

УДК 622.276.63

К.А. Равелев

K.A. Ravelev

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
КИСЛОТНОГО СОСТАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ
РАСТВОРЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ГОРНОЙ ПОРОДЫ
INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF APPLICATION
OF THE ACID COMPOSITION DEPENDING ON THE RATE
OF DISSOLUTION OF ROCK MINERALS**

В рамках научного исследования проанализирована скорость растворения образцов горной породы кислотными составами, характеризующая глубину проникновения активной части кислотной композиции в пласт. С целью решения поставленной задачи проведены лабораторные исследования на свободном объеме, а также при помощи фильтрационной установки и выведены результаты по скорости растворения. Представлена интерпретация результатов на пласт, полученных в ходе лабораторных исследований, и подобран наиболее эффективный кислотный состав, позволяющий создать высокопроницаемые каналы фильтрации в наиболее отдаленной от скважины зоне пласта, основываясь на изучении динамики изменения скорости растворения горной породы в зависимости от продолжительности реакции.

Ключевые слова: соляно-кислотная обработка, кислотный состав, скорость растворения, глубина проникновения, карбонатный коллектор.

The rate of dissolution of rock samples by acid compositions, which characterizes the depth of penetration of the active part of the acid composition into the formation, was analyzed as part of the scientific study. In order to solve this problem, laboratory studies were carried out on a free volume, as well as using a filtration unit, and the results on the dissolution rate were derived. In conclusion, the paper presents an interpretation of the results obtained in the course of laboratory studies, and selects the most effective acid composition that allows you to create highly permeable filtration channels in the most remote zone of the formation from the well, based on the study of the dynamics of changes in the rate of rock dissolution depending on the duration of the reaction.

Keywords: hydrochloric acid treatment, acid composition, rate of dissolution, penetration depth, carbonate reservoir.

На сегодняшний день нефтегазовые месторождения Пермского края находятся на завершающих стадиях разработки, в связи с чем наблюдаются низкие дебиты нефтедобывающих скважин, а также значительная обводненность скважинной продукции. На данной территории около 60 % разрабатываемых объектов составляют карбонатные коллекторы, характеризующиеся низкими

фильтрационно-емкостными свойствами и высокой анизотропией [1, 2]. С целью поддержания добычи нефти из малопродуктивных пластов применяются различные геолого-технические мероприятия (ГТМ).

Одним из наиболее эффективных и активно применяемых на нефтегазодобывающих комплексах мероприятий является соляно-кислотная обработка (СКО) [3, 4]. Данный метод интенсификации притока нефти позволяет за счет создания дополнительных или расширения существующих каналов фильтрации повысить гидродинамическую связь системы «пласт-скважина». Однако, учитывая большое количество проведенных операций и исследований на тему совершенствования данной технологии, около половины из них не достигают плановых значений [5, 6]. По мнению автора, данная проблема связана с недостаточной изученностью взаимодействия кислотного состава (КС) и горной породы.

Эффективность проведения СКО во многом зависит от глубины проникновения активного КС в толщу продуктивных отложений [7–9], поскольку создание высокопроводящих фильтрационных каналов в наиболее отдаленной от скважины зоне приводит к наилучшему результату. При высокой скорости растворения и, следовательно, быстрой нейтрализации кислотной композиции процесс растворения происходит активно только в близлежащей зоне скважины, и дальнейшее проникновение является абсолютно безрезультатным. Поэтому предварительные исследования взаимодействия КС и образцов горной породы являются необходимым ключом к успешной обработке призабойной зоны пласта (ПЗП).

С целью изучения поднятого вопроса автором проведена серия лабораторных экспериментов по определению наиболее эффективного КС в зависимости от скорости растворения образца породы турнейских отложений одного из нефтяных месторождений Пермского края. В качестве тестируемых кислотных композиций использовалось три КС, которые активно применяются при проведении СКО в ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Лабораторные исследования проведены в Лаборатории нефтепромысловой химии НОЦ ГиРНГМ ПНИПУ. С целью предварительной оценки скорости растворения образцов нефтенасыщенного коллектора проведены эксперименты на свободном объеме. Для реализации данных экспериментов отобраны образцы керна с целевой скважины были распилены на «таблетки» (рис. 1). Эти «таблетки» имеют цилиндрическую форму с малой высотой и примерно одинаковый размер для более корректного сравнительного анализа.

Метод проведения экспериментов на свободном объеме заключался в исследовании скорости растворения «таблеток» тестируемыми КС при пластовой температуре 29 °С. Достижение температурного режима осуществлялось путем помещения образцов горной породы и КС в термошкаф. Для оценки скорости растворения каждым составом объемом 50 мл использовалось по 8 «таблеток» с целью определения растворившейся массы в зависимости от продолжительности реакции. Процесс взаимодействия проходил в течение 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120 и 360 мин, после чего образцы высушивались. Образцы горной породы

взвешивались на лабораторных весах METTLER TOLEDO с точностью до 3-го знака после запятой, определялась площадь контактирующей поверхности для минимизации погрешности расчетов скорости растворения.

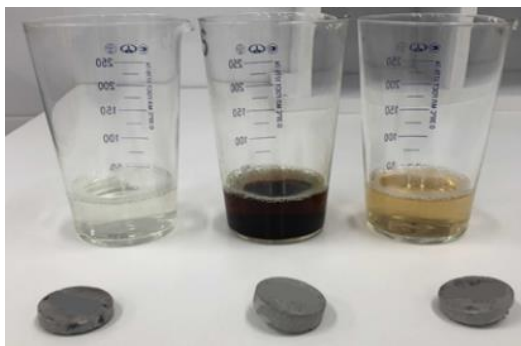


Рис. 1. Образцы керна и кислотных составов перед проведением эксперимента

На основании определения разницы масс образцов керна до и после реакции с КС с различной продолжительностью построен график (рис. 2), отражающий результаты проведенных исследований. При выполнении экспериментов фиксировались значения pH с целью исследования потери активности КС при реагировании с горной породой. Тенденция изменения водородного показателя аналогична динамике изменения растворившейся массы образцов.

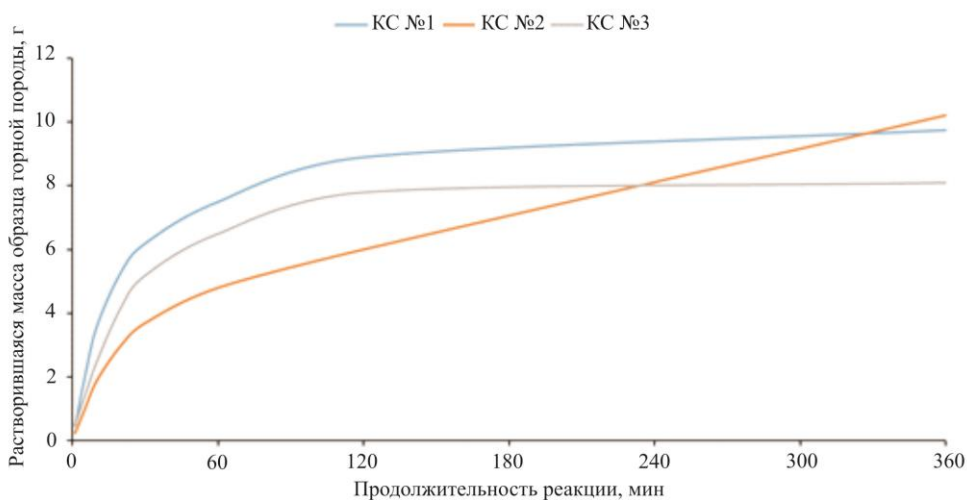


Рис. 2. Динамика изменения растворившейся массы образца горной породы в зависимости от продолжительности реакции

На представленных графиках видно, что наибольшую эффективность имеет КС №2, поскольку процесс растворения горной породы протекает медленнее, чем при реакции с другими составами. Также отмечается, что данный состав по окончании 6 ч взаимодействия с «таблеткой» способен растворить наибольшую массу горной породы, что делает его эффективнее по сравнению с КС №1 и №3.

С целью анализа значений скорости растворения исследуемых кислотных композиций в зависимости от продолжительности реакции графики, представленные на рис. 3, продифференцированы, в результате получена динамика изменения скорости растворения, при этом учтена площадь контактирующей поверхности каждой «таблетки».

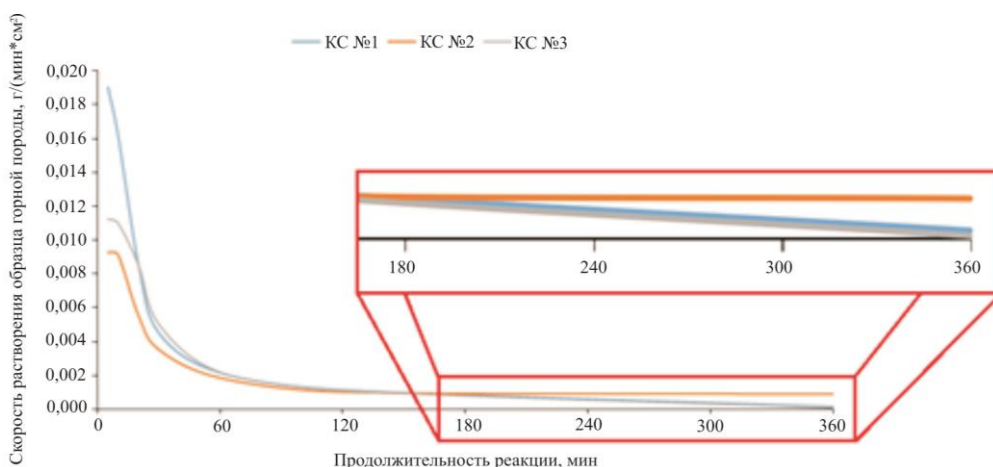


Рис. 3. Динамика изменения скорости растворения образца горной породы в зависимости от продолжительности реакции

Анализируя данные, представленные на рис. 3, можно убедиться в эффективности КС под номером 2, поскольку в начальный момент времени взаимодействия КС с образцом горной породы данный состав имеет наименьшую скорость растворения, а по завершении реакции отмечается незначительное падение значения растворяющей скорости, что нельзя сказать про другие КС. В случае рассмотрения состава №1 можно отметить высокую начальную скорость растворения и стремительное падение при дальнейшем взаимодействии, что позволяет говорить, интерпретируя данные результаты для пластовых условий, о незначительной глубине проникновения активной части КС в продуктивный пласт, т. е. основная доля растворившейся массы горной породы приходится на близлежащую к скважине зону. Кислота №3 имеет наихудшие

показатели среди рассматриваемых КС, поскольку данный состав имеет небольшую скорость растворения в начале реакции, а также ухудшенную растворяющую способность при дальнейшем реагировании с горной породой.

Для окончательного установления эффективности применения КС в зависимости от глубины проникновения в пласт активной ее части проанализированы результаты фильтрационных исследований керна, проведенных на модульной компьютеризированной системе AFS-300. Данная установка позволяет смоделировать дизайн СКО на стандартном образце керна. Моделирование закачки КС происходило при одинаковых условиях, образцы керна были подобраны со схожими характеристиками. Объем реагента принимался равным 4 поровых объема испытываемого керна.

С целью исследования динамики скорости растворения образца горной породы КС в условиях, максимально приближенных к пластовым, проведен ряд фильтрационных испытаний при времени выдержки 2, 4 и 6 ч. Эффективность кислотной композиции определялась исходя из характера изменения коэффициента восстановления с повышением продолжительности выдержки КС. Данный коэффициент отражает прирост проницаемости керна. Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

Результаты фильтрационных исследований

Номер опыта	Номер кислотного состава	Время выдержки, ч	Коэффициент восстановления
1	1	2	961
2		4	1478
3		6	1697
4	2	2	526
5		4	1390
6		6	2716
7	3	2	823
8		4	1175
9		6	1518

Изучение результатов фильтрационных исследований позволило подтвердить наибольшую эффективность кислотной композиции №2, поскольку тенденция роста коэффициента восстановления происходит намного стремительнее при рассмотрении всего временного ряда по сравнению с результатами других КС. Также отмечается, что коэффициент восстановления при воздействии данным КС при наименьшей продолжительности выдержки характеризуется меньшим приростом коэффициента проницаемости, что говорит об эффективности замедлителей, входящих в состав кислотной композиции. При увеличении времени выдержки сравнительный анализ показывает, что коэффициент восстановления значительно увеличивается при обработке КС №2 и

превышает значения, полученные при воздействии остальными тестируемыми КС. Анализ полученных данных показывает наибольшую продолжительность реакции образцов горной породы целевого объекта со вторым рассматриваемым КС и, самое главное, незначительное падение скорости растворения при достаточно длительной выдержке, тогда как у других КС при достижении 6 ч взаимодействия скорость очень близка к нулю, поскольку основная активная масса утратила растворяющую способность на начальном этапе реакции.

Интерпретация представленных результатов на пласт, полученных при проведении лабораторных исследований как на свободном объеме, так и на фильтрационной установке, позволяет сказать, что при использовании кислотной композиции под номером 2 обработка призабойной зоны пласта будет иметь наибольшую эффективность, поскольку глубина проникновения активной части КС будет максимальной при сравнении с другими кислотными композициями.

Таким образом, при исследовании скорости растворения минералов горной породы в лабораторных условиях возможно подобрать наиболее эффективный КС, который позволит создать высокопроницаемые каналы фильтрации в отдаленной от скважины зоне пласта за счет наиболее длительного сохранения своей активности. Внедрение и применение данного подхода к подбору КС в нефтегазодобывающих компаниях обеспечат повышение результативности используемых технологий СКО.

Список литературы

1. Исследование воздействия кислотогенерирующего состава на керны продуктивных отложений Куюмбинского лицензионного участка / Хижняк Г.П. [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №. 3. – С. 31–35.

2. Авдеев И.В., Кочнев А.А. Анализ эффективности геолого-технических мероприятий на примере турнейско-фаменского объекта Озерного месторождения // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – №. 1. – С. 48–52.

3. Stimulation of Calcite-Rich Shales Using Nanoparticle-Microencapsulated Acids / Singh R. [et al.] //SPE Journal. – 2019.

4. Influence of Transport Conditions on Optimal Injection Rate for Acid Jetting in Carbonate Reservoirs / D. Ridner [et al.] //SPE Production & Operations. – 2019.

5. Яраханова Д.Г., Кольчугин А.Н. Применение горизонтальных скважин в неоднородных карбонатных коллекторах на примере черепетских отложений юго-востока Республики Татарстан // Нефтяное хозяйство. – 2016. – Т. 6. – С. 87.

6. Мартюшев Д. А. Лабораторные исследования кислотных составов для обработки коллекторов, характеризующихся различной карбонатностью и структурой пустотного пространства горных пород // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, №. 4. – С. 6–12.

7. A Novel Cationic Polymer System That Improves Acid Diversion in Heterogeneous Carbonate Reservoirs / A. Sarmah [et al.] //SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 2019.

8. Acid Stimulation Improvement with the Use of New Particulate Base Diverter to Improve Zonal Coverage in HPHT Carbonate Reservoirs / F. Moid [et al.] // International Petroleum Technology Conference. – 2020.

9. Modeling and simulation of wormhole formation during acidization of fractured carbonate rocks / P. Liu [et al.] //Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2017. – Vol. 154. – P. 284–301.

Получено 16.09.2020

Равелев Кирилл Алексеевич – студент, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kravelev@gmail.com.

Научный руководитель **Илюшин Павел Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовые технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ilushinpavel@yandex.ru.