

УДК 622.276

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ
ВОДОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ ВОДОЙ В
КОЛЛЕКТОРАХ ТРЕЩИННО-ПОРОВОГО ТИПА**

**SUBSTANTIATION USE OF INORGANIC WATER SHUTOFF
COMPOSITION FOR INCREASING OF DISPLACEMENT
EFFICIENCY IN RESERVOIR OF FRACTURED-POROUS TYPE**

Дурягин В.Н., Стрижнев К.В.

**ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет
«Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация**

V.N. Duryagin, K.V. Strizhnev

**FSBEI NPE “National Mineral Resources University”,
Saint-Petersburg, the Russian Federation**

e-mail: duryagin.vn@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена проблемам разработки трещинно-поровых коллекторов нефти, значительное влияние на фильтрацию в которых оказывают дискретные системы (каверны и трещины), имеющие повышенные фильтрационные характеристики в сравнении с матрицей горной породы, в связи с чем процесс вытеснения нефти пластовой или нагнетаемой водой из них осуществляется быстрее. Как следствие, по трещинам в скважину начинает поступать вода, не выполняющая полезной работы. В данных условиях технико-экономическую эффективность разработки во многом определяет своевременное и правильное проведение операций, связанных с ограничением притока воды к скважинам.

Для ограничения водопитока в коллекторах трещинно-порового типа разработана гелеобразующая водоизоляционная композиция на основе си-

ликата натрия, в качестве инициатора гелеобразования которого используется неорганическая соль хрома (III). Механизм гелеобразования композиции заключается в образовании трехмерной атомной цепи за счет процесса полимеризации силикатных анионов при взаимодействии с катионами хрома во всем объеме исходной композиции.

Водоизоляционная композиция имеет регулируемые в широком диапазоне срок отверждения и прочность (за счет добавления различного объема сшивающего агента). Получены зависимости прочности и срока гелеобразования водоизоляционной композиции от температуры, по которым можно оперативно определить оптимальную концентрацию реагентов для конкретных геологических условий.

Эффективность композиции подтверждена результатами фильтрационных экспериментов, проведенных на образцах естественного керна с моделированием термобарических условий. Разработанный водоизоляционный состав позволяет снизить обводненность вытесняемой жидкости на 24% и повысить коэффициент вытеснения нефти водой в трещинно-поровом коллекторе с 0,07 до 0,3.

Abstract. The work is devoted to issues of development of fractured-porous soil reservoirs. Discrete systems (caverns and fissures) have a significant impact on filtering in them due to increased filtration characteristics in comparison with the matrix of the rock, so the process of displacing of oil by oil field or injected water is carried out faster. As a result, the water begins to enter the hole through fractures without performing useful work. In these conditions, technical and economic efficiency of development largely determines the timely and proper conduction of operations connected with the restriction of water flow to wells.

For water suppression in fractured-porous reservoirs we have designed gelling water shut-off composition based on sodium silicate, as the initiator of gelation we used inorganic chromium salt (III). The mechanism of gelation of the composition is following: due to the process of polymerization of silicate an-

ions through the reaction with cations of chromium a three-dimensional atomic chain are formed in the whole volume of the initial composition.

The water shut-off composition has a wide range of adjustable time of gelling and strength (due to addition of different amount of cross-linking agent). There is dependences of the strength and time of gelling of water shut-off composition by the temperature that helps to quickly determine the optimal concentration of reagents for specific geological conditions.

The effectiveness of the composition is confirmed by results of filtration experiments conducted on samples of natural core with modeling of thermobaric conditions. Proposed water shut-off composition reduces the water cut of the displaced liquid by 24% and increase the rate of displacement of oil by water in fractured porous reservoir from 0.07 to 0.3.

Ключевые слова: водоизоляционные работы, трещинно-поровый коллектор, коэффициент вытеснения, фильтрация.

Key words: water shutoff treatment, reservoir of fractured-porous type, displacement efficiency, filtration.

Значительная часть нефтяных месторождений России в коллекторах порового типа переходит на завершающую стадию разработки. Для восстановления ресурсной базы углеводородов в разработку вовлекаются запасы нефти, добыча которых ранее была осложнена различными технологическими причинами. Одним из резервов для активного освоения являются месторождения нефти и газа в трещиноватых коллекторах, на долю которых приходится более половины мировых запасов нефти и газа [1].

Отличительная особенность трещиноватых коллекторов – значительное влияние на фильтрацию флюидов в пласте дискретных систем, а именно: систем трещин, систем открытых каналов внутри системы трещин, стилолитов и каверн [2,3].

Большинство трещиноватых коллекторов представляют собой блоки породы, разделенные системами трещин. В зависимости от емкостных характеристик матрицы (скелета) горной породы принято разделять трещинные коллектора на два основных вида [4]:

1. Трещиновато-непоровые – в таких коллекторах блоки непроницаемы и не содержат углеводородов, нефть сосредоточена в системе связанных каверн, по которым и осуществляется фильтрация. Объем системы трещин обычно составляет от нескольких тысячных до одной сотой объема горной породы (по данным комплексных керновых и промысловых исследований).

2. Трещинно-поровые – в таких коллекторах основной объем нефти сосредоточен внутри блоков пористой среды, трещины играют роль связывающих каналов по которым осуществляется фильтрация. Вторичная пористость обычно составляет не более одного процента от объема породы.

В трещино-непоровых коллекторах процесс фильтрации схож с фильтрацией в поровой среде, в которой зерна горной породы представлены непроницаемыми блоками, а поры – системой трещин. В трещиновато-пористых коллекторах фильтрационные процессы зависят от соотношения проницаемостей матрицы и системы трещин. В коллекторах, где проницаемость блоков равна проницаемости трещин, фронт вытеснения движется равномерно по объему породы (рисунок 1 а). В коллекторах с высокой трещинной проницаемостью будет происходить опережающее вытеснение из системы трещин (рисунок 1 б). Данный эффект обуславливает отставание уровня ВНК в блоках породы от уровня воды в трещинах при высоких темпах отбора. Добиться равномерного движения водонефтяного контакта возможно в случае снижения скорости фильтрации до значения, при котором вода в трещинах и порах будет подниматься равномерно, но в большинстве случаев это экономически не целесообразно.

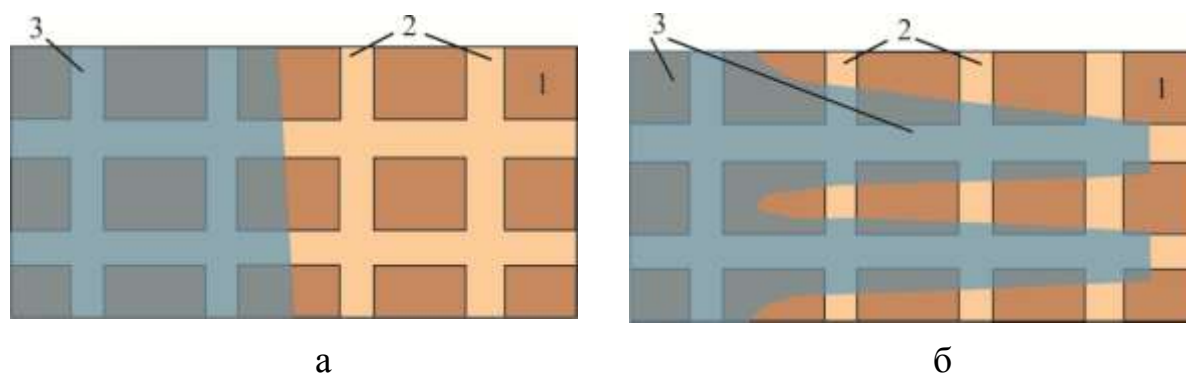


Рисунок 1. Идеализация движения фронта вытеснения в трещиноватом коллекторе с равной (а) и различной (б) проницаемостью пористых блоков и трещин [5]:

1 – блоки горной породы, 2 – система трещин, 3 – фронт вытеснения

Для поддержания рентабельных дебитов нефти необходимо увеличивать депрессию на пласт. При этом высокие градиенты давления в прискважинной зоне приводят к росту скорости фильтрации до значений выше критических, что способствует преждевременному прорыву подстилающей воды в скважины и тем самым нарушается процесс капиллярной пропитки, являющийся самым эффективным методом вытеснения нефти из пористых блоков.

В большинстве случаев раскрытость трещин превышает размеры капиллярных каналов, существенное влияние на фильтрационные процессы оказывают гравитационные силы [4]. В системах трещин осуществляется поршневое вытеснение и коэффициент вытеснения нефти может достигать 0,8-0,85 д.ед. В поровых блоках вытеснение происходит за счет замещения нефти водой или газом за счет действия как гравитационных, так и капиллярных сил, при этом коэффициент вытеснения нефти редко превышает значение 0,3 д. ед.

Повышение коэффициента вытеснения нефти с сохранением рентабельных дебитов возможно путем обработки высокопроницаемых трещинных каналов водоизоляционными композициями. Однако, несмотря на то, что для борьбы с обводнением скважин существует множество технологий и химических реагентов, большинство из них разработано для условий по-

ровых коллекторов и их применение не всегда эффективно в условиях среды с двойной пористостью, в которых водоизоляционный материал должен проникать в водонасыщенные трещины без значительного влияния на низкопроницаемую матрицу продуктивного пласта.

Для проведения работ по ограничению водопритока в условиях трещинно-поровых коллекторов разработан гелеобразующий водоизоляционный состав на основе силиката натрия, в качестве инициатора гелеобразования используется неорганическая соль хрома (III). Механизм гелеобразования композиции заключается в образовании трехмерной атомной цепи за счет процесса полимеризации силикатных анионов при взаимодействии с катионами хрома во всем объеме исходной композиции.

Для определения оптимальной концентрации реагентов разработанной водоизоляционной композиции были проведены исследования по определению зависимости прочности и времени гелеобразования от концентрации силиката натрия и сшивающего агента (рисунки 2 и 3).

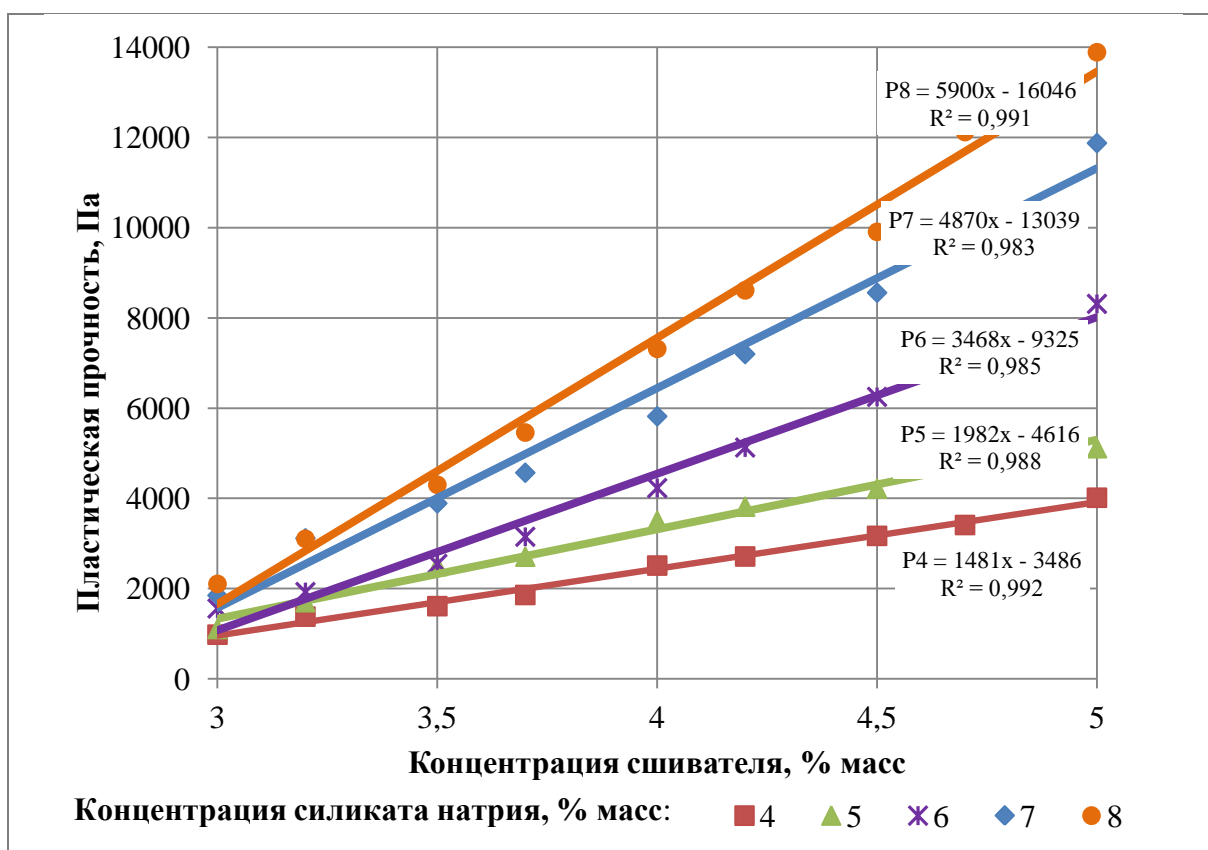


Рисунок 2. Зависимость прочности композиции в зависимости от концентрации реагентов

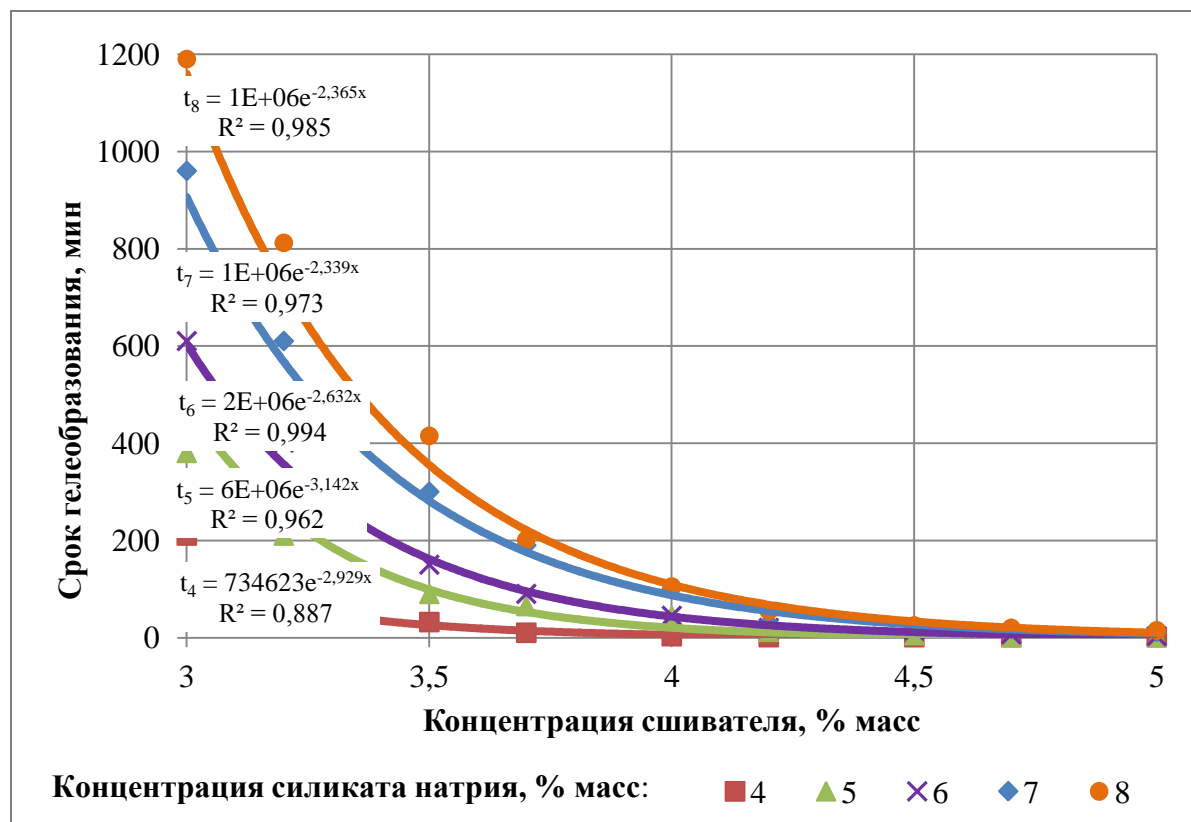


Рисунок 3. Зависимость сроков гелеобразования композиции в зависимости от концентрации реагентов

На технологические характеристики образующегося геля в значительной степени влияет как концентрация силиката натрия, так и сшивающего агента. Варьируя концентрациями реагентов можно получать гели с прочностью от 1000 до 14000 Па и сроком гелеобразования от 1 до 1200 минут. Учитывая тот факт, что оптимальным сроком отверждения композиций при проведении водоизоляционных работ принято считать от 60-720 минут, а также исходя из прочностных характеристик образующихся гелей, для дальнейших исследований были отобраны композиции с концентрацией силиката натрия 7% и 3-4% (масс) сшивателя. Добавление в водоизоляционную композицию многоатомного спирта позволило значительно повысить прочность гелей и расширить диапазон их применения до 100 °С. Зависимость прочности и времени гелеобразования водоизоляционной композиции от концентрации спирта и температуры представлена на рисунках 4 и 5.

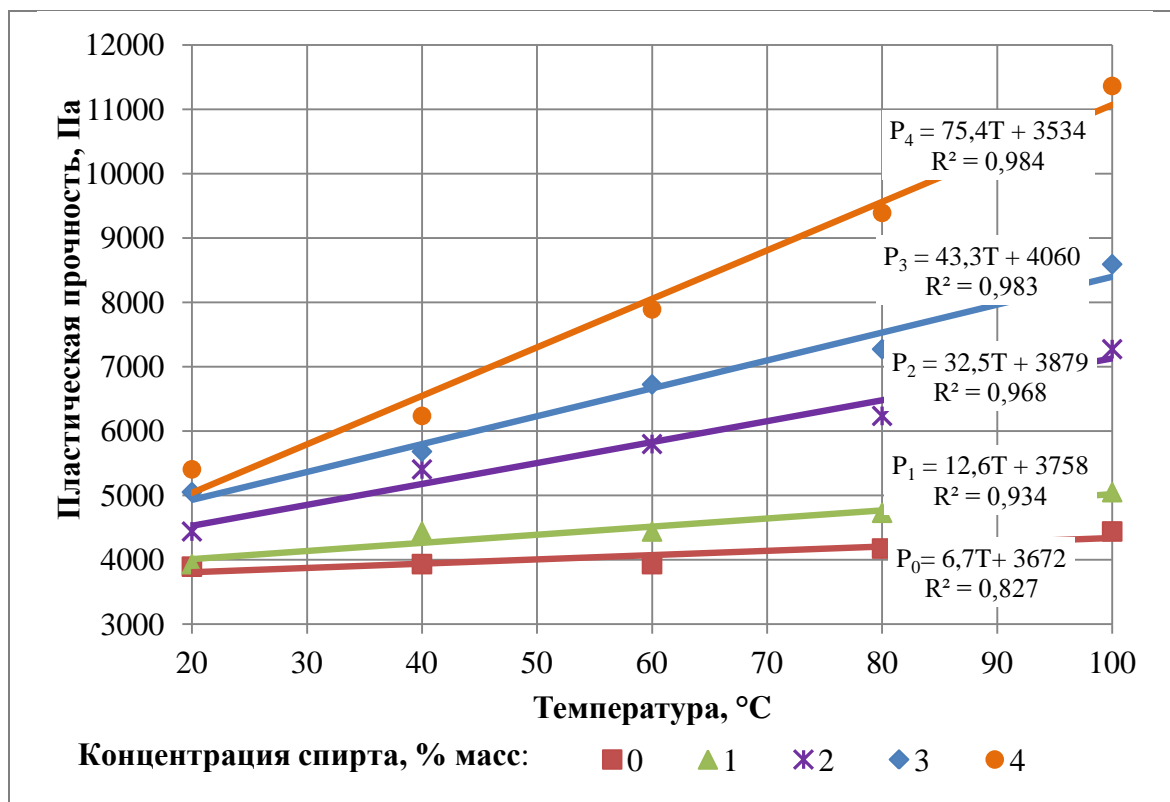


Рисунок 4. Зависимость прочности композиции от концентрации многоатомного спирта и температуры

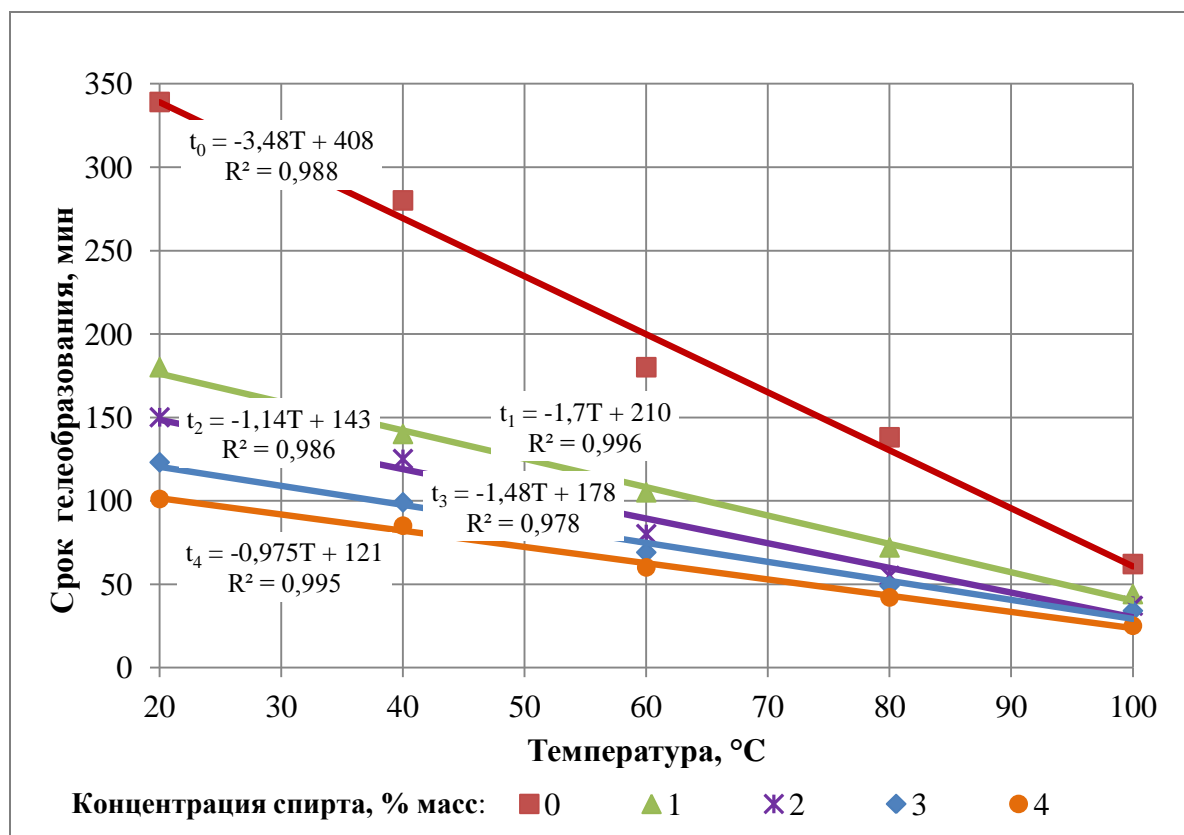


Рисунок 5. Зависимость сроков гелеобразования композиции от концентрации многоатомного спирта и температуры

С увеличением температуры возрастает прочность образуемого геля, что является положительной характеристикой при проведении водоизоляционных работ в условиях высокотемпературных залежей. По полученным зависимостям можно оперативно определить оптимальную концентрацию реагентов для конкретных геологических условий.

Таким образом, исследования прочности и времени гелеобразования и показали возможность управления кинетикой гелеобразования и прочностными характеристиками разработанной неорганической водоизоляционной композиции в зависимости от термобарических условий объекта обработки за счет различного соотношения силиката натрия и сшивающего агента.

Для оценки влияния разработанной композиции на показатели разработки трещинно-порового коллектора были проведены исследования по определению коэффициента вытеснения нефти водой [6]. Для исследования использовалась модель неоднородного пласта, с помощью модели неоднородный пласт состоящей из двух параллельно соединенных кернодержателей и фильтрационной установки [7]. В один из кернодержателей помещался неразрушенный карбонатный керн Артинских отложений Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ВУ ОНГКМ); во второй – керн с того же интервала, но с заранее созданной трещиной. Оба образца предварительно насыщались нефтью. В ходе проведения эксперимента нефть вытеснялась водой. После полного обводнения продукции производилась обработка трещинного образца водоизоляционной композицией и осуществлялась повторное вытеснение. В течение эксперимента фиксировался объем профильтрованной жидкости и объем вытесненной нефти. Рассчитывался коэффициент вытеснения нефти водой. Зависимость коэффициента вытеснения и обводненности жидкости в зависимости от объема закаченной воды представлены на рисунках 6 и 7 соответственно.

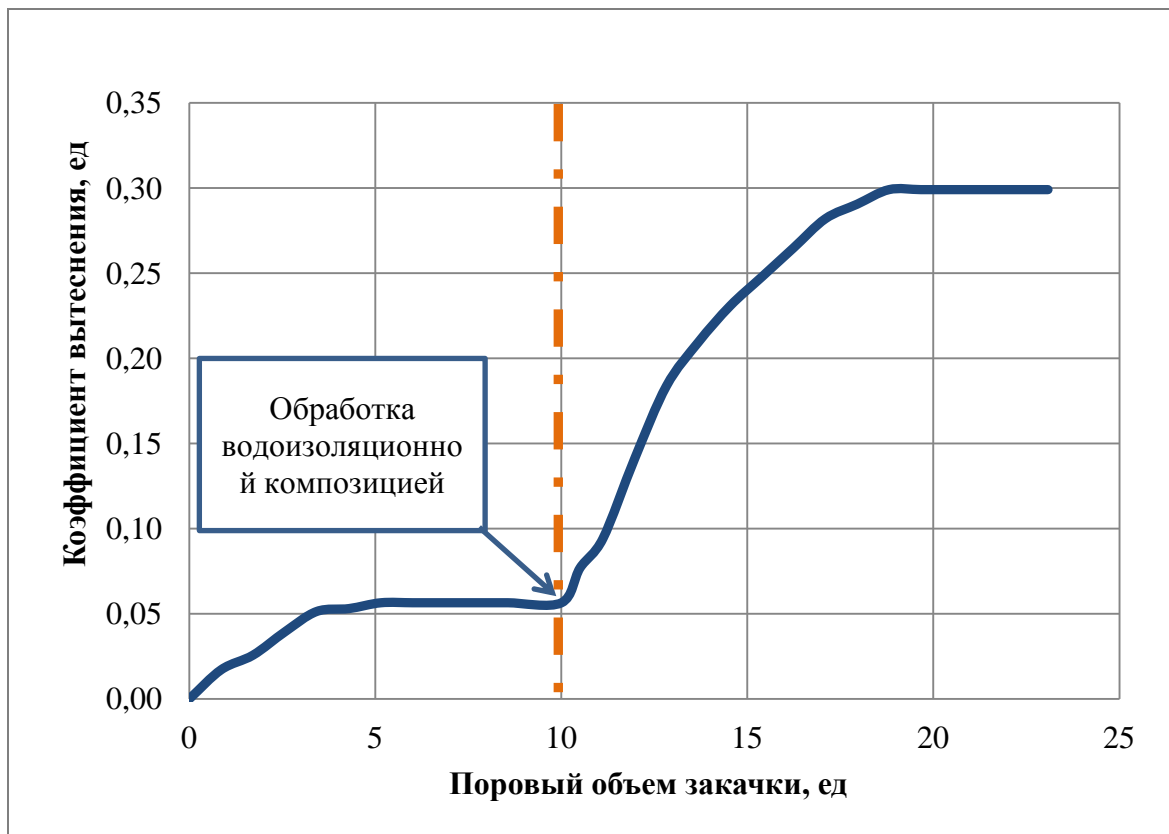


Рисунок 6. Зависимость коэффициента вытеснения нефти от количества прокаченных объемов воды

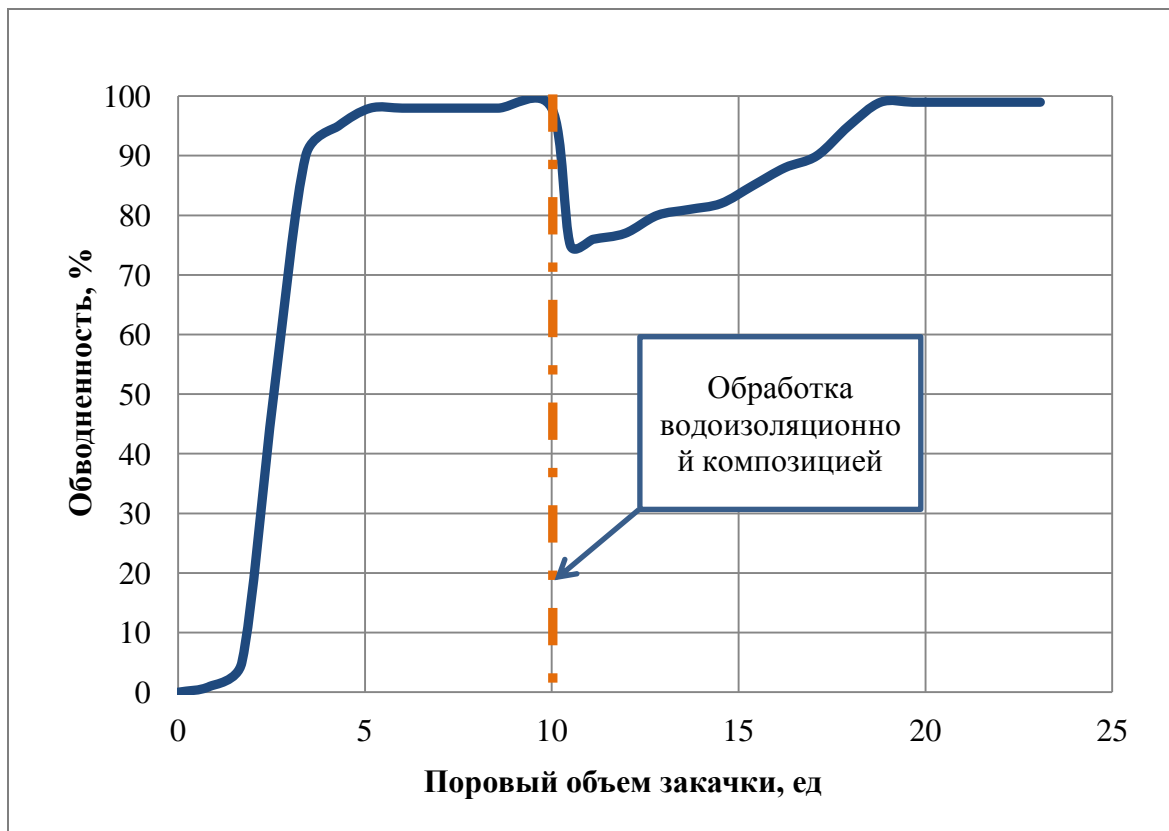


Рисунок 7. Зависимость обводненности жидкости от количества прокаченных объемов воды

Как видно из результатов фильтрационных исследований видно, что применение предлагаемой водоизоляционной композиции позволяет снизить обводненность добываемой продукции с 99 до 75%. Кроме того, до обработки трещинного интервала из модели коллектора было вытеснено только 7% нефти. После изоляции трещины разработанной композицией удалось дополнительно вытеснить 23% нефти и довести коэффициент вытеснения нефти водой до 0,3 ед.

Анализируя результаты лабораторных исследований можно сделать вывод, что разработанная водоизоляционная композиция может быть использована для борьбы с преждевременным обводнением скважин в условиях трещинно-поровых коллекторов (например, ВУ ОНГКМ) и повысить технико-экономическую эффективность разработки месторождений данного типа. Применение данной композиции позволит снизить затраты на подъем и утилизацию попутно добываемой воды, а также добиться более полного извлечения нефти из матрицы горной породы.

Выводы

1. Для ограничения водопитокав условиях коллекторов трещинно-порового типа разработана гелеобразующая композиция на основе силиката натрия, в качестве инициатора гелеобразования используется неорганическая соль хрома (III), позволяющая получать гели во всем объеме исходной композиции.

2. Установлены зависимости кинетики гелеобразования разработанной водоизоляционной композиции от температуры, концентраций силиката натрия и сшивающего агента, механизм гелеобразования которой заключается в образовании трехмерной атомной цепи за счет процесса полимеризации силикатных анионов при взаимодействии с катионами хрома (III).

3. Управление кинетикой гелеобразования и прочностными характеристиками разработанной неорганической водоизоляционной композиции в

зависимости от термобарических условий объекта обработки возможно за счет различного соотношения силиката натрия и хромокалиевых квасцов.

4. Разработанная водоизоляционная композиция позволяет снизить обводненность добываемой продукции на 24% и повысить коэффициент вытеснения нефти водой в трещинно-поровом коллекторе с 0,07 до 0,3 (по результатам лабораторных исследований).

Список используемых источников

1 Черницкий А.В. Геологическое моделирование нефтяных залежей массивного типа в трещиноватых коллекторах. М.: ОАО "РМНТК "Нефтеотдача", 2002. 254 с.

2 Петухов А.В. Теория и методология изучения структурно-пространственной зональности трещинных коллекторов нефти и газа. Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2002. 276 с.

3 Гольф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии, и разработки трещиноватых коллекторов. Пер. с англ. М.: Недра, 1986. 607 с.

4 Райсс Л. Основы разработки трещиноватых коллекторов. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. 118 с.

5 Бойко В.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. М.: Недра, 1990. 427с.

6 ОСТ 39-195-86 Нефть. Метод определения коэффициента вытеснения нефти водой в лабораторных условиях. М., 1986. 21с.

7 Дурягин В.Н., Стрижнев К.В. Разработка неорганического водоизоляционного состава на основе силиката натрия для низкопроницаемых неоднородных коллекторов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2014. № 1. С. 14-29. URL: http://ogbus.ru/authors/DuryaginVN/DuryaginVN_1.pdf.

References

1 Chernickij A.V. Geologicheskoe modelirovanie neftjanyh zalezhej massivnogo tipa v treshhinovyh kollektorah. M.: OAO "RMNTK "Nefteotdacha", 2002. 254 s. [in Russian].

2 Petuhov A.V. Teorija i metodologija izuchenija strukturno-prostranstvennoj zonal'nosti treshhinnyh kollektorov nefti i gaza. Uhta: Uhtinskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, 2002. 276 s. [in Russian].

3 Gol'f-Raht T.D. Osnovy neftepromyslovoj geologii, i razrabotki treshhinovyh kollektorov. Per. s angl. M.: Nedra, 1986. 607 s. [in Russian].

4 Rajss L. Osnovy razrabotki treshhinovyh kollektorov. M.-Izhevsk: Institut komp'juternyh issledovanij, 2012. 118 s. [in Russian].

5 Bojko V.S. Razrabotka i jekspluatacija neftjanyh mestorozhdenij. M.: Nedra, 1990. 427s. [in Russian].

6 OST 39-195-86 Neft'. Metod opredelenija kojefficienta vytesnenija nefti vodoj v laboratornyh uslovijah. M., 1986. 21s. [in Russian].

7 Durjagin V.N., Strizhnev K.V. Razrabotka neorganicheskogo vodoizoljacionnogo sostava na osnove silikata natrija dlja nizkopronicaemyh neodnorodnyh kollektorov // Neftegazovoe delo: jelektron. nauch. zhurn. 2014. № 1. S. 14-29. URL: http://ogbus.ru/authors/DuryaginVN/DuryaginVN_1.pdf. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Дурягин В.Н., аспирант кафедры «Разработка и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

V.N. Duryagin, Post-Graduate Student of the Chair “Development and Operation of Oil and Gas Fields”, FSBEI HPE “National Mineral Resources University”, Saint-Petersburg, the Russian Federation

e-mail: duryagin.vn@mail.ru

Стрижнев К.В., д-р техн. наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

K.V. Strizhnev, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Development and Operation of Oil and Gas Fields”, FSBEI HPE “National Mineral Resources University”, Saint-Petersburg, the Russian Federation