

# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СОЛЯНОКИСЛОТНЫХ ОБРАБОТОК ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА НА ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ САЛЮКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*А.А. Дроздов <sup>1)</sup>, О.В. Савенок <sup>2)</sup>*

1) студент направления подготовки 21.03.01 «Нефтегазовое дело» ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Россия, [drozd.vgpu@mail.ru](mailto:drozd.vgpu@mail.ru)

2) д.т.н., профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений и подземной гидромеханики ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Россия, [olgasavenok@mail.ru](mailto:olgasavenok@mail.ru)

**Аннотация:** в связи с истощением во многих регионах мира активных запасов нефти и снижением уровня добычи нефти на разрабатываемых месторождениях возникает необходимость в широком применении методов увеличения производительности эксплуатируемых скважин. В ближайшей перспективе решающее значение в поддержании и повышении добычи нефти будут иметь применяемые методы воздействия на пласты и призабойную зону скважин. Основным методом воздействия на призабойную зону скважин, доказавшим свою высокую эффективность и успешно применяемым на многих месторождениях, является кислотная обработка. В статье описана технология и проанализированы результаты проведения солянокислотных обработок ПЗП на добывающих скважинах Салюкинского месторождения.

**Ключевые слова:** виды солянокислотных обработок; порядок проведения СКО на Салюкинском месторождении; подготовка скважин к обработке; технологическая схема обработки; проектирование обработок и приготовление рабочих растворов; анализ воздействия на призабойную зону в условиях Салюкинского месторождения.

## ANALYSIS OF THE RESULTS OF HYDROCHLORIC ACID TREATMENTS OF THE BOTTOMHOLE FORMATION ZONE ON THE PRODUCTION WELLS OF THE SALYUKINSKOYE FIELD

*Alexander A. Drozdov <sup>1)</sup>, Olga V. Savenok <sup>2)</sup>*

1) student training direction 21.04.01 «Oil and gas engineering» Ukhta state technical university, Ukhta, Russia, [drozd.vgpu@mail.ru](mailto:drozd.vgpu@mail.ru)

2) doctor of technical sciences, professor of the department of development and operation of oil and gas fields and underground hydromechanics Ukhta state technical university, Ukhta, Russia, [olgasavenok@mail.ru](mailto:olgasavenok@mail.ru)

**Abstract:** In connection with the depletion of active oil reserves in many regions of the world and a decrease in the level of oil production in developed

fields, it becomes necessary to widely apply methods to increase the productivity of operating wells. In the near future, the applied methods of stimulating the reservoirs and the bottomhole zone of wells will be of decisive importance in maintaining and increasing oil production. The main method of stimulating the bottomhole zone of wells, which has proven its high efficiency and is successfully used in many fields, is acid treatment. The article describes the technology and analyzes the results of hydrochloric acid treatments of the bottomhole formation zone at the production wells of the Salyukinskoye field.

**Keywords:** types of hydrochloric acid treatments; procedure for carrying out of the hydrochloric acid treatments on the Salyukinskoye field; preparation of wells for treatment; processing flow chart; design of treatments and preparation of working solutions; analysis of the impact on the bottomhole zone in the conditions of the Salyukinskoye field.

### **Порядок проведения солянокислотных обработок на Салюкинском месторождении**

Для обоснования метода воздействия на пласт и основных параметров обработок проведён комплекс лабораторных исследований по следующим направлениям:

- кинетика нейтрализации кислотных растворов карбонатной породой из продуктивных отложений Салюкинского месторождения при различных давлениях и температурах;
- исследование коррозионной активности кислотных растворов и подбор ингибиторов для снижения скорости коррозии трубных марок стали;
- исследование поверхностного натяжения кислотных растворов и продуктов их нейтрализации породой пласта на контакте с нефтью месторождения и различными буферными жидкостями;
- исследование взаимной растворимости рабочих агентов и возможность образования стойких эмульсий в пласте и их разрушения;
- характер растворения породы пласта в различных растворах и вероятность образования нерастворимых вторичных осадков.

Эффективность обработок пласта во многом определяется размерами обрабатываемой и загрязнённой зоны пласта. Размеры обрабатываемой зоны определяются, в свою очередь, временем нейтрализации кислоты в пластовых условиях. Поэтому для проектирования технологии обработок важно знать период нейтрализации кислотных растворов.

Скорость нейтрализации кислотных растворов пластовой породой зависит от состава пород, температуры, давления, раскрытости трещин в пласте, наличия органических отложений на стенках трещин и каналов фильтрации.

В ходе экспериментов и на основании данных установлено, что для пород из различных интервалов продуктивных отложений Салюкинского месторождения радикальных различий в механизме и скорости нейтрализации соляной кислоты не отмечается, хотя сама скорость реакции для чистых разностей известняка и доломитизированных известняков различается су-

щественно (в 2 раза).

По результатам исследований определено, что соляная кислота повышенной концентрации (21,7 %-ная) в условиях, приближённых к пластовым условиям Салюкинского месторождения, обладает большим периодом нейтрализации, чем стандартная (13,5 %-ная) HCl, обычно применяемая для обработок ПЗП.

Введение в стандартный раствор кислоты органических растворителей замедляет реакцию её с известняком (ацетон, лёгкий побочный продукт) или ускоряет её (изопропиловый спирт). Сульфаминовая кислота нейтрализуется медленнее 13,5 % HCl, но быстрее, чем 21,7 %-ная HCl.

Введение ортофосфорной кислоты в соляную кислоту замедляет реакцию с известняком. Характерно, что в этом случае раствор приобретает способность удалять плёнку нефти с поверхности породы.

Замедленно нейтрализуется монохлоруксусная кислота (МХУК) Волгоградского химзавода и реагент «Эффектон», представляющий собой смесь низкомолекулярных органических кислот Шебекинского химкомбината с соляной кислотой. Добавление в эти реагенты соляной кислоты ускоряет реакцию, а разбавление водой – замедляет её.

Повышение давления замедляет реакцию нейтрализации в несколько раз. Наибольшее замедление скорости нейтрализации наблюдается при давлениях ниже критического для углекислого газа (75,3 кгс/см<sup>2</sup>). Дальнейшее повышение давления почти не влияет на скорость реакции.

На основании результатов лабораторных исследований кинетики нейтрализации кислотных растворов различного состава с учётом зависимости:

$$\frac{T_1}{\delta_1} = \frac{T_2}{\delta_2} = \dots = \frac{T_n}{\delta_n},$$

где  $T_1, T_2, \dots, T_n$  – время нейтрализации;  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  – раскрытость трещин в пласте.

Результаты расчётов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Время нейтрализации кислоты

Кислотные растворы	Период нейтрализации, мин.
13,5 %-ная HCl	18,0-25,2
13,5 %-ная HCl + 20 % изопропанола	5,0-6,0
13,5 %-ная HCl + 20 % этанола	18,5
13,5 %-ная HCl + 20 % ЛПП	16,8-20,0
21,7 %-ная HCl	> 1500
13,5 %-ная HCl + 10 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	> 2500
13 %-ная HCl + 15 % МХУК	–
Сульфаминовая кислота	5,3-8,0
МХУК	400,0
Эффектон	760,0
Эффектон + 13,5 %-ная HCl (1:2)	260,0
Эффектон + вода (1:2)	950

13,5 %-ная HCl + 7,0 % изопропанола

15,0-17,5

Для Салюкинского месторождения приемлемыми растворами с точки зрения времени нейтрализации в пласте являются:

- 13-15 %-ная HCl;
- 13-15 %-ная HCl + 7 % изопропанола;
- 13-15 %-ная HCl + 20 % этанола (метанола);
- 13-15 %-ная HCl + 20 % ЛПП.

### Технологическая схема обработки

Технологическая схема обработки включает следующие основные операции:

- доставку на скважину исходных реагентов и приготовление рабочих растворов;
- закачку рабочих растворов в скважину и продавку в пласт;
- выдержку растворов в пласте на реагирование с породой;
- запуск скважины в работу.

Основные стадии обработок пласта на Салюкинском месторождении заключаются в закачке в скважину последовательно буферного раствора, затем базового раствора и продавочной жидкости.

В качестве буферного раствора используется ароматические углеводороды или ШФЛУ с теми же самыми добавками.

В качестве базового кислотного раствора рекомендуется использовать смесь из 7-20 % изопропанола и остальное – 13-15 %-ная соляная кислота также с добавками различного назначения.

В качестве продавочной жидкости необходимо использовать нефть или воду с добавкой 0,1-0,2 % ПАВ. При использовании нефти её следует отделять от кислоты буферной пробкой из лёгких нефтепродуктов (керосин, дизтопливо, ароматические углеводороды) объёмом порядка 0,2-0,3 м<sup>3</sup>.

### Анализ результатов работ по физико-химическому воздействию на пласт для интенсификации притоков в скважины

Анализ работ по кислотному воздействию на призабойную зону пласта выполнен по результатам проведённых обработок скважин, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты проведения обработки

№ скважины	157	157	162	161	14	6	79
Суммарная перфорированная толщина пласта, м	20	20	22	10,5	15	68	6
Объём кислоты, м <sup>3</sup>	0,8	6	6	6	3,5	6	6
Концентрация кислоты %	10	20	20	20	17	20	17
Удельный расход кислоты, м <sup>3</sup> /м	0,04	0,30	0,36	0,57	0,23	0,09	0,36
Объём и тип продавочной жидкости, м <sup>3</sup>	6 нефть	5,5 нефть	5 нефть	7,5 нефть	8,5 нефть	13 нефть	4,5 нефть
Время, час							
продавки кислоты в пласт		0,8				1,3	10
остановки на реакцию	8,0	1,4	2,0	0,5	2,0	1,0	1,5

Давление закачки и продавки кислоты, МПа	7-10	3	9-6	7-1,5	10-7	9-8	4
Кратность увеличения коэффициента приёмистости или продуктивности после обработки	–	–	1,5	2,6	1,4	6,8	–
Расчётный радиус проникновения кислоты в пласт, м	0,34	0,83	0,92	1,16	0,76	0,48	0,98

Средняя успешность обработок невысока и составляет 54,5 %. При этом все обработки в скважинах действующего фонда, проведённые с целью интенсификации притока нефти, оказались успешными. Суточные дебиты по скважинам после обработок возросли в 1,75-9,2 раза. Успешность работ при вызове притока из пласта очень низка. Только в одной скважине (№ 162 Салюкинская) получен положительный эффект.

Анализируя результаты обработок, следует отметить, что основными параметрами технологии обработки пласта, влияющими на результаты кислотных обработок, являются объём кислоты, её концентрация, скорость закачки и продавки в пласт и время выдержки на реагирование.

Анализируя данные таблицы 4, видно, что удельный расход кислоты при обработках составлял от 0,04 м<sup>3</sup> до 0,57 м<sup>3</sup> на погонный метр перфорированной толщины пласта. При условии равномерного профиля поглощения с учётом пористости коллектора расчётный радиус проникновения кислоты в пласт при обработках составил от 0,45 до 1,16 м, т.е. в пределах зоны пласта с наибольшим гидравлическим сопротивлением. Фактический радиус проникновения кислоты в химически активном состоянии значительно меньше расчётного из-за быстрой нейтрализации кислоты, обусловленной медленными темпами закачки и продавки её в пласт. Только в скважине № 157 темпы закачки и продавки сопоставимы со временем нейтрализации кислоты в пластовых условиях, а в остальных – головная порция кислоты нейтрализуется раньше, чем заканчивается её полная продавка в пласт. Таким образом, время выдержки кислоты в пласт при таких темпах закачки имеет значение только для последних порций кислоты.

Совершенно очевидно, что темпы закачки должны быть максимально увеличены и определяться допустимым давлением на эксплуатационную колонну. Приведённые данные свидетельствуют о наличии существенного резерва в этом плане.

В низкотемпературных пластах Салюкинского месторождения коэффициент увеличения продуктивности скважин с короткими периодами выдержки кислоты на реагирование с породой выше. При этом отмечается тенденция к увеличению коэффициента продуктивности или приёмистости пласта после обработок в скважинах с меньшими периодами остановок.

Если при 0,5-1,5-часовой выдержке на реагирование не произошло значительного изменения устьевых давлений в закрытой скважине, свидетельствующего об улучшении связи скважины с пластом, дальнейшая выдержка не только бесполезна, но и трудна. Так, например, по скважине № 157 после длительной (8 часовой) остановки на реакцию даже небольшого объёма кислоты, незначительный до обработки приток из пласта (0,36 м<sup>3</sup>/сут.) пре-

кратился полностью, что может быть связано с образованием вторичных высоковязких эмульсий или органических осадков. Вероятность их образования обусловлена физико-химическими свойствами и компонентным составом нефти Салюкинского месторождения и доказана результатами лабораторных исследований. Повторная обработка этого же интервала большим количеством кислоты, но с сокращённым до 1,4 часа периодом выдержки на реагирование, хотя и не дала положительного результата, тем не менее, был отмечен рост давления в трубах в закрытой на реакцию скважине, что связано с некоторым кратковременным улучшением связи скважины с пластом. Всё это свидетельствует в пользу недопустимости длительного оставления кислоты в пласте на реагирование.

Все скважины, за исключением скважины № 157 (первичная обработка), обработаны кислотой повышенной концентрации (17-20 %). Хотя зависимости результатов обработок от концентрации кислоты не выявлено, учитывая вязкость и плотность нефтей этого месторождения, значительное наличие в них высокомолекулярных соединений, применение кислот повышенной концентрации представляется недостаточно обоснованным из-за опасности образования в пласте высоковязких вторичных эмульсий.

Следует отметить определённую связь результатов обработок от характера изменения давления закачки и продавки кислоты в пласт. Из 5 обработок, характеризующихся снижением давления закачки или продавки кислоты, в 4 получен положительный эффект, т.е. успешность операций в этом случае составляет 80 %. В этих же скважинах отмечается рост устьевых давлений при выдержке их под давлением на реагирование кислоты с породой пласта.

По скважинам, давление закачки в которых не изменялось или возросло (5 обработок), неудачные обработки составляют большинство (80 %). Таким образом, снижение давления закачки, свидетельствующее об увеличении проницаемости призабойной зоны за счёт растворения породы и улучшения гидродинамической связи скважины с пластом, является достаточно надёжным признаком ожидаемого положительного результата обработки.

#### **Список использованных источников:**

1. Булатов А.И., Савенок О.В. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин: в 4 томах. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2012-2015. – Т. 1-4.
2. Булатов А.И., Савенок О.В., Яремийчук Р.С. Научные основы и практика освоения нефтяных и газовых скважин. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. – 576 с.
3. Попов В.В. [и др.] Геоинформатика нефтегазовых скважин. – Новочеркасск: Издательство «Лик», 2018. – 292 с.
4. Савенок О.В., Лаврентьев А.В., Березовский Д.А. Проектирование кислотной обработки пласта. – Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2014. – 86 с.

5. Савенок О.В. Проектирование разработки нефтяных месторождений: учебное пособие: в 2 частях. – Ухта: Издательство Ухтинского государственного технического университета, 2021.