



УДК 628.112.24

doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.90–105

**Омельянюк М. В.**

## **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕБИТОВ СКВАЖИН**

UDK 628.112.24

doi:10.23968/2305-3488.2017.19.1.90–105

**Omelyanyuk M. V.**

## **TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF PHYSICO-CHEMICAL RECOVERY OF WELL DEBIT**

### **Аннотация**

В статье приводится описание разработанных технологических решений и технических средств гидродинамической волновой и реагентной раскольматации водозаборных скважин, направленных на повышение (восстановление) дебитов. Представлены результаты внедрения данных методов интенсификации дебита в различных регионах РФ.

**Ключевые слова:** скважина, дебит, интенсификация, гидродинамический, кавитация, вибратор, насос, кислота.

### **Автор**

**Омельянюк Максим Витальевич**  
к.т.н., заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Армавирского механико-технологического института (филиал) ФГОУВО «Кубанский государственный технологический университет»  
352905, г. Армавир, ул. Кирова, 127,

### **Abstract**

The article describes the developed technological solutions and technical means of hydrodynamic wave and reagent splitting of water intake wells aimed at increasing (restoring) production rates. The results of the implementation of these intensification methods of production in different regions of the Russian Federation are presented.

**Keywords:** water supply well, flow rate, intensification, hydrodynamic, cavitation, vibrator, pump, acid.

### **Author**

**Omelyanyuk Maksim Vitalevich**  
Candidate of technical science, associate professor of the Department of Machines and equipment for oil and gas fields  
Armavir Mechanical and Technological Institute (branch) FGOUVO "Kuban State Technological University"  
352905, g. Armavir, ul. Kirova, 127, kab. 505

каб. 505  
Тел. +7 (86137) 7–22–03  
E-mail: m.omelyanyuk@mail.ru

Tel. +7 (86137) 7–22–03  
E-mail: m.omelyanyuk@mail.ru

В процессе эксплуатации водозаборных скважин возникают типичные проблемы, которые можно разделить на три группы: наличие предметов в скважинах; пескование; снижение дебита скважины в результате кольматации.

Наличие предметов в скважине обуславливается обрывом или отвинчиванием насосных агрегатов, колонн водоподъемных труб, уроном в скважину инструмента, который используют на устье, а также целенаправленным «уроном» в скважину кирпичей, камней и прочего. Данные предметы зачастую не влияют на дебит скважины, но делают невозможным дальнейший ремонт или профилактические работы. Осуществляются ловильные работы зачастую штатным стандартным ловильным инструментом или оборудованием, разрабатываемым отдельными эксплуатирующими организациями или научными учреждениями.

Пескование скважин приводит либо к необходимости снижения дебита до минимального уровня, при котором поступление песка отсутствует (не превышает допустимых значений), либо вообще к остановке скважины и необходимости ее капитального ремонта.

Снижение дебита скважин в результате кольматации приводит к необходимости проведения ремонтных работ, а в случае их низкой эффективности, к необходимости строительства новой скважины. Снижение производительности скважин в процессе эксплуатации связано с ухудшением пористости и проницаемости пород прискважинной зоны пласта и фильтров вследствие закупорки пор в результате механического, химического и биологического кольматажа. Ниже изложены результаты исследований в области виброволновых, гидродинамических кавитационных и реагентных (кислотных) методов реанимации (восстановления дебита) скважин, проведенных автором с 2005 г по настоящее время на нескольких сотнях скважин глубиной от 30 до 560 м в различных регионах РФ.

### **Причины снижения дебита скважин**

Существует 3 вида кольматажа водозаборных скважин: механический, химический и биологический.

Механические формы кольматации активно появляются на этапе сооружения водозаборной скважины, а также в процессе эксплуатации за счет суффозии. Основная причина механической кольматации при строительстве скважины – это проникновение фильтрата бурового раствора (на глиняной основе) в водоносный пласт, а также закупорка пористых сред непосредственно глинистыми частицами, буровым шламом и т. п. Также влияние оказывает некачественная разглинизация скважины, проведенная при ее освоении.

Механический кольматаж в процессе эксплуатации вызывается заклиниванием пор и трещин, обеспечивающих фильтрацию, элементами пласта, в первую оче-



редь, глинистыми частицами.

Производительность и дренирующая способность скважин существенно снижаются в процессе эксплуатации вследствие зарастания фильтров, особенно сетчатых, а также прифильтровых зон водоносного пласта различными химическими соединениями. Они 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  $Fe(OH)_3$ , одного из основных коагулирующих соединений.

Процессы химического коагулирования, происходящие в прифильтровых 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. Они проявляют 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. Биологическая коагуляция имеет и другую специфическую особенность – если интенсивность химической и механической коагуляции напрямую связана с режимом эксплуатации скважины, то биологическая коагуляция протекает и в том случае, если скважина простаивает, находится в бездействии. Особенно ярко это выражается в бездействующих скважинах, либо резервных, отключаемых на осенне-зимний период времени. В сравнении с действующими, у них более интенсивно снижается дебит. К примеру, для скважин Трёхсельского сельского поселения Краснодарского края, пробуренных, но так и не пущенных в эксплуатацию, снижение дебита за 6 лет составило 85%.

### **Анализ методов интенсификации дебита**

Наиболее распространены в российской практике следующие методы: свабиrowание, эрлифтная откачка, электрогидроимпульсный метод, пневмоимпульсный метод, гидродинамический высоконапорный, гидродинамический волновой, реагентный методы.

У каждого из этих методов есть свои достоинства, недостатки и ограничения.

Свабирование и эрлифтная откачка являются стандартными операциями, выполняемыми буровыми бригадами, но их успешность низкая. Зачастую после данных обработок дебит не повышается, а наоборот, за счет повышенной суффозии при значительных нагрузках, имеет место снижение дебита. Также имеют место случаи порыва фильтровых сеток после свабирования (как из легированных сталей, так и из лавсановых), что требует проведения более дорогих ремонтных работ по ликвидации пескования скважины.

Вибрационные методы интенсификации добычи пластовых флюидов известны и промышленно апробированы с 70-х годов прошлого века. Их реализация возможна с привлечением дополнительного оборудования, не входящего в компоновку буровой установки. 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 виброволновой, пневмоимпульсной или электрогидроимпульсной обработки также возможно не повышение, а снижение дебита. На форсированных режимах обработки пневмоимпульсные и электрогидроимпульсные методы дают высокие результаты повышения дебита, но при этом до 30–50% скважин, оснащенных сетчатыми фильтрами, начинают песковать. Наиболее целесообразно использование таких методов на бесфильтровых скважинах.

Химические методы основаны на использовании штатного оборудования мобильных буровых установок, легко технологически реализуются. Однако использование реагентных методов эффективно в случае точного диагностирования природы кольматанта, верных технологических и технических решений. При неверном анализе горных пород или подборе реагентов возможно как пескование скважины, так и снижение дебита.

Пескование скважин после реагентной обработки чаще всего отмечается в тех случаях, когда проводят солянокислотную раскольматацию скважин с сетчатыми фильтрами из легированных коррозионно-стойких сталей (нержавеющих). Хромоникелиевые стали реагируют с соляной кислотой, что иногда не учитывается производителями работ. При этом, солянокислотная обработка запрещена при очистке любого оборудования, изготовленного из нержавеющей сталей (даже с толщиной стенки 2 мм и более).

Снижение дебита скважины в результате обработок соляной, сульфаминовой, уксусной, лимонной и пр. кислотами обуславливается гидратацией («набуханием») глинистых частиц пласта, выпадением водонерастворимых солей. К примеру, соляная кислота, взаимодействуя с глинами и песчаником, образует соли алюминия и гель кремниевой кислоты, выпадающие в осадок. Также, особенно в пластах с содержанием глинистых частиц, возможно набухание глинистых частиц в присутствии кислот и чуждых вод (до 12–18 раз в зависимости от состава глин).



Причиной снижения дебита при солянокислотных обработках может быть низкое качество самой соляной кислоты (абгазной), с повышенным содержанием железа и серной кислоты, которые, в процессе закачки в пласт, могут приводить к образованию водонерастворимых соединений. Поэтому в производственной практике имеются случаи, когда нерациональный выбор химического состава, технологии проведения кислотной обработки приводит к нулевому или даже отрицательному результату.

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 осложнен оборванными и заклинившими насосами, посторонними предметами, биологическим заражением, нарушением целостности обсадной колонны и т. п., ремонт которых в совокупности превысит себестоимость строительства новой скважины.

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.

### **Гидродинамическая волновая раскольматация скважин**

Закономерности процессов раскольматации и очистки пористых сред в водоносных и нефтенасыщенных пластах имеют общую природу [1]. Технологические операции обработки нагнетательных и добывающих нефтяных скважин с применением виброволнового воздействия с целью очистки пористых сред от загрязнений также используются для обработок водозаборных скважин.

Среди гидродинамических волновых вибраторов первоначально для возбуждения пульсаций в жидкостях применялись вибраторы золотникового типа и гидроударники [1, 2]. Гидравлический вибратор золотникового типа (роторный преобразователь) создает колебания путем периодического перекрытия потока рабочей жидкости, протекающей через турбинное устройство, у которого направляющим аппаратом является ствол с косыми прорезами, а рабочим колесом – золотник с расположенными под углом прорезами [2]. Экспериментальные исследования, проведенные авторами [2], показали, что генераторы пружинно-клапанного и клапанно-ударного типов не удовлетворяют требованиям высокоэффективного осуществления виброволновой обработки скважин. Они не надежны в работе. Колебания давления возбуждаются непосредственно внутри самого устройства, при этом создаются ударные нагрузки, превышающие пределы прочности материалов. Генераторы быстро выходят из строя из-за поломок подвижных механических

узлов, амплитуды колебаний давления при их работе в стволе скважины недостаточно высоки, что не обеспечивает достаточной эффективности.

Однако, как указывалось выше, как в нефтяных скважинах, так и в водозаборных, промышленная апробация данных методов и устройств, их реализующих, показала, что успешность обработок была положительной не во всех случаях, имели место обработки с нулевым и даже отрицательным эффектом. Основные причины этого – неверно подобранные параметры воздействия, не оказывающие влияния на кольматант, или, наоборот, приводящие к переуплотнению пористых сред водоносных пластов, а также «засорение» водоносного пласта кольматирующими частицами – закупорка каналов кольматантом в результате поверхностного сцепления, адгезионного прилипания, закупоривающего действия конгломератов слипшихся частиц кольматанта с размерами, превышающими сужения пор. Следует учесть, что большая часть волновых методов (гидродинамических волновых, пневмоимпульсных, электрогидроимпульсных и т. п.) осуществляется на равновесии пластового давления и давления в стволе скважины, или репрессии, без создания депрессии и без одновременного с обработкой извлечения кольматанта на дневную поверхность. Именно поэтому автором [1] сочетание виброволнового воздействия с созданием депрессий является необходимым условием эффективной очистки призабойной зоны пласта.

В настоящее время в отечественной практике [1–5] распространены методы раскольматации нефтяных и водозаборных скважин на основе колебательных эффектов затопленных высоконапорных струй жидкости. Положительной особенностью используемых технических средств является отсутствие подвижных частей, возможность генерирования колебаний вне самого устройства, в том числе непосредственно в перфорационных каналах.

В работе [2] представлена многокритериальная математическая модель, которая позволяет оценить критические условия, требуемые для генерирования кавитации. Скорость потока воды в насадке для достижения предельных условий (разрыва жидкости) определяется по формуле:

$$W_{np} = \sqrt{\frac{2rV'\Delta t_{np}}{T(V'' - V')}} ,$$

где  $W_{np}$  – предельная скорость потока;  $r$  – удельная теплота парообразования;  $\Delta t_{np}$  – предельное значение начального недогрева рабочей жидкости;  $T$  – абсолютная температура;  $V'' - V'$  – удельные объемы паровой и жидкой фаз.

В работе [6] представлены данные о влиянии на степень развития кавитации, относительную длину области кавитации параметров жидкостей (исследованы течения многокомпонентных жидкостей) и конструктивных параметров генераторов кавитации типа сопла Вентури для ряда значений углов раскрытия диффузора ( $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ ). Установлено, что с увеличением угла расширения диффузора сопла  $\alpha$  длина области кавитации уменьшается. Она также уменьшается со снижением величины отношения давления  $P_B/P_H$ .



Указанные зависимости 1–2 не учитывают геометрические характеристики (конфигурацию проточной части) генераторов кавитации (сопел). В исследованных работах отсутствуют данные о влиянии конструктивных параметров (наличие и длина цилиндрического участка, углы раскрытия диффузора, криволинейные поверхности и др.) на параметры колебаний. Поэтому по приведенным результатам не всегда можно говорить об адекватности моделей.

В работе [7] на основе экспериментальных зависимостей предложена формула определения частот кавитационных колебаний для трубок Вентури с углами раскрытия диффузора 20 и 30° в виде:

$$f = \frac{v \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{r \cdot \sqrt{\mu}} \cdot (1 - \sqrt{1 - \tau}),$$

где  $v$  – скорость жидкости в критическом сечении генератора,  $\beta$  – угол раскрытия диффузора генератора,  $r$  – радиус критического сечения,  $\mu$  – коэффициент расхода,  $\tau$  – параметр кавитации, равный соотношению давления подпора  $P_2$  к давлению питания  $P_1$ .

Скорость жидкости в критическом сечении сопла без учета коэффициента расхода определяется по формуле:

$$v = \sqrt{2(P_1 - P_k) / \rho},$$

где  $P_k$  – давление в кавитационной каверне;  $\rho$  – плотность жидкости.

Формула для расчетов амплитуд высокочастотных колебаний давления при кавитационном истечении представлена в работе [8] в виде:

$$|\delta P_2| = \rho v^2 (2\pi)^2 Sh_m^2 \frac{I_d}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi)^2 v^2 I_d^2 F_2^2}{I_k^2 c^2}}} \frac{|\delta V_k|}{l_k^2},$$

где  $I_d$  – коэффициент инерционного сопротивления участка диффузора трубки Вентури, расположенного между осевшей каверной и выходом диффузора;  $|\delta V_k|$  – объем оторвавшейся части каверны;  $c$  – скорость звука в жидкости;  $F_2$  – площадь выходного сечения диффузора генератора,  $l_k$  – длина кавитационной каверны,  $Sh_m$  – модифицированное число Струхала.

Представленные формулы справедливы для генераторов кавитации типа трубок Вентури с углами раскрытия диффузора 20 и 30°. Однако, на практике используется значительное количество конструкций генераторов колебаний проточного типа, и даже для осесимметричных генераторов кавитации этих данных недостаточно для моделирования процессов истечения. Поэтому результаты различных исследователей в области кавитационного течения, генерирования колебаний, носят зачастую случайный характер.

Результаты проведенных экспериментальных исследований и опытно-промышленных работ по внедрению кавитационных методов очистки в различных обла-

стях промышленности [9–12] позволили установить, что степень развития кавитации, эрозионная способность кавитационных струй, амплитудные и частотные характеристики колебаний, возникающих при истечении высоконапорных кавитационных струй при использовании различных генераторов кавитации и промышленных жидкостей, а также при работе на различных напорных и температурных режимах, могут отличаться в десятки раз.

Для повышения эффективности мер, направленных на реанимацию бездействующих и интенсификацию производительности действующих водозаборных скважин, были проведены аналитические, экспериментальные и натурные исследования. По результатам экспериментальных исследований особенностей генерирования кавитации предложен ряд технологических решений и технических средств, апробированных в различных отраслях промышленности. Разработана технология обработки скважин, основанная на использовании эффектов гидродинамической кавитации, а также устройства, реализующие эту технологию [13–17].

Опытно-промысловые исследования эффективности применения разработанных гидродинамических генераторов кавитации для волновой обработки скважин автором проводятся с 2006 г. по настоящее время при раскольматации артезианских скважин глубиной до 560 м [18–21].

Технология гидродинамической волновой обработки водоносных пластов представлена на рис. 1 на примере спуска вибратора вместе со струйным насосом на коаксиально расположенных колоннах НКТ. Данная схема реализуется при использовании буровой установки. Также обработка может проводиться без использования буровой установки, при этом спуско-подъемные работы осуществляются лебедкой, подача воды под высоким давлением – по рукавам высокого давления (диаметром 12–16 мм), а откачка воды из скважины с кольматантом и песком – по полиэтиленовым трубам. Комплекс по ремонту скважин по данным технологиям помещается в автомобиль типа «Газель», обеспечивается его мобильность, экономичность и возможность обработки скважин при малых затратах в труднодоступных районах (что актуально как для северных территорий РФ, так и для Калмыкии, горных районов Северного Кавказа и прочих регионов РФ).

Для повышения эффективности очистки внутренних поверхностей обсадных и фильтровых колонн разработаны ротационные устройства, в том числе работающие по принципу роторно-пульсационных аппаратов, обеспечивающие равномерную очистку всей поверхности. Они предназначены не только для гидродинамической очистки, но и для одновременного создания низкочастотных колебаний. Один из вариантов роторных вибраторов, для обсадных колонн диаметром более 100 мм, представлен на рис. 2.

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,



Рис. 1. Схема работ по восстановлению дебита скважин с одновременной откачкой песка, продуктов коррозии, кольматанта из ствола скважины (на примере спуска вибратора на НКТ)

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. Пульсации давления возникают по двум причинам: из-за периодического перекрытия каналов статора-ротора в ротационном вибраторе, а также за счет кавитационного течения в профилированных специальным образом насадках. Перепад давления на насадках выбирается в интервале 15–30 МПа, подача – 0,5–1,5 л/с в зависимости от глубины скважины, потерь давления в трубах или рукавах высокого давления, ограничений по мощности линии электропередачи, предназначенной для питания электропривода насоса высокого давления.

Опыт проведенных обработок показывает, что наиболее экономично и рационально использование электроприводных трехплунжерных насосов высокого давления в диапазоне при-

водной мощности 15–55 кВт. Упругие колебания способствуют интенсифицированию фильтрации жидкости и обеспечивают вынос из призабойной зоны колюматизирующего материала, в результате чего очищаются естественные поровые каналы. Очистка фильтров и внутренней поверхности обсадной колонны скважины осуществляется за счет гидродинамического воздействия затопленных струй. Скорость возвратно-поступательного перемещения роторного или статического вибратора по стволу скважины составляет не более 5 м/мин. Чаще всего проводится 10-кратная обработка продуктивных интервалов в возвратно-поступательном режиме. В стволе скважины во время ее обработки во взвешенном состоянии находятся мелкие частицы колюматанта, песка и продуктов коррозии. Поэтому для исключения гидроабразивного разрушения сетки фильтра остановка вибратора напротив сетчатого фильтра более чем на 30 с не допускается.

Для предупреждения отрицательного эффекта от волновой обработки обязательно обеспечивается одновременная депрессия на пласт. Она может осуществляться двумя способами: путем спуска погружного электроцентробежного насоса параллельно с вибратором (если позволяет типоразмер обсадной колонны скважины)

или за счет компоновки вибратора струйным насосом. С этой целью также были разработаны струйные насосы для различных типоразмеров обсадных колонн. Помимо функции создания депрессии, основной задачей струйных насосов является откачка песка и продуктов коррозии из скважины без использования эрлифта. На рис. 3 показан струйный насос (наружный диаметр 70 мм) для откачки песка и продуктов коррозии, совмещенный с ротационным вибратором, предназначенный для проведения виброволновой обработки и откачки кольянта и песка за одну спуско-подъемную операцию.



Рис. 2. Роторный гидродинамический кавитационный вибратор



Рис. 3. Ротационный вибратор, совмещенный со струйным насосом

После обработки всех продуктивных интервалов производится откачка песка, продуктов коррозии и других включений из отстойника скважины с помощью струйного насоса (за одну спуско-подъемную операцию), монтаж штатного погружного насоса и пуск скважины в эксплуатацию с замером дебита и динамического уровня. В большинстве случаев после обработки скважины прирост дебита составляет 30–50%. Эффект является длительным и зачастую сохраняется в течение нескольких лет.

В процессе эффективного генерирования колебаний имеет место значительная кавитационная эрозия генераторов кавитации. Использование конструкций генераторов кавитации, оптимальных с точки зрения отсутствия эрозии, не всегда обеспечивает генерирование колебаний с требуемой амплитудой и частотой, поэтому генераторы необходимо изготавливать из стойких к эрозии материалов. Результаты исследований кавитационной стойкости насадок гидродинамических установок представлены в работе [22].



## Физико-химическая раскольматация

После проведения работ по гидродинамической очистке скважин, долгие годы находящихся в бездействии (5–20 лет), увеличения их дебита недостаточно для экономически целесообразной эксплуатации. В данном случае следующим этапом реанимации скважины является химическая обработка. Разработаны и апробированы в экспериментальных и натуральных условиях различные химические составы, основанные на кислотах, интенсификаторах (поверхностно-активных веществах – ПАВ), комплексопах и стабилизаторах [23, 24].

Для снижения коррозионного воздействия компонентов кислотной ванны на обсадную колонну и сетчатый фильтр используются различные ингибиторы коррозии.

Интенсификаторы ускоряют и облегчают очистку призабойной зоны скважины от продуктов химической реакции и от прореагировавшей кислоты, а также от глинистых частиц. Добавка ПАВ повышает эффективность кислотных обработок. Некоторые ингибиторы коррозии одновременно выполняют роль интенсификаторов, так как являются и поверхностно-активными веществами.

Для предупреждения образования в пласте водонерастворимых соединений и снижения дебита в результате реагентной обработки целесообразно использовать стабилизаторы – вещества для удерживания в растворенном состоянии продуктов реакции (в основном стабилизаторами выступают органические кислоты). Недостатком добавки стабилизаторов является снижение скорости реакции. Но эта проблема может решаться применением рациональных технологических приемов – соответствующей выдержкой раствора в пласте, циклическим режимом обработки и т. п.

В том случае, если элементы скважины не являются стойкими к воздействию соляной кислоты, используются другие кислоты – сульфаминовая, уксусная, лимонная и т. п., в зависимости от природы кольматажа.

Автором для повышения эффективности кислотных обработок разработана технология циклического кислотного воздействия, основанная на попеременном создании циклов депрессии-репрессии на пласт в присутствии кислотных реагентов и ингибиторов. В результате значительно повышается эффективность обработки, сокращается требуемое время кислотной реанимации скважин. Раствор реагирует в статических условиях несколько часов (8–10 ч), после чего осуществляются 5–7 циклов репрессии-депрессии на пласт. Затем производится откачка жидких и газообразных продуктов реакции, остатков непрореагировавшего раствора и механических примесей.

Как только в откачиваемой жидкости исчезают газообразные продукты реакции и нормализуется водородный показатель, устанавливается максимальный динамический уровень (соответственно, максимальный дебит), сливается еще порядка 10 объемов скважины, затем проводится анализ воды, монтаж штатного насосного агрегата, после этого начинается подача воды населению и хозяйствующим субъектам.

Преимуществами разработанных комплексных методов интенсификации дебита скважин являются их эффективность (в 100% случаев обработки скважин дебит увеличился минимально на 30%, максимально в 79 раз), дешевизна материалов, простота операций, незначительные затраты времени. Отмечен синергетический эффект в случае сочетания гидродинамических волновых методов и последующей кислотной раскольматации скважин. 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. С использованием разработанных методов была произведена реанимация более 100 скважин питьевого и хозяйственного водоснабжения в Краснодарском и Ставропольском крае, а также в других регионах РФ. В качестве примера в табл. 1 представлены данные по увеличению дебита скважин до и после их физико-химической реанимации.

В северных районах РФ водозаборные скважины меньше подвержены биологической кольматации, но, ввиду значительного превышения содержания железа и марганца в пластовых водах над нормативными показателями, данные скважины также резко снижают свои характеристики в процессе эксплуатации, иногда за 2–3 года эксплуатации. В 2015–2016 гг. проводились работы по промышленной апробации разработанных техники и технологии физико-химической раскольматации скважин в Ханты-Мансинском автономном округе РФ. Результаты представлены в табл. 2. По всем 6 скважинам получен положительный результат. Увеличение дебита составило от 311% до 7900%. Эксплуатация скважин в течение более 1 года не привела к снижению дебита.

Таблица 1. Результаты физико-химической интенсификации скважин (начало)

Местоположение скважины, стат. уровень	Удельный дебит, м³/час		Максимальный дебит при статическом/динамическом уровне, м³/час		Прирост дебита
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки	
р. Калмыкия, вблизи п. Адык, <u>скв. 1</u> . Минерализация воды более 10 г/л	0,176	3,08	3,0 h <sub>дин</sub> = 24 м h <sub>ст</sub> = 7 м	21,6 h <sub>дин</sub> = 14 м	17,5 раз
р. Калмыкия, вблизи п. Адык, <u>скв. 2</u> . Минерализация воды более 10 г/л	0,0235	1,26	0,4 h <sub>дин</sub> = 24 м h <sub>ст</sub> = 7 м	19,0 h <sub>дин</sub> = 22 м	53,9 раза
р. Калмыкия, <u>Ики-Бурульский р-н, скв. 1</u> . Минерализация воды более 10 г/л	0,073	0,106	1,7 h <sub>дин</sub> = 50 м h <sub>ст</sub> = 27 м	5,65 h <sub>дин</sub> = 80 м	45%



Таблица 1. Результаты физико-химической интенсификации скважин (окончание)

р. Калмыкия, Ики-Бурульский р-н, скв. 2 Минерализация воды более 10 г/л	0,0235	0,132	1,2 $h_{дин}=73$ м $h_{ст}=22$ м	6,0 $h_{дин}=67,5$ м	5,6 раза
Ставропольский край, с. Птичьё	0,04	0,122	2,4 $h_{дин}=60$ м $h_{ст}=3$ м	7,0 $h_{дин}=60$ м	2,92 раза
Краснодарский край, г. Темрюк	0,35. (Удельный дебит после бурения составлял 0,66)	1,25	14,5 $h_{дин}=43$ $h_{ст}=2$ м	22,6 $h_{дин}=20$ м	3,58 раза 189% от дебита, полученного после бурения скважины
Краснодарский край, ст. Чамлыкская	0,014	0,34	0,6 $h_{дин}=85$ $h_{ст}=43$ м	13,8 $h_{дин}=83,5$ м	23,6 раза

Таблица 2. Результаты физико-химической интенсификации скважин в ХМАО РФ

Местоположение скважины	Удельный дебит, м <sup>3</sup> /час		Максимальный дебит, м <sup>3</sup> /час при динамическом уровне		Прирост дебита
	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки	
п. Сорум, скв. № 1	0,03125	2,48	1,5 $h_{дин}=60$ м	119 $h_{дин}=60$ м	79 раз
п. Сорум, скв. № 2	0,19	2,44	6,9 $h_{дин}=50$ м	136 $h_{дин}=70$ м	12,84 раза
п. Сорум, скв. № 3	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
п. Сорум, скв. № 4	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, скв. № 1	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, скв. № 2	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.

Технологии физико-химической раскольматации скважин в 2015–2016 г. также были апробированы на 11 скважинах питьевого и хозяйственного назначения Республики Южная Осетия. Особенностью данных скважин является то, что построены они на валунно-галечниковые отложения, на песчаном или глинистом заполнителе. По 10 скважинам из 11 было получено восстановление первоначального, паспортного дебита. По двум скважинам дебит после обработок превысил первоначальный на 10–30%.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанные техника и технологии интенсификации дебита скважин являются эффективными, универсальными, применимыми в различных регионах РФ с различными грунтами (пески, песчаники, ракушечники, скальный грунт), для скважин различной глубины (от 30 до 560 м) и различными причинами кольматажа фильтров и прифильтровой зоны скважин (механический, химический, биологический кольматаж). Эффективность подтверждается апробацией техники и технологии на нескольких сотнях скважин, а также поддержанием полученного дебита в течение 1–5 лет.

### Литература

1. Дыбленко, В. П., Камалов, Р. Н., Шариффулин, Р. Я., Туфанов, И. А. (2000). Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия. М.: Недра, 381 с.
2. Ибрагимов, Л. Х., Мищенко, И. Т., Челоянц, Д. К. (2000). Интенсификация добычи нефти. М.: Наука, 414 с.
3. Гадиев, С. М. Использование вибрации в добыче нефти. М., «Недра», 1977, 159 с.
4. Ибрагимов, Л. Х., Ибрагимов, Х. И., Ирипханов, Р. Д., Мищенко, И. Т., Рублев, А. Б., Челоянц, Д. К. (1999). «Методы и технологии интенсификации добычи нефти». Достижения и современные проблемы развития науки в Дагестане. Махачкала, С. 297–296.
5. Рублев, А. Б. (2005). Разработка и исследование технических и технологических решений интенсификации добычи нефти при вторичном вскрытии и обработке призабойной зоны пласта (на примере Самотлорского месторождения). канд. технич. наук. Тюмень, 172 с.
6. Холпанов, Л. П., Запорожец, Е. П., Зиберт, Г. К., Кащицкий, Ю. А. (1998). Математическое моделирование нелинейных термогазодинамических процессов в многокомпонентных струйных течениях. М.: Наука, 320 с.
7. Пилипенко, В. В. (1980). «К определению частот колебаний давления, создаваемых кавитационным генератором». Динамика насосных систем. Сб. науч.тр. Киев: Наук. думка., С.127–131.
8. Пилипенко, В. В. (1981). «К определению амплитуд колебаний давления, создаваемых кавитационным генератором». Математические модели рабочих процессов в гидронефмосистемах. Киев: Наук. думка, С.18–24.
9. Омелянюк, М. В. (2004). Разработка технологии гидродинамической кавитационной очистки труб от отложений при ремонте скважин. канд. техн. наук. Краснодар, 214 с.
10. Омелянюк, М. В. (2009). «Повышение эффективности очистки насосно-компрессорных труб от отложений солей с естественными радионуклидами», Нефтепромысловое дело, № 6., С. 34–37.
11. Омелянюк, М. В. (2010). «Кавитационные технологии в нефтегазовом деле», Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, № 1, С. 29–33.
12. Омелянюк, М. В. (2011). «Гидравлические генераторы колебаний в нефтегазовом деле», Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, № 3, с.54–60.
13. Омелянюк, М. В., Пахлян, И. А., Струйная установка для промывки скважин. РФ, пат. № 2561220.
14. Омелянюк, М. В., Пахлян, И. А., Ротационный гидравлический вибратор. РФ, пат. № 2542015.
15. Омелянюк, М. В., Пахлян, И. А., (2014). Способ обработки прискважинной зоны пласта и устройства для его осуществления. РФ, пат. № 2542016
16. Пахлян, И. А., Омелянюк, М. В., Османов, С. В., Битиев, И. И. (2014). База данных «Современные



- методы интенсификации добычи с применением эжекторных технологий». РФ, пат. № 2015620375
17. Омелянюк, М. В., База данных «Разработка кавитационных устройств технологического назначения». РФ, пат. № 2015621681
18. Омелянюк, М. В. (2008). Повышение эффективности кавитационной реанимации скважин. Нефтепромышленное дело, № 5, С. 35–41.
19. Омелянюк М.В. (2010). Интенсификация работы и реанимация водозаборных скважин, Нефтепромышленное дело, № 8, с. 22–25.
20. Омелянюк, М. В. (2012). Эффективные технологии реанимации скважин. Нефть. Газ. Новации, № 1 (156), С. 58–65.
21. Омелянюк, М. В., Пахлян, И. А. (2014). Повышение эффективности освоения и эксплуатации добывающих скважин за счет применения импульсно-ударного, кавитационного воздействия на прискважинную зону продуктивного пласта. Нефтепромышленное дело, № 11. С. 19–23.
22. Омелянюк, М. В. (2009). Кавитационная стойкость насадков гидродинамических установок, Нефтепромышленное дело, №5. С. 51–54.
23. Омелянюк, М. В., Пахлян, И. А., Битиев, И. И., Османов, С. В. (2014). Современные методы физико-химической интенсификации добычи при ремонте скважин. РФ, пат. № 2015620593
24. Омелянюк, М. В. (2015). Технологии ремонта и восстановления водозаборных скважин. Водоснабжение и санитарная техника, № 3. С. 25–32.

## References

1. Dyblenko, V. P., Kamalov, R. N., SHariffulin, R. YA., Tufanov, I. A. (2000). Povyshenie produktivnosti i reanimaciya skvazhin s primeneniem vibrovolnovogo vozdejstviya. M.: Nedra, 381 s.
2. Ibragimov, L. H., Mishchenko, I. T., CHeloyanc, D. K. (2000). Intensifikaciya dobychi nefti. M.: Nauka, 414
3. Gadiev, S. M. Ispol'zovanie vibracii v dobyche nefti. M., «Nedra», 1977, 159 s.
4. Ibragimov, L. H., Ibragimov, H. I., Iriphanov, R. D., Mishchenko, I. T., Rublev, A. B., CHeloyanc, D. K (1999). «Metody i tekhnologii intensivifikacii dobychi nefti». Dostizheniya i sovremennyye problemy razvitiya nauki v Dagestane. Mahachkala, S. 297–296.
5. Rublev, A. B. (2005). Razrabotka i issledovanie tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh reshenij intensivifikacii dobychi nefti pri vtorighnom vskrytii i obrabotke prizabojnoj zony plasta (na primere Samotlorskogo mestorozhdeniya). kand. tekhnich. nauk. Tyumen', 172 s.
6. Holpanov, L. P., Zaporozhec, E. P., Zibert, G. K., Kashchickij, YU.A. (1998). Matematicheskoe modelirovanie nelinejnyh termogidrogazodinamicheskikh processov v mnogokomponentnyh strujnyh techeniyah. M.: Nauka, 320 s.
7. Pilipenko, V. V. (1980). «K opredeleniyu chastot kolebanij davleniya, sozdavaemyh kavitacionnym generatorom». Dinamika nasosnyh sistem. Sb. nauch.tr. Kiev: Nauk. dumka., S.127–131.
8. Pilipenko, V. V. (1981). «K opredeleniyu amplitud kolebanij davleniya, sozdavaemyh kavitacionnym generatorom». Matematicheskie modeli rabochih processov v gidropnevmosistemah. Kiev: Nauk. dumka, S.18–24.
9. Omel'yanyuk, M. V. (2004). Razrabotka tekhnologii gidrodinamicheskoy kavitacionnoj ochistki trub ot otlozhenij pri remonte skvazhin. kand. tekhn. nauk. Krasnodar, 214 s.
10. Omel'yanyuk, M. V. (2009). «Povyshenie ehffektivnosti ochistki nasosno-kompressornyh trub ot otlozhenij solej s estestvennymi radionuklidami», Neftpromyslovoe delo, № 6., S. 34–37.
11. Omel'yanyuk, M. V. (2010). «Kavitacionnye tekhnologii v neftegazovom dele», Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa, № 1, S. 29–33.
12. Omel'yanyuk, M. V. (2011). «Gidravlicheskie generatory kolebanij v neftegazovom dele», Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa, № 3, s.54–60.
13. Omel'yanyuk, M. V., Pahlyan, I. A., Strujnaya ustanovka dlya promyvki skvazhin. RF, pat. № 2561220.
14. Omel'yanyuk, M. V., Pahlyan, I. A., Rotacionnyj gidravlicheskij vibrator. RF, pat. № 2542015.
15. Omel'yanyuk, M. V., Pahlyan, I. A., (2014). Sposob obrabotki priskvazhinnoj zony plasta i ustrojstva dlya ego osushchestvleniya. RF, pat. № 2542016
16. Pahlyan, I. A., Omel'yanyuk, M. V., Osmanov, S. V., Bitiev, I. I. (2014). Baza dannyh «Sovremennyye metody intensivifikacii dobychi s primeneniem ehzhektornyh tekhnologij». RF, pat. № 2015620375
17. Omel'yanyuk, M. V., Baza dannyh «Razrabotka kavitacionnyh ustrojstv tekhnologicheskogo naznacheniya.

RF, pat. № 2015621681

18. Omel'yanyuk, M. V. (2008). Povyshenie ehffektivnosti kavitacionnoj reanimacii skvazhin. Neftepromyslovoe delo, № 5, S. 35–41.

19. Omel'yanyuk M.V. (2010). Intensifikaciya raboty i reanimaciya vodozabornyh skvazhin, Neftepromyslovoe delo, № 8, s. 22–25.

20. Omel'yanyuk, M. V. (2012). EHffektivnye tekhnologii reanimacii skvazhin. Neft'. Gaz. Novacii, № 1 (156), S. 58–65.

21. Omel'yanyuk, M. V., Pahlyan, I. A. (2014). Povyshenie ehffektivnosti osvoeniya i ehkspluatacii dobyvayushchih skvazhin za schet primeneniya impul'sno-udarnogo, kavitacionnogo vozdejstviya na priskvazhinnuyu zonu produktivnogo plasta. Neftepromyslovoe delo, № 11. S. 19–23.

22. Omel'yanyuk, M. V. (2009). Kavitationnaya stojkost' nasadkov gidrodinamicheskikh ustanovok, Neftepromyslovoe delo, №5. S. 51–54.

23. Omel'yanyuk, M. V., Pahlyan, I. A., Bitiev, I. I., Osmanov, S. V. (2014). Sovremennye metody fiziko-himicheskoy intensivnizatsii dobychi pri remonte skvazhin. RF, pat. № 2015620593

24. Omel'yanyuk, M. V. (2015). Tekhnologii remonta i vosstanovleniya vodozabornyh skvazhin. Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika, № 3. S. 25–32.