УДК 622.234.573

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА КИСЛОТНОЙ ОСНОВЕ

PROSPECTS FOR THE USE OF ACID-BASED FRACTURING FLUIDS

Рыбальченко Юрий Михайлович
кандидат технических наук,
доцент,
доцент кафедры нефтегазовые техника и технологии,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
13050465@mail.ru

Кривошеев Кирилл Владимирович
студент,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
210506.tbn@mail.ru

Ткаченко Даниил Евгеньевич
студент,
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова
210506.tbn@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены составы жидкостей гидроразрыва пласта (ГРП) на кислотной основе, составы и добавки, улучшающие ее физико-химические свойства. Проанализированы рецептуры жидкости гидрокислотного разрыва пласта для определенных коллекторов.

Ключевые слова: кислотный гидроразрыв пласта (КГРП), физико-химические свойства, жидкость разрыва.

Rybalchenko Yuri Mikhailovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Oil and Gas Engineering and Technology,
South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova
13050465@mail.ru

Krivosheev Kirill Vladimirovich
Student,
South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova
210506.tbn@mail.ru

Tkachenko Daniil Evgenievich
Student,
South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova
210506.tbn@mail.ru

Annotation. The article considers the compositions of acid-based hydraulic fracturing fluids, compositions and additives that improve its physical and chemical properties. Hydraulic acid fracturing fluid formulations for specific reservoirs were analyzed.

Keywords: acid hydraulic fracturing (ACHF), physical and chemical properties, fracturing fluid.

В настоящее время сооружение нефтяных и газовых скважин приурочено в большинстве случаев к месторождениям с трудноизвлекаемыми запасами для добычи которых требуется применение передовых технологий нефтеизвлечения. Для увеличения притока флюида применяют различные способы повышения нефтеотдачи скважины. Одним из основных является гидроразрыв пласта (ГРП), по составу различают следующие жидкости ГРП: водные, кислотные, пенные, линейные [1].

Основополагающим для успешного проведения интенсификации притока и функционирования нефтяных и газовых скважин является правильно подобранная жидкость, применяемая при данной технологической операции. В каждом конкретном случае составы жидкости и добавки к ней будут отличаться. На выбор жидкости влияет такой фактор как химический состав пород, залегающих в продуктивном горизонте [2].

Авторами рассмотрены составы жидкостей ГРП на кислотной основе для таких пород-коллекторов: ангидридные, терригенные, карбонатные, содержащие в своем составе как осадкообразующие включения (сульфаты, различные соединения железа), так и отсутствующие в них (табл. 1).

Таблица 1 – Основы жидкостей ГРП на кислотной основе, для определенного типа коллектора

№ п/п	Состав коллектора	°С	Концентрация реагентов	Растворяющая способность на 1 $м^3$
1	2	3	4	5
1.	Карбонатный коллектор	< 60	HCl – 10 %	143, 4 кг
			HF – 16 %	239, 3 кг
2.	Железосодержащий коллектор	< 60	HCl (10 %) + CH_3COOH (3–5 %) или $C_6H_8O_7$ (2–3 %)	168,5 кг

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
3.	Сульфатизированный карбонатный коллектор	< 60	HCl (10–16 %) NaCl (6–7 %) $CaCl_2$ (5–10 %) $K_2SO_4 + MgSO_4$ (3–4 %)	HCl 10 % = 143,4 кг 16 % = 239,3 кг
4.	Ангидридосодержащие породы	< 60	HCl (12 %) +KNO3 (6–10 %) KNO3 (6–10 %) ув. раст. на 8–21 %	HCl 12 % = 18,5 кг (CaSO2)
5.	Сульфат- и железосодержащие коллекторы	< 60	HSO3 (10–15 %)	–
		> 90	CH3COOH (10 %)	
6.	Терригенные коллекторы (сложены песчаниками и алевролитами)	< 60	HCl (8–10 %) + HF (3–5 %)	HF 3 % = 27,5 кг 5 % = 43,1 кг (по каолину)

В качестве основы жидкости ГРП в зависимости от химического состава породы коллектора можно использовать соляную (HCl), плавиковую (HF), уксусную (CH_3COOH), сульфаминовую (NH_2SO_3H), серную (H_2SO_4), а также смеси выше упомянутых кислот, как пример смеси органических кислот (оксидаты) и неорганических кислот (глинокислота HCl + HF)

Помимо вышеупомянутых реагентов применяется также:

- газированная кислота (HCl (1–6 %) газированная азотом, углекислым газом и воздухом);
- кислотная пена (HCl (15–20 %), ПАВ (0,1–0,5 %), стабилизатор КМЦ (≤ 1,5 %));
- загущенная соляная кислота (HCl (12–15 %), КМЦ (0,5–3 %)).

Важным является замедление скорости реакции кислоты с породой, для более лучшего проникновения в пласт. При необходимости увеличить время нейтрализации соляной кислоты можно использовать CaCl2, который может замедлять реакцию до 2,5 раз.

Помимо, основных компонентов в жидкости ГРП также могут присутствовать различные добавки. Авторы систематизировали все возможные источники и составили таблицу химических добавок для жидкостей ГРП, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Добавки для жидкостей ГРП

Добавки для жидкости ГРП	Химические реагенты			
1	2			
Сшиватели	Боратные соли $Na_2B_4O_7$	Цирконаты H_2ZrO_3, $H_2Zr_3O_7$, H_4ZrO_4.	Алюминатные соли $Na[Al(OH)_4]$, $Na_3[Al(OH)_6]$.	Титанатовые соли H_2TiO_3, H_4TiO_4
Деструкторы (брейкеры)	Пероксигидрат мочевины	перекись водорода H_2O_2	гипохлорит натрия $NaClO$	персульфат калия $K_2S_2O_8$
			перкарбонат натрия $Na_2CO_3 \cdot 1{,}5H_2O_2$	перманганат калия $KMnO_4$
Буферы	Уксусная кислота CH_3COOH	комбинации моно- и бинатриевых фосфатов	натриевая зола Na_2CO_3	ацетат натрия $C_2H_3O_2Na$
			диацетат натрия $C_4H_7NaO_4H_2O$	бикарбонат натрия $NaHCO_3$
Регуляторы pH	Каустическая сода $(NaOH)$	гидроксид натрия $(NaOH)$	–	–
ПАВ	Четвертичные амины с растворителем	ОП-10	метанол, изопропанол	Этоксилированный спирт
Деэмульгаторы	Карбамид	тиомочевину	нефтенол Д	
Стабилизаторы глин	Хлорид тетраметиламмония	хлорид калия	хлорид аммония $(NH4Cl)$	гипс. алебастр (Сульфат кальция)
Биоциды (бактерициды)	Глутаральдегид: 2-бром-2-нитро-1,2-пропандиол $C_3H_6BrNO_4$			известь гашеная $(Ca(OH)_2)$
Понизители водоотдачи	Кварцевая мука	частицы крахмала	нефтерастворимая смола	УЩР
Понизитель трения	Акрилат-акриламидный сополимер натрия	поли-акриламид (ПАМ)	нефтяные дистилляты	–

Окончание таблицы 1

1	2			
Усилитель вязкости	Салицилат натрия	ксантовая камедь $C_{35}H_{49}O_{29}$	–	–
Ингибитор коррозии	Метанол	бисульфат аммония	азолят А	алкилсульфонат
Стабилизаторы	Тиосульфат натрия	–	–	–

Одной из основных проблем применения рассмотренных жидкостей является коррозионная активность, а при повышении концентрации пагубное воздействие только усиливается. Для предотвращения такого негативного влияния на буровое оборудование необходимо вводить антикоррозионные присадки, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Реагенты, позволяющие снизить коррозионную активность при КГРП

Название реагентов	Оптимальная концентрация в растворе масс,%
Имидазолин (ДФ-3)	7
Азолят А	0,3–0,5
Алкилсульфонат	1,0–2,0
Катапин А – катионактивное ПАВ (ингибитор коррозии)	0,5–1,0
Корбозолин О –ионогенное катионактивное ПАВ	0,5–1,0
Нефтенол К	4,0
Неонола 9–10	4,0
Сульфанол НП-1 (синтетическое ПАВ)	до 0,3

В настоящее время метод КГРП применяется на многих месторождениях, даже несмотря на высокую стоимость работ.

В связи с применением большого количества химических регентов в жидкости ГРП, выпадение осадка после взаимодействия может сильно варьировать. Из-за этого важно проводить доскональную проверку состава пластовых флюидов, пород, слагающих продуктивный пласт, для правильного подбора реагентов для КГРП.

С учетом проведенного анализа материала, изложенного в технической литературе, а также обобщения промысловых работ по вопросу проведения КГРП, можно сделать следующие выводы:

- гидравлический разрыв пласта достаточно эффективен на основе кислот. Применяется в течение многих лет и успел хорошо зарекомендовать себя;
- основным достоинством предлагаемой технологии является то, что после остановки насосов весь объем кислоты фильтруется в пласт, тем самым создавая каналы, обеспечивающие увеличение площади фильтрации;
- при использовании КГРП важно уделять внимание коррозионной активности жидкости разрыва.

Список литературы:

1. Исмагилов Р.Р. Жидкости разрыва, применяемые при кислотном ГРП / Р.Р. Исмагилов // Инновационные технологии в науке нового времени: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Казань, 12 июня 2017 года. – Казань : ООО «Агентство международных исследований», 2017. – С. 110–112.

2. Борхович С.Ю. Выбор жидкости и пропанта при гидроразрыве пласта / С.Ю. Борхович, С.Б. Колесова, И.С. Коньков; Отв. ред. А.М. Макаров // Приоритеты стратегии научно-технологического развития России и обеспечение воспроизводства инновационного потенциала высшей школы: Матер. Всерос. научн. конф., Ижевск, 27 февраля 2019 года. – Ижевск : Издательский дом «Удмуртский университет», 2019. – С. 19–27.

List of references:

1. Ismagilov R.R. Fracture fluids used in acid fracturing / R.R. Ismagilov // Innovative technologies in science of new times: Collection of articles based on the results of the International Scientific and Practical Conference, Kazan, June 12, 2017. – Kazan : LLC «Agency for International Research», 2017. – P. 110–112.

2. Borkhovich S.Yu. Choice of fluid and proppant during hydraulic fracturing / S.Yu. Borkhovich, S.B. Kolesova, I.S. Konkov; Executive editor A.M. Makarov // Priorities of the strategy of scientific and technological development of Russia and ensuring the reproduction of the innovative potential of higher education: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference, Izhevsk, February 27, 2019. – Izhevsk : Udmurt University Publishing House, 2019. – P. 19–27.