

УДК 622.276.63

К.А. Равелев

K.A. Ravelev

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБОНАТНОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ
НА ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПА НАГНЕТАНИЯ
КИСЛОТНОГО СОСТАВА В ПЛАСТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ОБРАБОТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF ROCK CARBONATE
CONTENT ON THE SELECTION OF THE OPTIMAL RATE
OF INJECTION OF ACID COMPOSITION INTO
THE FORMATION DURING PROCESSING
OF THE BOTTOM HOLE ZONE**

Актуальность данного научного исследования связана с малой долей успешных обработок призабойной зоны пласта кислотными составами, не достигающих плановых показателей. Автором работы проведен обзор научной литературы и установлены причины, которые оказывают влияние на эффективность соляно-кислотных обработок, на основании чего поставлена главная цель, заключающаяся в оценке необходимости определения карбонатности горной породы для подбора оптимальной скорости закачки кислотного состава в пласт и достижения максимальной эффективности от кислотного воздействия. На базе результатов проведенных лабораторных экспериментов и анализа публикаций автором сделаны основные выводы, в соответствии с которыми продемонстрирована установленная связь между данными параметрами.

Ключевые слова: обработка призабойной зоны, кислотный состав, эффективность мероприятия, растворение горной породы, карбонатность.

The relevance of this scientific study is associated with a small proportion of successful treatments of the bottom hole zone of the reservoir with acid compositions that do not reach the planned indicators. The author of the work conducted a review of the scientific literature and identified the reasons that affect the effectiveness of hydrochloric acid treatments, on the basis of which the main goal is set, which is to assess the need to determine the carbonate content of the rock to select the optimal rate of injection of acid composition into the reservoir and achieve maximum efficiency from acid exposure. Based on the results of laboratory experiments and the analysis of publications, the author makes the main conclusions, according to which the established relationship between these parameters is demonstrated.

Keywords: treatment of the bottom hole zone, acid composition, effectiveness of the event, dissolution of rock, carbonate content.

В настоящее время карбонатные коллекторы для Пермского края представляют огромный интерес, поскольку в них сосредоточено более 50 % запасов углеводородного сырья [1]. Разработка данных объектов имеет ряд особенностей, непосредственно связанных со сложным геологическим строением, низкими фильтрационно-емкостными свойствами и высокой анизотропией данных пластов [2]. На всем протяжении работы скважин, эксплуатирующих карбонатные коллекторы, на них проводится большое количество геолого-технических мероприятий с целью восстановления или улучшения коллекторских свойств и повышения уровня отборов нефти.

Рассмотрение российских и зарубежных научных работ, а также анализ опыта проведения мероприятий на месторождениях Пермского края позволили автору сделать вывод, что наиболее перспективным методом интенсификации добычи нефти является обработка призабойной зоны пласта (ПЗП) кислотными составами (КС) [3–5]. Применение данной технологии при грамотном ее проектировании и проведении может значительно повысить коэффициент продуктивности скважины за счет улучшения фильтрационно-емкостных свойств ПЗП. В процессе нагнетания кислоты в пласт образуются высокопроницаемые каналы фильтрации за счет растворения минералов горной породы. Однако несмотря на большой опыт использования данного метода и научных исследований в данной области, соляно-кислотная обработка (СКО) в большинстве случаев не позволяет достичь плановых показателей [6].

Данное обстоятельство, по мнению автора настоящей работы, связано с некорректным подбором параметров технологии кислотного воздействия на пласт. Проблема в том, что они оказывают очень сильное влияние на конечную результативность мероприятия. В работе [7] уделяется большое внимание темпу закачки КС в пласт, и в ходе исследования взаимодействия КС с образцами горных пород на фильтрационной установке доказывается его значимость при проектировании обработки ПЗП. Показателем эффективности проведения СКО может служить такая величина, как глубина проникновения активной кислоты в пласт. Данный факт отмечен в работе [8], кроме того продемонстрировано, что данная величина имеет зависимость от скорости растворения горной породы кислотой, определенной по результатам лабораторных экспериментов. Отмечена важность данного параметра, который необходимо определять в лабораторных условиях перед подбором реагента и параметров технологии кислотного воздействия.

Также в ходе анализа литературы установлено, что эффективность СКО зависит от литолого-минералогического состава горной породы [9]. В приведенной работе анализируется успешность операции обработки ПЗП кислотными композициями на объектах, имеющих различную карбонатность. По результатам данного исследования сделан вывод о снижении эффективности кислотного воздействия на пласты с увеличением процентного содержа-

ния терригенного материала в них при одинаковых условиях реализации мероприятия.

Исходя из представленного обзора научных работ и на основании всех приведенных факторов автором поставлена цель определить и установить закономерности влияния карбонатности горной породы на эффективность проведения СКО при различных темпах нагнетания КС. Другими словами, результаты данной работы будут способствовать увеличению эффекта от кислотного воздействия путем обоснованного подбора скорости закачки кислоты в пласт в зависимости от литолого-минералогического состава горных пород.

Для достижения поставленной цели автором проведена серия лабораторных исследований с коллекцией образцов керна различных возрастных отложений и месторождений Пермского края и тремя кислотными составами, промышленно-используемыми в настоящее время. Образцы керна отобраны с месторождений в различных районах Пермского края для увеличения диапазона карбонатности горных пород. В базе кернавого материала имеются образцы с верейских, башкирских и турнейских отложений, которые являются продуктивными и разрабатываются почти на всех месторождениях Пермского края.

В соответствии с планом лабораторных исследований сначала ставится задача определить процентное содержание компонентов горной породы 14 объектов разработки с целью установления ключевой зависимости. Завершающим этапом данного исследования является проведение экспериментов по оценке скорости растворения горной породы кислотными составами на начальном этапе реакции, поскольку при обзоре научных работ отмечается, что данный параметр имеет влияние на результативность проведения СКО. При повышенной скорости растворения на первоначальной стадии взаимодействия КС с породой глубина проникновения в ПЗП активного данного реагента снижается и развитие высокопроводящих каналов фильтрации ограничено в очень маленьком радиусе, что отрицательно отражается на эффективности проведения обработки ПЗП. Вследствие этого автором предполагается установить связи по результатам планируемых экспериментов между карбонатностью горной породы и подбором оптимального темпа нагнетания КС для достижения максимального эффекта.

Для оценки процентного содержания кальцита, доломита и нерастворимого осадка в образцах горных пород использован карбонатомер КМ-04М (рис. 1). Для проведения данного исследования отобрано по три образца с каждого объекта с целью повышения достоверности конечных результатов работы.

Результаты данного исследования представлены на рис. 2 в виде диаграммы распределения процентного содержания каждого компонента по каждому объекту разработки на основании усредненных показателей. Объекты расположены в соответствии с уменьшением процентного содержания кальцита в горной породе.



Рис. 1. Карбонатомер КМ-04М

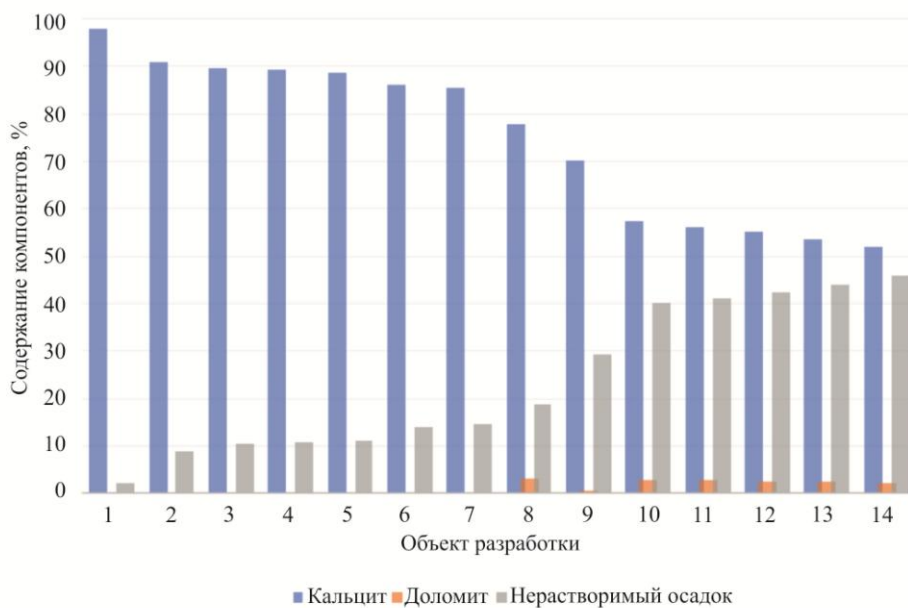


Рис. 2. Диаграмма распределения процентного содержания компонентов в горной породе по объектам разработки

Представленные 14 объектов разработки позволяют охватить широкий диапазон значений процентного содержания компонентов горных пород.

На рис. 2 первые семь объектов не имеют в своем составе доломита, а в следующих его содержание крайне незначительно. Вследствие этого при выполнении дальнейших исследований и подведении итогов автор не берет во внимание данный компонент, а все зависимости сформированы на основании значений карбонатности, представляющей собой сумму процентных содержаний кальцита и доломита. По итогу определено, что для настоящей работы рассмотрены образцы горных пород, имеющих карбонатность от 54,2 до 97,9 %, что позволяет оценить наиболее обобщенную динамику результатов.

По завершении исследований по оценке карбонатности автором проведен ряд экспериментов с изученными образцами горных пород и тремя КС по определению скорости растворения на начальном этапе реакции. Для осуществления одного исследования использована «таблетка» – 1/3 часть распиленного стандартного образца зерна 30×30 мм, а также 50 мл реагента. Эксперимент проведен в течение одной минуты, по его результатам произведен расчет скорости растворения по формуле

$$g_p = \frac{m_2 - m_1}{t \cdot S},$$

где m_2 , m_1 – масса образца после и до взаимодействия с КС, г; t – продолжительность эксперимента, $t = 1$ мин; S – площадь контактирующей поверхности образца, м².

Результаты данной серии исследований представлены на рис. 3, где отображены графики зависимости скорости растворения горной породы КС от ее карбонатности.

Согласно анализу представленных графиков, наблюдается общая тенденция увеличения скорости растворения породы кислотным составом на начальном этапе взаимодействия с повышением карбонатности. Различие в абсолютных значениях данного параметра в сравнении с КС связано с различными замедлителями реакции, добавляемыми в составы, и их концентрациями. Наиболее интенсивная динамика изменения скорости растворения отмечается у второго кислотного состава. Результаты данных исследований позволили автору сделать заключительные выводы.

Протекание реакции между горной породой и кислотой и процесс ее фильтрации в поровом пространстве ПЗП привели автора к выводу о том, что для повышения эффективности проведения СКО путем создания каналов фильтрации оптимальных размеров и глубины необходим подбор темпа закачки КС в пласт в соответствии с абсолютным значением скорости растворения, при этом зависимость является прямо пропорциональной. Например, в случае с высокой скоростью растворения горной породы важно спроектировать технологию обработки ПЗП с увеличенным темпом закачки с целью дос-

тижения максимальной глубины проникновения активной части КС, иначе при низком темпе нагнетания основной процесс растворения произойдет при первом контакте с породой, то есть вблизи ствола скважины. Это связано с тем, что наиболее быстрый расход активной доли КС при взаимодействии с горной породой наблюдается при высоких значениях скорости растворения. Существует обратная ситуация: когда скорость растворения мала, необходимо снизить темп закачки во избежание малоэффективной обработки близлежащей зоны пласта к стволу скважины.

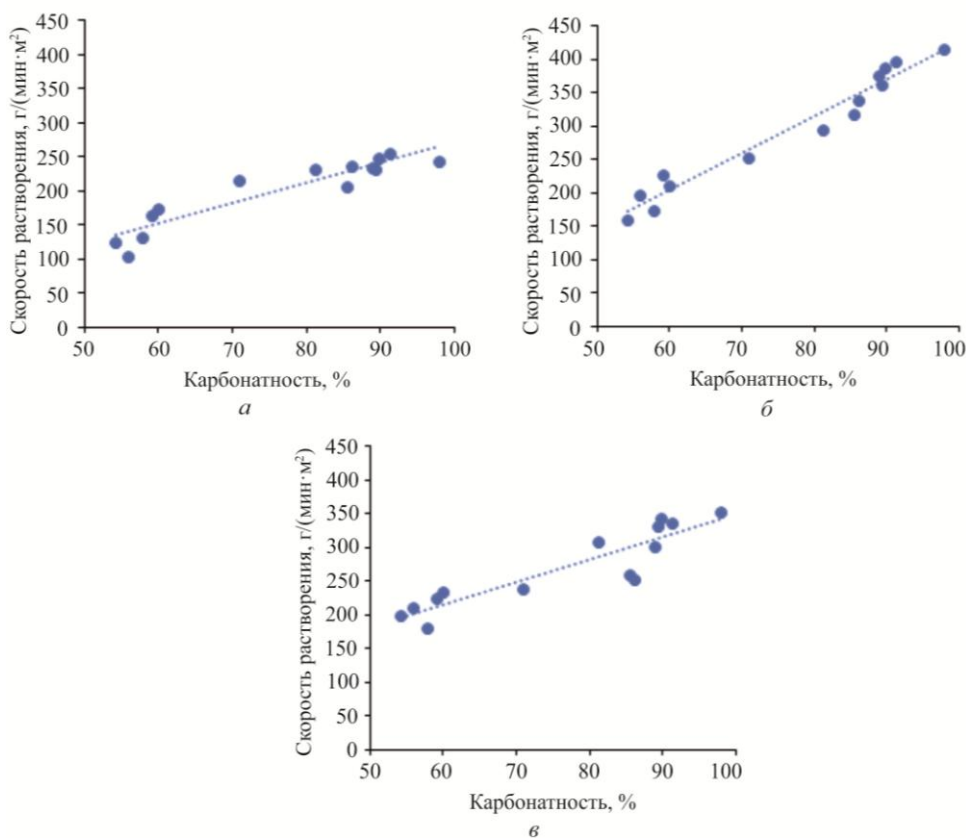


Рис. 3. Графики зависимости скорости растворения горной породы на начальном этапе реакции с кислотным составом: а – № 1; б – № 2; в – № 3

На основании приведенных умозаключений и результатов исследований можно установить связь между карбонатностью горной породы и подбором оптимального темпа нагнетания КС в пласт. Скорость растворения имеет прямую зависимость от карбонатности, а темп закачки КС, в свою очередь,

также прямо пропорционален скорости растворения, поэтому с увеличением карбонатности горной породы (уменьшением содержания терригенного материала) для наиболее эффективной обработки ПЗП необходима закачка кислоты с повышенными значениями скорости. При грамотном соотношении можно добиться оптимального значения, при котором достигается максимально возможный радиус развития дополнительных каналов фильтрации, имеющих наилучшие размеры в поперечном сечении.

Таким образом, представленные выводы базируются на основании анализа отечественной и зарубежной литературы и результатов лабораторных исследований. В ходе работы получено, что карбонатность горной породы существенно влияет на эффективность обработки ПЗП при различных темпах нагнетания КС, поскольку от нее зависят размеры и длины формирующихся высокопроводящих каналов фильтрации. По результатам работы определено, что для повышения эффекта необходимо подбирать темп закачки в зависимости от скорости растворения горной породы кислотным составом, имеющей прямо пропорциональную связь с карбонатностью породы. В заключение необходимо отметить, что при использовании полученных результатов на нефтегазопромысле возможно повышение успешности проведения соляно-кислотных обработок.

Список литературы

1. Новиков В.А. Методика прогнозирования эффективности матричных кислотных обработок карбонатов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. – 2021. – Т. 21, №. 3. – С. 137–143.
2. Исследование воздействия кислотогенерирующего состава на керны продуктивных отложений Куюмбинского лицензионного участка / Г.П. Хижняк [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – №. 3. – С. 31–35.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Мартюшев Д.А. Лабораторные исследования кислотных составов для обработки коллекторов, характеризующихся различной карбонатностью и структурой пустотного пространства горных пород // Известия Томского по-

литехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, №. 4. – С. 6–12.

7. Вуйсе М.А., Гласберген Г. A semi-empirical model to calculate wormhole growth in carbonate acidizing // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – 2005.

8. Равелев К.А. Исследование эффективности применения кислотного состава в зависимости от скорости растворения минералов горной породы // Master's Journal. – 2020. – № 2. – С. 56–62.

9. Равелев К.А., Козлов А.В., Кривошеков С.Н. Влияние условий осадконакопления турнейских отложений Пермского края на эффективность проведения соляно-кислотных обработок // Инженер-нефтяник. – 2020. – №. 3. – С. 26–33.

Получено 16.09.2021

Равелев Кирилл Алексеевич – студент, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Kirill.Ravelev@pstu.ru.

Научный руководитель **Вяткин Кирилл Андреевич** – аспирант, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Kirill.Vyatkin@girngm.ru.