

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2022.3.119-128>

EDN GVPQAZ

УДК 622.276.63

**Тестирование отклонителей на основе твердых
мелкодисперсных систем, предназначенных для снижения
утечек, закупоривания естественных трещин, каверн при
проведении кислотных ОПЗ, КГРП**

Закиров Р.Р., Будкевич Р.Л., Юсупова Г.Р., Гарипова А.А.

Альметьевский государственный нефтяной институт, Альметьевск, Россия

**Testing of diverting agents based on solid dispersion systems aimed
at leakage reduction, fracture and cavern plugging during matrix
acidizing and acid fracturing**

R.R. Zakirov, R.L. Budkevich, G.R. Yusupova, A.A. Garipova

Almetyevsk State Oil Institute, Almetyevsk, Russia

E-mail: zakirov-rinat-94@mail.ru

Аннотация. Проведение кислотных обработок является одним из самых простых и распространенных химических методов интенсификации добычи нефти, восстановления продуктивности добывающих и приемистости нагнетательных скважин. Несмотря на простоту метода, стоит серьезно относиться к планированию и проведению кислотных обработок [1].

В процессе обработки призабойной зоны пласта (ОПЗ) и кислотного гидроразрыва пласта (КГРП) соляной кислотой максимальное ее воздействие на породу происходит в прискважинной зоне. В удаленной же зоне пласта реакция кислоты с породой идет менее интенсивно ввиду потери части ее активности. В результате этого эффективность соляно-кислотных обработок (СКО) быстро снижается с ростом повторных обработок, проведенных на одной скважине. Отсюда очевидна необходимость торможения химического взаимодействия между кислотой и породой. Для этого на практике широко используются потокоотклоняющие системы (ПОС) [2].

Потокоотклоняющие системы обычно применяются при операциях кислотного гидравлического разрыва пласта и обработке призабойной зоны пласта для создания более равномерного воздействия и углубления проникновения кислоты.

© Закиров Р.Р., Будкевич Р.Л., Юсупова Г.Р., Гарипова А.А., 2022

Отклонители можно разделить на механические, твердые и жидкие (химические). Механические методы считаются наиболее эффективными и гарантированными способами направленной кислотной обработки. Химические методы с этой точки зрения являются универсальными и, по сути, единственными способными регулирования процессов, происходящих в призабойной зоне пласта (кислотные эмульсии, пенокислотные обработки и т.п.). Потокотклоняющие технологии с применением твердых частиц основаны на закачке в нагнетательные скважины ограниченных объемов волокон из органического полимера, предназначенных для снижения проницаемости высокопроницаемых прослоев пласта, с целью выравнивания приемистости скважины по разрезу пласта. [1]

В данной статье приведены результаты тестирования отклонителей 4-х производителей на основе твердых мелкодисперсных систем, предназначенных для снижения утечек, закупоривания естественных трещин, каверн при проведении кислотных ОПЗ, КГРП для применения на скважинах ПАО «Гатнефть».

Ключевые слова: *волокна, потокотклоняющие системы, обработка призабойной зоны пласта, кислотный гидроразрыв пласта деструкция, фильтрация.*

Для цитирования: Закиров Р.Р., Будкевич Р.Р., Юсупова Г.Р., Гарипова А.А. Тестирование отклонителей на основе твердых мелкодисперсных систем, предназначенных для снижения утечек, закупоривания естественных трещин, каверн при проведении кислотных ОПЗ, КГРП//Нефтяная провинция.- 2022.-№3(31).-С.119-128. - DOI [https:// doi.org/10.25689/NP.2022.3.119-128](https://doi.org/10.25689/NP.2022.3.119-128). EDN GVPQAZ

Abstract: Acid treatment is one of the simplest and most common chemical methods for stimulating of production, rejuvenation of productivity of producer wells and injection capacity of wells. Despite the simplicity of the method, it is worth taking seriously the planning and conduct of acid treatments. [1]

In the process of bottomhole treatment and acid fracturing with hydrochloric acid, maximum effect on the rock occurs in the near-wellbore zone. In the remote zone of the formation, the reaction of the acid with the rock is less intense due to the loss of part of its activity. As a result, the effectiveness of hydrochloric acid treatments decreases rapidly with the growth of repeated treatments carried out on one well. Hence, the need for inhibition of the chemical interaction between acid and rock is obvious. For this, in practice, are widely used flow deviation systems. [2]

Flow deviation systems are usually used in acid fracturing operations and bottom-hole formation zone treatment to create a more uniform impact and deepen the penetration of acid.

Diverting agents can be divided into mechanical, solid and liquid (chemical). Mechanical methods are considered to be the most effective and guaranteed methods of directional acidizing. From this point of view, chemical methods are universal and, in fact, the only ones capable of regulating the processes occurring in the bottom - hole formation zone (acid emulsions, acid foam treatments, etc.). Flow deviation technologies with solid particles are based on the injection of limited volumes of organic polymer fibers into injection wells, designed to reduce the permeability of high-permeability layers of the formation, in order to equalize the injectivity of the well along the section of the formation. [1]

This article presents the results of testing diverting agents based on solid fine-dispersed systems of 4 companies, designed to reduce leaks, plugging natural fractures, caverns during bottomhole treatment, acid fracturing for use in the wells of PJSC TATNEFT.

Keywords: *fibers, flow deviation systems, bottomhole treatment, acid fracturing, destruction, filtration*

For citation: R.R. Zakirov, R.L.Budkevich, G.R.Iusupova, A.A.Garipova Testirovaniye otkloniteley na osnove tverdykh melkodispersnykh sistem, prednaznachennykh dlya uluchsheniya sostoyaniya ute-chek, zaku-porivaniya krupnykh treshchin, zasoreniya pri proverke kislotnykh OPZ, KGRP [Testing of diverting agents based on solid fine-dispersed systems designed to reduce leaks, plugging natural fractures, caverns during acid bottom hole formation zone treatment, acid fracturing]. Neftyanaya Provintsiya, No. 3(31), 2022. pp. 119-128. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2022.3.119-128>. EDN GVPQAZ (in Russian)

Кислотная обработка призабойной зоны пласта является одним из традиционных и общепринятых способов восстановления ФЕС призабойной зоны пласта (ПЗП) путем растворения породы и последующего образования высокопроницаемых каналов. Основной целью которой является повышение продуктивности (снижение скин-фактора) скважины путем растворения породы коллектора и образования новых высокопроницаемых каналов в ПЗП [3].

ПОС обычно применяются при операциях кислотного гидравлического разрыва пласта и ОПЗ для создания более равномерного воздействия и углубления проникновения кислоты. Отклонители можно разделить на механические, твердые и жидкие. Механические отклоняющие устройства - это пакеры, гибкие НКТ или уплотняющие шары (среди прочего), используемые для полной временной изоляции интервала пласта от взаимодействия при проведении процесса. Химические или жидкие отклонители обычно состоят из полимеров или поверхностно-активных веществ (ПАВ), сшитых гелей, эмульгаторов и вспененных флюидов. В зависимости от типа, ПОС делятся на ближние и дальние. Ближние ПОС наиболее эффективные на основе твердых мелкодисперсных систем, устанавливаются вблизи ствола скважины и применяются для создания равномерной стимуляции кислотного разрыва или ОПЗ в различных по ФЕС зонах. Твердые отклонители - это разновидность искусственного волокна, которая изго-

тавливаются из органического полимера путем плавления, вытяжки, рубки и других процессов. Они имеют цилиндрическую форму средней длины и диаметром 10-20 мкм. Этот тонкий материал является гибким и может образовывать компактную трехмерную сетчатую структуру после проникновения в трещины и поры [4]. Принцип действия заключается в выполнении функции соединения волокна в сеть и гибкого преобразования. Поэтому, когда временное закупоривающее волокно входит в кислотную трещину или червоточину, формируется компактная «фильтрующая сетка». В результате гидравлическое сопротивление увеличивается, и задачи временного закупоривания и повышения эффективности отвода кислотного состава выполняются [5].

В данной работе были протестированы 4 образца (Рис. 1) механических примесей для ПОС.

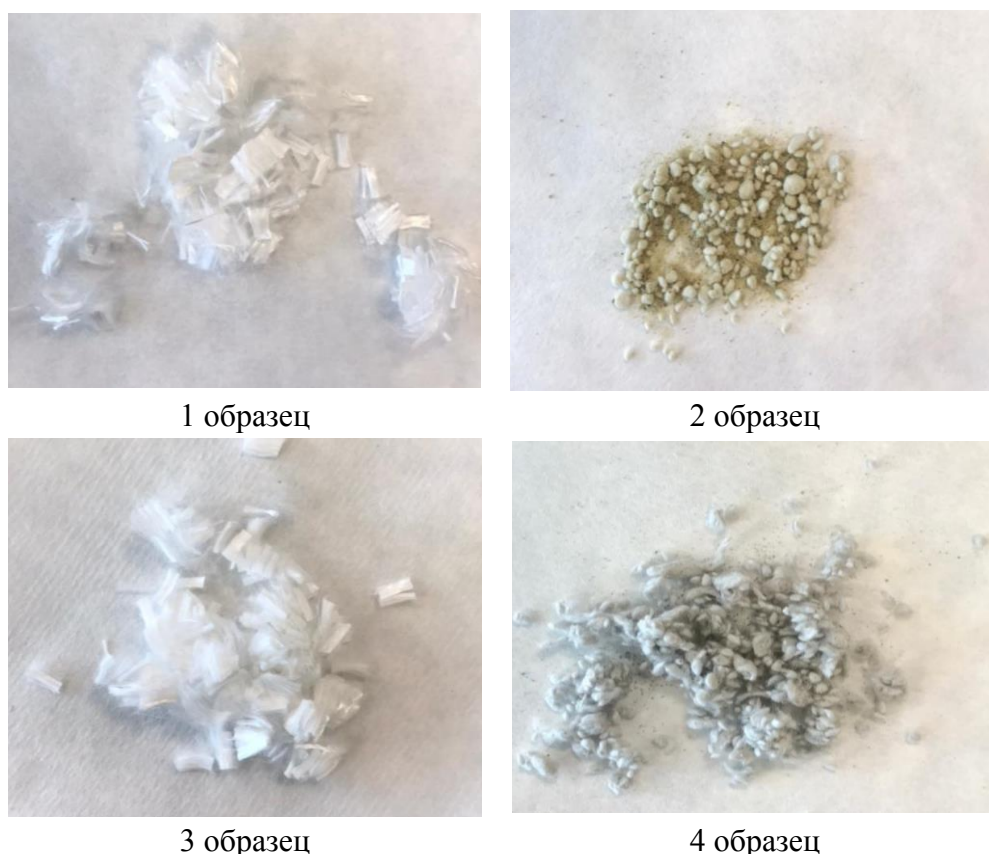


Рис. 1. Образцы примесей для ПОС

Для оценки применимости твёрдых отклонителей на основе волокон был выбран следующий комплекс экспериментов:

Тестирование на деструкцию волокон в кислотном составе

Протестированы образцы волокон на деструкцию с нагрузками от 10 до 50 кг/м³ при смешивании с соляной кислотой 15 и 24 %-ной концентраций при температурах 20, 30 и 50 °С. Наблюдение за деструкцией производилось в течение 120 часов. Результаты отображены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тестирования на деструкцию исследуемых волокон в 15 % и 24 % кислотах HCl

Образец волокон	Загрузка волокон, кг/м ³	15 % HCl			24 % HCl		
		20°С	30°С	50°С	20°С	30°С	50°С
№1	10	Волокна не растворились через 24 часа, продолжили наблюдение до 120 часов, деструкция отсутствует.					
	30						
	50						
№2	10	Волокна растворились через 12 часов					
	30						
	50						
№3	10	Волокна не растворились через 24 часа, продолжили наблюдение до 120 часов, деструкция отсутствует					
	30						
	50						
№4	10	Волокна растворились через 12 часов					
	30						
	50						

Определение влияния загрузки волокон на скорость фильтрации

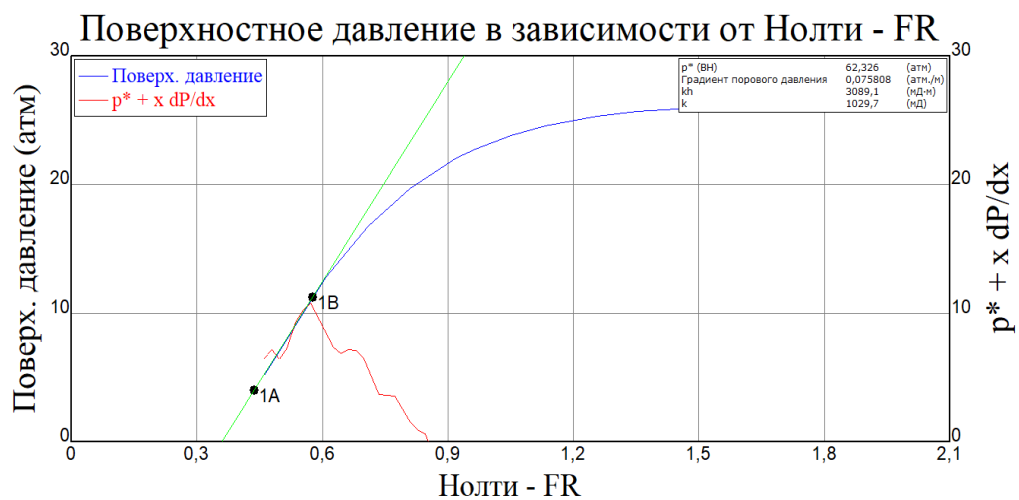
Для данного тестирования использовался метод насыпной модели с применением прибора фильтр-пресс Ofite. На дно ячейки объемом 250 мл помещается проппант крупной фракции 12/18 массой 100 г, имитируя пластовые условия, далее ячейку наполняют образцами ПОС с нагрузками 7 и 10 кг/м³ и проводят тестирование с подачей давления 100 МПа. в ячейку. По объему фильтрата, выделенного из сливного отверстия фильтр-пресса, оценивается способность снижать проницаемость. Распределение волокон в пределах ячейки указывает на проникающую способность исследуемой ПОС. Результаты отображены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты определения скорости фильтрации в зависимости
от загрузки волокон**

Образец волокон	Время фильтрации, мин	Результат фильтрации, мл	
		Загрузка волокон 7 кг/м ³	Загрузка волокон 10 кг/м ³
№1	5	138	
№2	30	120	110
№3	5	135	
№4	30	97	91

Фракция 12/18 выбрана в качестве насыпной модели при проведении исследования на приборе фильтр-пресс, на основании проводимости пропантной пачки, примерно приближенной к проводимости карбонатного коллектора в условиях высокой приемистости, полученной в результате проведения многократных кислотных обработок. Для определения проницаемости пласта был применен анализ после закрытия трещины стадии замещения на основе данных, полученных по скважине перед проведением кислотной обработки. Подобранный скважина характеризуется эффективной мощностью пласта равной 3 метрам. Результаты анализа представлены на рис. 2.



**Рис. 2. График анализа после закрытия - Линейный график зависимости
давления на поверхности от функции Нолти - FR.**

Значение проницаемости пласта составило 1029,7 мД, проводимость 3089,1 мД·м. Полученные данные, представленные на рис. 3 сопоставлены с базой данных, встроенной в симулятор гидравлического разрыва пласта.

	Давление закрытия (атм)	Ширина (мм)	Проводимость (мД·м)	Пористость (%)
1	0	1,38841	2915,66	42,5399
2	136,092	1,30337	2611,04	38,8
3	272,184	1,24849	1654,24	36,1
4	408,276	1,17494	528,722	32,1
5	544,368	1,11267	111,267	28,3
6	680,46	1,06655	4,26622	25,2
7	816,552	1,04971	2,09943	24
8	952,643	1,00603	1,00603	20,7
9	1360,92	0,961183	0,961183	17

Рис. 3. База данных пропанта с программы трехмерного моделирования гидравлического разрыва «Meuser»

По данным, представленным на рис. 3, значение проводимости пропанта фракции 12/18 составляет 2915,66 мД·м, что на 94,3% совпадает со значением, полученным при анализе записи спада давления, представленном на рис. 2.

Таким образом, наиболее подходящим для проведения исследований пропантом является керамический пропант фракции 12/18.

Анализ результатов определения влияния загрузки волокон на скорость фильтрации исследуемых образцов выявил следующие особенности:

- у ПОС имеющем в своем составе волокна №1 и №3 значения скорости фильтрации больше, чем у ПОС с добавлением волокон №2 и №4, что указывает на неудовлетворительную кольматирующую способность первых;
- увеличение загрузки волокон №1 и №3 не приводит к снижению фильтрации;
- увеличение загрузки волокон №2 и №4 в составе ПОС имеет положительный эффект, фильтрация уменьшается.

Также, при визуальном осмотре распределения волокон в пределах ячейки по окончании теста, установлено, что волокна №2 и №4 проникают в слой пропанта, тем самым сдерживая фильтрацию, в отличие от образцов волокон №1 и №3.

Таким образом, по результатам тестирования на фильтрацию выделены волокна №2 и №4, как компоненты обеспечивающую более качественное отклонение потока.

Следовательно, дальнейшие эксперименты проводились с образцами волокон №2 и №4 с нагрузками от 20 до 50 кг/м³. Результаты отображены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения скорости фильтрации в зависимости от загрузки волокон

Загрузка волокон, кг/м ³	Результат фильтрации, мл	
	Образец волокон №2	Образец волокон №4
20	100	78
30	95	65
50	84	50

Установлено, что с увеличением загрузки волокон уменьшается объём фильтрации. Наилучшие результаты получены с образцом волокон №4.

Проведенные исследования и полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что образцы волокон №2 и №4 продемонстрировали кислоторастворимость и удовлетворительную коагулирующую способность.

Работа выполнена в рамках НТУ «Научно-технические услуги по исследованию химических реагентов для ГРП и ОПЗ, согласно календарному плану по заказ-наряду №0009/2021/422 этап 4.

Список литературы

1. Бурячок С.А., Малыгин А.В., Ютяев М.А Эффективная технология направленной кислотной обработки карбонатных коллекторов//Нефтегазовая Вертикаль. - 2014. - №20. – С.31-34.

2. Нефтегазовое обозрение: сб. II: избранные статьи из журнала Oilfield Review. — 2013–2014. — Т. 25, № 2–4. — С. 48–65.
3. Джафарпур Х., Обоснование технологии интенсификации притока нефти для сложнопостроенных карбонатных коллекторов с применением кислотной обработки // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., С-Петербург, - 2018.
4. Zhang H. W., Yan X. M., Cui M. Y. Degradable fiber and its application in horizontal well acid-fracturing // 2018 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2018). -2018.
5. Лю Ю., Андреев В.Е. Состояние и проблемы технологий «отклонения» СКО в карбонатных коллекторах // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 7. – С. 19-20;
6. Стандарт организации «Инструкция по обеспечению и контролю качества при проведении гидроразрыва пласта (ГРП), кислотного гидроразрыва пласта (КГРП) и соляно-кислотной обработки (СКО) в ПАО «Татнефть»»// СТО ТН 168-2020. –2020.
7. Силин М.А, Магадова Л.А, Цыганков В.А. Кислотные обработки пластов и методики испытаний кислотных составов (учебное пособие) – М.: РГУ Нефти и газа им. И.М.Губкина, - 2011. – 142 с.
8. Давыдов Н.А., Петухов А.С., Булыгина Т.В. Эффективная технология обработки карбонатных коллекторов с использованием самоотклоняющего кислотного состава // Научно-технический журнал «Нефтепромысловое дело». - .2018. - С 38-41.

References

1. Buryachok S.A., Malygin A.V., Yutyaev M.A. *Effektivnaya tekhnologiya napravlennoj kislotnoj obrabotki karbonatnyh kollektorov* [Efficient selective acidizing technique for carbonate reservoirs]. Neftegazovaya vertical. 2014, No.20. pp.31-34 (in Russian)
2. Neftegazovoye obozreniye: selected papers from Oilfield Review journal. 2013–2014, V. 25, No. 2–4. pp. 48–65.
3. Jafarpour H. *Obosnovanie tekhnologii intensifikacii pritoka nefti dlya slozhnopostroennyh karbonatnyh kollektorov s primeneniem kislotnoj obrabotk* [Feasibility evaluation of acid stimulation technique for complex carbonate reservoirs]. PhD thesis in Engineering. St.Petersburg. 2018 (in Russian)
4. Zhang H. W., Yan X. M., Cui M. Y. Degradable fiber and its application in horizontal well acid-fracturing. 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2018). 2018.
5. Liu Yu., Andreev V.E. *Sostoyanie i problemy tekhnologij «otkloneniya» SKO v karbonatnyh kollektorah* [Status and problems of diverter technologies used in hydrochloric treatments of carbonate reservoirs]. Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya [International journal of experimental education]. 2010, No.7. pp. 19-20 (in Russian)
6. Standard of organization "Instruction on quality assurance and control during hydraulic fracturing, acid fracturing and hydrochloric acid treatment in PJSC TATNEFT" // STO TN 168-2020. –2020.
7. Silin M.A., Magadova L.A., Tsygankov V.A. *Kislotnye obrabotki plastov i metodiki ispytaniy kislotnyh sostavov* [Acid treatments and acid system test procedures]. Moscow: Gubkin Oil and gas University. 2011. 142 p. (in Russian)
8. Davydov N.A., Petukhov A.S., Bulygina T.V. An efficient technology of carbonate reservoirs treatment using a self-diverting acid composition. Neftepromyslovoye Delo [Oilfield Engineering]. 2018, No.2. pp. 38-41 (in Russian)

Сведения об авторах

Закиров Ринат Ришатович, аспирант 71-11, инженер лаборатории НПХ, Альметьевский государственный нефтяной институт
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 2
E-mail: zakirov-rinat-94@mail.ru

Будкевич Роза Леонидовна, кандидат технических наук, зав. лабораторией НПХ, Альметьевский государственный нефтяной институт
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 2
E-mail: budkevichrl@yandex.ru

Юсупова Гузель Райхановна, ведущий инженер лаборатории НПХ, Альметьевский государственный нефтяной институт
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 2
E-mail: usupovagr@yandex.ru

Гарипова Айгуль Айратовна, инженер лаборатории НПХ, Альметьевский государственный нефтяной институт
Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 2
E-mail: aigulyagaripova@gmail.com

Authors

R.R. Zakirov, Graduate Student, Engineer, Almeteyevsk State Oil Institute
2, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: zakirov-rinat-94@mail.ru

R.L. Budkevich, PhD, Head of Laboratory, Almeteyevsk State Oil Institute
2, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: budkevichrl@yandex.ru

G.R. Yusupova, Senior Engineer, Almeteyevsk State Oil Institute
2, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: usupovagr@yandex.ru

A.A. Garipova, Engineer, Almeteyevsk State Oil Institute
2, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation
E-mail: aigulyagaripova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11.07.2022

Принята к публикации 17.09.2022

Опубликована 30.09.2022