изготовление паспорта

Итог: минимальная стоимость новой скважины глубиной 200 м составит $20000 \cdot 200 = 4,0$ млн.руб

Дополнительные затраты на ликвидацию существующей скважины:

От 2,0 млн. рублей

- 0,5 млн. -физическая ликвидация
- 1,5 млн. руб. - разрешительная документация

К примеру, скважина глубиной 100-200 м работает с дебитом $5 \text{ м}^3/\text{час}$.

При повышении дебита до величины в $10 \text{ м}^3/\text{час}$ за один год при работе в круглосуточном режиме будет дополнительно добыто воды $5 \cdot 24 \cdot 365 = 43800 \text{ м}^3/\text{год}$, что при средней в Краснодарском крае цене на воду в $55 \text{ руб}/\text{м}^3$ дает дополнительно 2,4 млн.руб. Затраты на электроэнергию за год составят 0,2-0,4 млн. руб в зависимости от марки насоса.

Сроки восстановления скважины 2-3 суток. Затраты на восстановление разработанными методами для скважины глубиной 200 м – до 300,0 тыс. руб.

Итог: минимальная прибыль за год работы данной скважины $2,4 - 0,3 - 0,3 = 1,8$ млн. руб.

При этом нет необходимости в строительстве новой скважины (затраты 6,0 млн. руб.)

Заключение

- Технологии ремонта и восстановления водозаборных скважин, апробированные в экспериментальных и натуральных условиях и внедренные на объектах Краснодарского, Ставропольского, Пермского и Алтайского краев, Московской, Ленинградской, Тюменской, Оренбургской и Ростовской областей, Республик Южная Осетия, Адыгея и Коми, а также др. субъектов РФ, являются эффективными, экологически безопасными, позволяют провести реанимацию скважин за 2–3 дня без применения штатного бурового оборудования.
- Методы физической раскольматации обеспечивают высокую эффективность обработки, не вызывают нарушений технического состояния скважины – целостности фильтров, цементного кольца и обсадной колонны. За годы внедрения технологии комплексной интенсификации работы скважин на десятках объектов не было ни одного случая разрушения сетчатого фильтра и пескования скважин.
- Стоимость реанимации скважин по разработанным технологиям составляет 10-30% от стоимости бурения новых скважин, при этом обеспечивает восстановление дебита до 80-100% от первоначального дебита, установленного после бурения, в ряде случаев (примерно 10%) дебит превышает первоначальный, установленный при бурении скважин.

**Омельянюк Максим Витальевич,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяных и газовых
промыслов» АМТИ КубГТУ,
тел. 8(928)2068335, 8(918)2314180
m.omelyanyuk@mail.ru**