



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C09K 8/74 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023108635, 06.04.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.04.2023

Дата регистрации:  
24.10.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.04.2023

(43) Дата публикации заявки: 07.10.2024 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 24.10.2024 Бюл. № 30

Адрес для переписки:  
443070, г. Самара, ул. Партизанская, 86, оф. 711,  
ООО "Эксперт Технолджи"

(72) Автор(ы):

Мохсен Али Мохаммед Абдулла (RU),  
Коновалов Виктор Викторович (RU),  
Любимов Олег Анатольевич (RU),  
Павлов Иван Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Общество с ограниченной ответственностью  
"Эксперт Технолджи" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2582605 C2, 27.04.2016. RU  
2715001 C2, 21.02.2020. RU 2627787 C2,  
11.08.2017. RU 2524227 C2, 27.07.2014. WO  
2016138072 A1, 01.09.2016. WO 2019010179 A1,  
10.01.2019. ШИПИЛОВ А.И. и др. Новые  
кислотные составы для селективной  
обработки карбонатных порово-трещиноватых  
коллекторов, "Нефтяное хозяйство", 2012, N  
20, с. 80 - 83.

(54) Состав для повышения эффективности солянокислотных обработок в карбонатных коллекторах

(57) Реферат:

Изобретение относится к области нефтедобычи. Технический результат изобретения - повышение эффективности солянокислотных обработок карбонатных коллекторов. Состав для повышения эффективности солянокислотных обработок включает, мас. %: цвиттерионное поверхностно-активное вещество ПАВ - кокаמידопропилбетаин 3,5-12,6; анионное ПАВ - динатрия лаурет-3 сульфосукцинат 1,5-5,5;

соляную кислоту 6-22; хлорид кальция 1-6; ингибитор коррозии на основе азотсодержащих ПАВ 0,6-1,5; деэмульгатор на основе ПАВ 0,05-0,2; противоосадочный реагент на основе этоксилированных спиртов и метанола 0,05-0,1; стабилизатор железа на основе сероорганических соединений и ПАВ 0,8-1,6; воду дистиллированную - остальное. 10 табл.

RU 2 829 133 C2

RU 2 829 133 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C09K 8/74* (2023.08)

(21)(22) Application: **2023108635, 06.04.2023**

(24) Effective date for property rights:  
**06.04.2023**

Registration date:  
**24.10.2024**

Priority:

(22) Date of filing: **06.04.2023**

(43) Application published: **07.10.2024 Bull. № 28**

(45) Date of publication: **24.10.2024 Bull. № 30**

Mail address:

**443070, g. Samara, ul. Partizanskaya, 86, of. 711,  
OOO "Ekspert Tekhnolodzhi"**

(72) Inventor(s):

**Mokhsen Ali Mokhammed Abdulla (RU),  
Kononov Viktor Viktorovich (RU),  
Lyubimov Oleg Anatolevich (RU),  
Pavlov Ivan Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu  
"Ekspert Tekhnolodzhi" (RU)**

(54) **COMPOSITION FOR INCREASING EFFICIENCY OF HYDROCHLORIC ACID TREATMENT IN CARBONATE RESERVOIRS**

(57) Abstract:

FIELD: oil, gas and coke-chemical industry.

SUBSTANCE: invention relates to oil production. Composition for increasing the efficiency of hydrochloric acid treatment includes, wt. %: zwitterionic surfactant - cocamidopropyl betaine 3.5–12.6; anionic surfactant - disodium laureth-3 sulposuccinate 1.5–5.5; hydrochloric acid 6–22; calcium chloride 1–6; corrosion inhibitor based on nitrogen-containing surfactants

0.6–1.5; surfactant-based demulsifier 0.05–0.2; anti-settling agent based on ethoxylated alcohols and methanol 0.05–0.1; iron stabilizer based on organosulphur compounds and surfactants 0.8–1.6; distilled water is balance.

EFFECT: increased efficiency of hydrochloric acid treatment of carbonate reservoirs.

1 cl, 10 tbl

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Изобретение относится к нефтедобывающей промышленности, в частности, к составам для интенсификации добычи нефти, и предназначено для повышения эффективности соляно-кислотных обработок карбонатных коллекторов.

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Опыт применения кислотных обработок показывает, что их эффективность зависит от выбора оптимальной кислотной композиции и дизайна кислотного воздействия с учетом геолого-физических и техногенных параметров продуктивного пласта [Глушенко В.Н., Пташко О.А, Харисов Р.Я., Денисова А.В., Кислотные обработки: составы, механизмы реакции, дизайн. - Уфа: АНРБ, Гилем, 2010. - 392 с.].

Среди возможных причин низкой эффективности кислотных обработок в карбонатных коллекторах выделяют преимущественное поступление кислоты в высокопроницаемые пропластки с высокой водонасыщенностью, что приводит к преждевременному росту обводненности скважинной продукции [Chang Frank F, Xiangdong Qiu, Hisham A. Nasr-El-Din Chemical Diversion Techniques Used for Carbonate Matrix Acidizing: An Overview and Case Histories // SPE Library paper number 106444. - 2007. - March].

Для повышения эффективности кислотных обработок предложены различные модифицированные кислотные составы, обладающие возможностью перераспределения поступающей кислоты в низкопроницаемые нефтенасыщенные интервалы, среди которых выделяют солянокислотные растворы вязкоупругих ПАВ.

Механизм действия таких композиций основан на их способности многократно повышать вязкость при реакции с карбонатной породой: по мере роста локальной вязкости состав эффективно отклоняется в нефтенасыщенные интервалы, в которых образование вязкоупругого раствора не наблюдается, это является непрерывным процессом отклонения в процессе закачки кислотного состава [Келланд М.А. Промысловая химия в нефтегазовой отрасли (Перевод с английского языка 2-го издания под редакцией Л.А. Магадовой). - СПб, 2015-606 с.]. Эффективность кислотных композиций зависит от повышения вязкости состава по мере реагирования с карбонатной породой, проявляющихся по причине агрегацией ПАВ с образованием мицеллярной структуры с вязкоупругими характеристиками.

Впервые о применении вязкоупругих кислотных систем сообщалось в 2001 году [Chang, F. A Novel Self-diverting-acid Developed for Matrix Stimulation of Carbonate Reservoirs/ F. Chang, Q.Qu, and W. Frenier/ SPE International Symposium on Oil field Chemistry/ Paper SPE, 2001.].

В 2003 году специалистами компании Шлюмберже предложен вариант вязкоупругого кислотного состава VDA (viscoelastic diverting acid) [Alleman D. The Development and Successful Field Use of Viscoelastic Surfactant-based Diverting Agents for Acid Stimulation/D. Alleman, R. Keck / Paper SPE 80222. 2003; Патент WO 2004005671 (A1); Brady, M. Positive Reactions in Carbonate Reservoir Stimulation [Text] / M. Brady, S. Davies, C. Fredd // Oilfield Review. - 2003. - №12. - P. 28-45; Pat. 2006018778 (A1) WO]. Состав VDA имеет низкую вязкость при закачке в пласт, при реакции состава с породой появляются продукты реакций и происходит повышение pH, которое приводит к росту вязкости раствора, создается временный барьер, отклоняющий идущий следом кислотный раствор в другие участки пласта, тем самым повышается селективность обработки нефтенасыщенных интервалов (пропластков).

Компания Halliburton предложила свои варианты вязкоупругих кислотных составов на основе катионного ПАВ - четвертичная аммониевая соль длинноцепочечной жирной

кислоты и анионных ПАВ - сульфированных метиловых эфиров жирных кислоты [Nasr-El-Din, H., Van Domelen, M., Sierra, L., & Welton, T. (2007). Optimization of Surfactant-Based Fluids for Acid Diversion. Proceedings of European Formation Damage Conference. doi:10.2523/107687-ms; Pat. 2006087525 (A1) WO; Pat. 2006180309 (A1) US].

5 Известна кислотная композиция для обработки призабойной зоны высокотемпературного карбонатного коллектора на основе ПАВ с добавкой полимера (полиэтиленмин) (патент РФ на изобретение №2770192). Недостаток данной композиции заключается в возможной кольматации призабойной зоны пласта (ПЗП) полимером и необходимости проведения дополнительных операций по ее очистке.

10 Известно решение (патент РФ на изобретение №2428563) по модификации реологических свойств за счет использования частично гидролизованного поливинилового эфира и полиакрилатов. Использование добавки позволяет регулировать реологические свойства реагента. Недостатком данного изобретения является использование высокомолекулярных соединений, которые могут ухудшить  
15 проницаемость ПЗП после применения состава.

Известна кислотная композиция, содержащая алкилбетаин и гидрофобно-модифицированный полиуретановый полимер (патент РФ на изобретение №2554983). Добавка полимера повышает термостабильность кислотной композиции, но после проведения вязкость отработанного состава остается высокой, что требует  
20 дополнительных стадий очистки ПЗП.

Известен кислотный реагент с изменяющейся вязкостью (патент РФ на изобретение №2311439). Состав состоит из 0,5-10% мас амидоаминоксида в растворителе - гликоле. Недостатком данного состава является то, что исходная композиция обладает  
повышенной вязкостью, что осложняет процесс закачки кислотного раствора.

25 Таким образом, к настоящему моменту предложены различные кислотные композиции с вязкоупругими ПАВ. В целом основной задачей является подбор рецептуры кислотного реагента, обеспечивающей при низких концентрациях дорогостоящих компонентов:

- низкую исходную вязкостью кислотного состава;
- 30 - набор вязкости состава по мере его реакции с карбонатной породой;
- низкую вязкость раствора после его полного реагирования с породой;
- отсутствие набора вязкости при контакте с породой в присутствии углеводородов.

#### РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

35 Задачей настоящего изобретения является повышение эффективности солянокислотных обработок карбонатных коллекторов.

Технический результат изобретения - повышение эффективности солянокислотных обработок карбонатных коллекторов, выражающееся, по меньшей мере, в одном из  
следующих эффектов:

- низкой исходной вязкости кислотного состава (что облегчает закачку реагента);
- 40 - обеспечении набора вязкости состава по мере его реагирования с карбонатной породой (что обеспечивает рост локальной вязкости состава и отклонения реагента в нефтенасыщенные интервалы, тем самым повышается селективность и охват кислотным воздействием пласта);
- отсутствии набора вязкости состава при его реакции с карбонатной породой в  
45 присутствии углеводородов;
- низкой вязкости отработанного состава (что минимизирует кольматацию (повреждение) пласта).

При этом удалось добиться указанных эффектов даже при более низкой концентрации

**ПАВ.**

Указанная задача решена с достижением технического результата благодаря тому, что состав для повышения эффективности солянокислотных обработок, включающий соляную цвиттерионное поверхностно-активное вещество ПАВ - кокамидопропилбетаин, анионное ПАВ - сульфосукцинат, ингибитор коррозии, стабилизатор, воду, содержит воду дистиллированную, ингибитор коррозии на основе азотсодержащих ПАВ, стабилизатор железа основе сероорганических соединений и ПАВ, в качестве сульфосукцината динатрия лаурет-3 сульфосукцинат и дополнительно электролит - хлорид кальция, деэмульгатор на основе ПАВ, противоосадочный реагент на основе этоксилированных спиртов и метанолапри следующем соотношении компонентов, мас. %:

	кокамидопропилбетаин	3,5-12,6
	динатрия лаурет-3 сульфосукцинат	1,5-5,5
	соляная кислота	6-22
15	хлорид кальция	1-6
	указанный ингибитор коррозии	0,6-1,5
	указанный деэмульгатор	0,05-0,2
	указанный противоосадочный реагент	0,05-0,1
	указанный стабилизатор железа	0,8-1,6
20	вода дистиллированная	остальное

Далее возможность реализации изобретения с достижением указанных эффектов будет проиллюстрировано на конкретных примерах.

**ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

Для приготовления испытуемых растворов использовали следующие компоненты:

1. Цвиттерионное ПАВ - кокамидопропилбетаин (КАПБ), представляющий собой прозрачную или слегка мутную жидкость желтоватого цвета со слабым характерным запахом. Концентрация КАПБ в товарной форме составляла 37% масс.
2. Анионное ПАВ - динатрия лаурет-3 сульфосукцинат этоксилированный жирный спирт со степенью этоксилирования 3 (обозначен СО-3). Концентрация СО-3 в товарной форме составляла 30% масс.
3. Дистиллированную воду.
4. Соляную кислоту.
5. Электролит - хлорид кальция. Представляет собой порошок белого цвета с массовой долей не менее 99%.
6. Кислотные присадки различных производителей, которые были добавлены в количествах, рекомендуемых производителем.

Предлагаемый вязкоупругий кислотный состав можно приготовить как в условиях промышленного производства, так и на объектах применения путем перемешивания все выше указанных компонентов в емкости с учетом последовательности растворения компонентов.

После подбора оптимального соотношения СО-3/КАПБ, кислотный состав готовили следующим образом: сначала были приготовлены образцы с концентрацией кислоты 18 мас. % HCl, а ПАВ 8-18 мас. %, далее растворы перемешивали.

В приготовленный раствор добавляли измельченный карбонат кальция (модель карбонатной породы) до остаточного содержания кислоты от 0 (полная нейтрализация) до 8% масс. Результаты эксперимента показали, что исходный кислотный состав обладает низкой вязкостью от 4,5 до 8 мПа·с, а при снижении содержания соляной кислоты и появлении в растворе продуктов реакции ( $\text{CaCl}_2$ ) происходит резкое увеличение вязкости

системы.

Исследования проводили с использованием реометра Modular Compact Rheometer MCR52 (Anton Paar GmbH, Австрия).

Измерительная система PP50, зазор между элементами измерительной системы 1 мм, скорость сдвига 1-100 с<sup>-1</sup>, температура измерения 20°C.

Результаты экспериментальных исследований (см. таблица 1-2) показывают, что по мере истощения соляной кислоты при реакции кислотного состава с карбонатной породой и появления продуктов реакции вязкость состава многократно повышается.

Изменение общей концентрации ПАВ в солянокислотных растворах приводит к следующим эффектам (см. таблица 1-2): резкому увеличению максимальной вязкости раствора в зависимости от общей концентрации ПАВ частично нейтрализованных растворов; смещению пика вязкости: максимальная вязкость при общей концентрации ПАВ 8% мас. наблюдается при остаточном содержании HCl 1% мас., при 14% мас. составляет 2% мас., при содержании ПАВ 18% мас. при остаточном содержании кислоты около 3% мас, а также расширению границ существования вязкоупругого раствора; изменение общей концентрации ПАВ оказывает влияние на вязкость состава после его полной нейтрализации: вязкость полностью нейтрализованного состава при общем содержании ПАВ 8% составляет 22 мПахс, при 14% 60 мПахс, а при 18% - 197 мПахс. Зависимость изменения вязкости полностью нейтрализованного состава при изменении общей концентрации ПАВ представлено в таблице 2, также представлено отношение максимальной вязкости состава к вязкости полностью нейтрализованной композиции

( $k = \mu_{\text{макс}} / \mu_{\text{нейтр}}$ ) от общей концентрации ПАВ, из которого следует, что кратность изменения вязкости состава снижается по мере увеличения общего содержания ПАВ.

30

35

40

45

Таблица 1 – Вязкость кислотной системы в зависимости от содержания ПАВ при различном остаточном содержании соляной кислоты.

5

10

15

20

Остаточная концентрация HCl, % масс.	Динамическая вязкость, мПа·с, при скорости сдвига, 100 s <sup>-1</sup> , и температуре 20 °С		
	Общая концентрация ПАВ, % масс.		
	8	14	18
0	22,25	59,72	200,81
1	<b>552,72</b>	589,46	798,5
2	105,25	<b>1162,93</b>	1574,06
3	67,485	780,85	<b>1844,7</b>
4	22,01	234,93	1789,00
5	17,195	130,71	902,4
6	18,14	65,30	458,51
7	16,29	35,02	120,26

25

Таблица 2 – Результаты моделирования процесса взаимодействия соляно-кислотных растворов вязкоупругих ПАВ с карбонатной породой

30

35

40

№	Общая концентрация ПАВ, % масс.	Динамическая вязкость, мПа·с, при скорости сдвига, 100 s <sup>-1</sup> , и температуре 20°С			Кратность изменения вязкости
		Вязкость исходного раствора	Максимальная вязкость	Вязкость полностью нейтрализованного раствора	
1	8	2,50	552,73	19,8	25,00
2	9,5	2,82	610,12	22,1	26,02

45

3	11	3,21	720,83	26,8	28,18
4	14	3,89	1162,93	59,72	18,21
5	16	4,24	1492,68	96,45	12,50
6	18	5,68	2000,02	196,72	10,05

Далее проводили эксперимент для исследования изменения динамической вязкости состава от температуры при различных скоростях сдвига представлены в таблице 3. График можно разбить на три участка: первый участок, в диапазоне температур 10-35°C, увеличение температуры приводит к повышению вязкости системы, что может быть связано с изменением формы мицелл; второй участок при температуре 35-40°C, на данном участке регистрируется максимальная вязкость раствора; третий участок при температурах выше 40°C, наблюдается снижение вязкости системы. Данный характер является необычным для мицеллярных растворов, поэтому решили провести исследования по определению размеров образующихся мицелл водных растворов в диапазоне температур от 20-60°C с использованием лазерного анализатора частиц (DelsaMax PRO - Light Scattering Analyzer). Результаты показали (см. таблица 3), что повышение вязкости обусловлено ростом диаметра мицеллярных агрегатов, а падение вязкость обусловлено уменьшением диаметра мицелл.

Таблица 3 – Результаты исследования влияния температуры на вязкость раствора

№	Температура, °C	Динамическая вязкость мПа·с, при различных скоростях сдвига $s^{-1}$ (общая концентрация ПАВ, 14 %)	Диаметры образующихся мицелл водных растворов, нм в зависимости от температуры °C
---	-----------------	---	---

		10 $s^{-1}$	50 $s^{-1}$	Температура °C	Диаметры, нм
1	10	492,19	738,39	20	7,2
2	20	1448,2	1804,2		
3	30	3937	2526,2	40	8,8
4	40	4349,5	2355,1		
5	50	2460,4	1200,9	60	8,5
6	60	1200,08	681,22		

Оценка изменения реологических свойств состава при взаимодействии с углеводородами была выполнена по следующей методике: в приготовленный кислотный раствор с общим содержанием ПАВ 14% мае. В качестве углеводорода использован

керосин по ГОСТ 10227-86, приготовление составов выполняли с использованием дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72. вводили керосин (10% по объему), далее добавляли измельченный карбонат кальция до остаточного содержания кислоты от 0 (полная нейтрализация) до 5%. Динамическая вязкость при скорости сдвига  $100 \text{ с}^{-1}$  частично нейтрализованных составов в присутствии углеводородов составила от 5,5 до 13,8 мПа·с. Минимальная вязкость наблюдалась при остаточной концентрации соляной кислоты 2,5% мас., а максимальная при 4% мас. Таким образом, проявление вязкоупругого геля в присутствии углеводорода не наблюдается, что подтвердила возможность регулирования вязкости состава в процессе обработки скважины и его полное разрушение после завершения работ и это позволяет сохранить ФЭС продуктивного горизонта. Результаты Оценка изменения реологических свойств состава при взаимодействии с углеводородами представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования влияния углеводородов на вязкость раствора

№	Остаточное содержание кислоты, % мас.	Динамическая вязкость мПа·с, при различных скоростях сдвига $\text{с}^{-1}$ (общая концентрация ПАВ, 14 %)	
		В присутствии контакта с керосином	В отсутствии контакта с керосином
1	0	7,31	59,72
2	1	11,14	589,46
3	2	5,651	1162,93
4	3	12,72	234,93
5	4	6,45	65,30
6	5	7,31	16,97

Таким образом, результаты экспериментальных исследований демонстрируют:

1. Исходный КС обладает низкой исходной вязкостью, что облегчает закачку реагента в пласт;

2. По мере истощения соляной кислоты при реакции КС с карбонатной породой и появления продуктов реакции вязкость состава многократно повышается, по мере роста локальной вязкости состав эффективно отклоняется в нефтенасыщенные интервалы, в которых образование вязкоупругого раствора не наблюдается (см. табл. 1), это является непрерывным процессом «самоотклонения» обеспечивающего повышение эффективности кислотной обработки;

3. Вязкость после полной нейтрализации невысокая, что минимизирует риски повреждения пласта после применения КС.

Полученные результаты показали перспективность их использования для разработки кислотных составов, обладающих эффектом «самоотклонения», но важным критерием выбора любого химического состава является возможность достижения необходимых характеристик при минимальной концентрации. В связи с этим, были осуществленные эксперименты направлены на снижение концентрацию дорогостоящих ПАВ в составе

кислотной композиции. Ввиду этого, к растворам ПАВ часто добавляют модификаторы реологических свойств. В качестве которых используются кислородсодержащие соединения, соли, органические кислоты и т.д. Выбор модификатора определяется типом ПАВ, их строением и содержанием [Ming Liu, Shicheng Zhang, Jianye Mou, Fujian Zhou, Yang Shi, Diverting Mechanism of Viscoelastic Surfactant-based Self-diverting Acid and Its Simulation//Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2013. - V.105. - P90-99].

С целью достижения вышесказанного был проведен эксперимент для оценки добавок хлористого кальция на изменение реологических свойств разработанной кислотной композиции ПАВ.

Исследования проводили для солянокислотного раствора с общим содержанием ПАВ 11% мас. при соотношении  $CO-3/\Sigma CO-3+КАПБ=0,29$ . Исходная концентрация соляной кислоты - 18% масс. Эксперимент проводился следующим образом: в приготовленный кислотный раствор с общим содержанием ПАВ 11% мас., добавляли  $CaCl_2$  в диапазоне концентраций от 1 до 10% мас., методом титрования определяли изменение концентрации кислоты после добавки  $CaCl_2$ , далее добавляли рассчитанные количества  $CaCO_3$  (моделирования взаимодействия соляной кислоты с породой) для нейтрализации растворов до остаточного содержания кислоты 0,7, 2,5 и 4,5% масс. и определяли вязкость раствора.

В таблицах 5 и 6 представлены вязкости кислотного состава при варьировании содержания электролита и остаточного содержания соляной кислоты и также сопоставление вязкости кислотного состава в отсутствии и присутствии электролита.

Таблица 5 – Вязкость кислотных растворов при варьировании содержания электролита и остаточного содержания соляной кислоты

Концентрация $CaCl_2$ , % масс.	Динамическая вязкость, $мПа \times с$ (скорости сдвига - $100 s^{-1}$ , температура $20 \text{ }^\circ C$ )		
	Остаточная концентрация $HCl$ , % масс.		
	0,7, % масс.	4,5, % масс.	2,5, % масс.
0	47,1	52,7	706,7

5	Концентрация CaCl <sub>2</sub> , % масс.	Динамическая вязкость, мПа·с (скорости сдвига - 100 s <sup>-1</sup> , температура 20 °С)		
		Остаточная концентрация HCl, % масс.		
		0,7, % масс.	4,5, % масс.	2,5, % масс.
	2	40,7	48,1	715,4
	4	36,1	37,9	791,8
10	6	78,8	30,3	727,4
	8	49,9	26,9	421,2
	10	40,2	19,3	100,0

15 Таблица 6 – Сопоставление вязкости кислотного состава в  
отсутствии и присутствии электролита при различном остаточном  
содержании соляной кислоты

20	Концентрация HCl, % масс.	Динамическая вязкость, мПа·с (скорость сдвига - 100 s <sup>-1</sup> , температура 20°С ), ПАВ 11% масс. CaCl <sub>2</sub> - 3% масс.	
		В отсутствии CaCl <sub>2</sub>	В присутствии CaCl <sub>2</sub>
	0	22,3	23,4
25	1	<b>552,7</b>	45,6
	2	<b>105,2</b>	<b>78,8</b>
	2,5	69,3	<b>727,4</b>
	3	67,5	<b>583,3</b>
30	3,5	22,0	<b>302,4</b>
	4	17,2	35,1
	5	18,1	30,0
35	6	16,2	20,5

Полученные результаты показали, что при добавлении CaCl<sub>2</sub> наблюдается смещение пика вязкости в зону более высокой остаточной концентраций соляной кислоты и повышение динамической вязкости раствора в 1,3 раза. При этом вязкость полностью нейтрализованного раствора существенно не изменилась, что свидетельствует об  
40 эффективности освоения скважины после проведения ОПЗ при использовании кислотных составов с добавкой электролита (хлористого кальция). Добавка электролита увеличила термостабильность разработанного состава растворов. Достаточно высокая вязкость сохраняется до 90°С (см. таблица 7).

45

Таблица 7 – Результаты исследования влияния температуры на вязкость раствора в присутствии электролита

5	Температура, °С	Динамическая вязкость мПа·с, при различных скоростях сдвига $s^{-1}$ (общая концентрация ПАВ, 11 %)
		100 $s^{-1}$
10	22,94	716,36
	42,62	566,32
	54,37	223,81
15	66,13	155,35
	70,03	158,73
	89,65	142,58

Результаты исследования показали, что дополнительное введение хлористого кальция  
 20 в состав кислотной композиции позволяет снизить концентрацию дорогостоящих ПАВ,  
 повысить вязкость, увеличить температурный диапазон применения разработанного  
 состава, расширить область проявления вязкоупругих свойств и сместить пик вязкости  
 в область более высокого остаточного содержания соляной кислоты, что является  
 более предпочтительным для повышения технологической эффективности кислотных  
 25 обработок, и также дают возможность регулирования необходимых реологических  
 свойств кислотных составов в зависимости от поставленной задачи.

При проведении кислотных обработок ПЗП в раствор кислоты добавляют кислотные  
 присадки с целью предотвращения кольматации призабойной зоны, для деэмульсации  
 нефти и снижения скорости распространения коррозии нефтепромыслового  
 30 оборудования, но поскольку состав присадок к кислотным растворам является  
 коммерческой тайной и точно не известен, то предсказать реологическое поведение  
 поток-отклоняющего кислотного состава в присутствии них невозможно. С связи с  
 этим проводили эксперимент для изучения влияния кислотных присадок (см. таблица  
 9А и Б). Анализируя полученные результаты, можно видеть, что добавление кислотных  
 35 присадок снижает вязкость системы при низких значениях скорости сдвига, при высоких  
 скоростях сдвига (при  $100 s^{-1}$ ) вязкость системы слабо изменяется с добавлением  
 реагентов.

40

45

Таблица 9.А – Сопоставление вязкости кислотного состава в присутствии электролита и кислотных присадок при различном остаточном содержании соляной кислоты.

Концентрация HCl, % масс.	Динамическая вязкость, мПа×с (скорость сдвига - 100 s <sup>-1</sup> , температура 20°C), ПАВ 11% масс. CaCl <sub>2</sub> - 3 % масс.
0	26,3
1	50
2	214,14
2,8	301,56
3,5	657,02
4,5	302,2
5	88,5
6	32,2

Таблица 9.Б– Сопоставление вязкости кислотного состава в присутствии электролита и кислотных присадок при различных скоростях сдвига.

Скорость сдвига, s <sup>-1</sup>	Динамическая вязкость, мПа×с (скорость сдвига - 100 s <sup>-1</sup> , температура 20°C), ПАВ 11% масс. CaCl <sub>2</sub> - 3 % масс.
1	949
10	839
30	813
50	781
70	721
90	679

Последний этап посвящен сравнению гелеобразующей способности разработанного кислотного состава и промышленного аналога, в качестве которого использовали реагент «Сурфогель» марки А. Характеристики промышленного аналога принимали в соответствии со следующими данными

[[https://polyex.ru/catalog/potokootklonyashchie\\_sostavy/surfogel-marka-a/?sphrase\\_id=42027](https://polyex.ru/catalog/potokootklonyashchie_sostavy/surfogel-marka-a/?sphrase_id=42027); Демахин С.А., Шипилов А.И. и др. Эффективная кислота. Многообразие кислотных систем для интенсификации дебита в сложных условиях С.А. ДЕМАХИН, А.И. ШИПИЛОВ, А.А. МОКРУШИН, А.П. МЕРКУЛОВ // «Нефтегазовая Вертикаль», 7-8/2017, стр. 52-53]

Таблица 10 – Сопоставление максимальной вязкости составов при 20 гр.

Концентрация гелеобразующей добавки	Вязкость, мПа·с	
	Промышленный аналог	Разработанный состав
6,0	112	420
11,0	337	720

Сопоставление реологических характеристик заявляемого КС и промышленного образца показывает, что разработанный КС превосходит промышленный образец по вязкости при одинаковой концентрации гелеобразующей добавки (ПАВ).

Таким образом, результаты экспериментальных исследований, показывают, что разработанный кислотный состав обладает низкой исходной вязкостью, что облегчает закачку реагента в пласт; при применении состава по мере истощения соляной кислоты при реакции кислотного состава с карбонатной породой и появления продуктов реакции вязкость состава многократно повышается, по мере роста локальной вязкости состав эффективно отклоняется в нефтенасыщенные интервалы, в которых образование вязкоупругого раствора не наблюдается; вязкость состава после полной нейтрализации невысокая, что минимизирует риски повреждения пласта после применения состава; добавка в кислотный состав хлорида кальция позволяет снизить концентрацию ПАВ при сохранение необходимой вязкости, расширить область проявления вязкоупругих свойств и сместить пик вязкости в область более высокого остаточного содержания соляной кислоты, что является более предпочтительным для повышения технологической эффективности кислотных обработок. Совокупность полученных результатов обеспечивает повышение эффективности солянокислотных обработок карбонатных коллекторов.

#### (57) Формула изобретения

Состав для повышения эффективности солянокислотных обработок, включающий соляную кислоту, цвиттерионное поверхностно-активное вещество ПАВ - кокамидопропилбетаин, анионное ПАВ - сульфосукцинат, ингибитор коррозии, стабилизатор, воду, отличающийся тем, что содержит воду дистиллированную, ингибитор коррозии на основе азотсодержащих ПАВ, стабилизатор железа на основе сероорганических соединений и ПАВ, в качестве сульфосукцината динатрия лаурет-3 сульфосукцинат и дополнительно электролит - хлорид кальция, деэмульгатор на основе ПАВ, противоосадочный реагент на основе этоксилированных спиртов и метанола при следующем соотношении компонентов, мас. %:

кокамидопропилбетаин	3,5-12,6
динатрия лаурет-3 сульфосукцинат	1,5-5,5
соляная кислота	6-22
хлорид кальция	1-6
указанный ингибитор коррозии	0,6-1,5
указанный деэмульгатор	0,05-0,2
указанный противоосадочный реагент	0,05-0,1
указанный стабилизатор железа	0,8-1,6
вода дистиллированная	остальное