

УДК 622.276

**ОБОСНОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ГЕЛЕОБРАЗУЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ВОДОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ КОЛЛЕКТОРОВ  
ТРЕЩИННО-ПОРОВОГО ТИПА**

**SUBSTANTIATION OF SELECTIVITY OF GEL-FORMING  
COMPOSITION DURING WATER-SHUT TREATMENT IN  
RESERVOIR OF FRACTURED-POROUS TYPE**

**Дурягин В.Н., Стрижнев К.В., Осадчий Д.Е.**

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

**V.N. Duryagin, K.V. Strizhnev, D.E. Osadchiy**

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

**e-mail: duryagin.vn@mail.ru**

**Аннотация.** Статья посвящена решению одной из основных проблем нефтедобывающей промышленности – высокой обводненности добываемого флюида. Рассматриваются различные методы ограничения водопритока, при этом акцент делается на селективные методы и материалы, увеличивающие в большей степени фильтрационное сопротивление в водонасыщенной части пласта.

Для селективного ограничения водопритока в коллекторах трещинно-порового типа разработана водоизоляционная композиция на основе силиката натрия. Проведенные лабораторные исследования разработанной гелеобразующей композиции позволили установить зависимости прочности композиции и сроков гелеобразования от концентрации реагентов и температуры.

Выявлено, что введение в состав водоизоляционной композиции многоатомного спирта приводит к увеличению её смачивающей способности по отношению к водонасыщенной горной породе и ухудшению – к нефтенасыщенной. Данные результаты являются признаком селективности разработанной композиции – в водонасыщенном интервале тампонажный материал образует более прочный изоляционный экран по сравнению с нефтенасыщенным за счет лучшего контакта с горной породой. Помимо изменения смачиваемости, добавление многоатомного спирта в водоизоляционную композицию приводит к улучшению технологических характеристик разработанного тампонажного материала за счет повышения сил межмолекулярного взаимодействия и расширяет температурный диапазон его применения.

Проведенные фильтрационные исследования подтвердили эффективность воздействия неорганической гелеобразующей композиции при проведении водоизоляционных работ на образцах естественного керна трещинно-порового типа Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Подтверждена селективность воздействия разработанной композиции – проницаемость водонасыщенных образцов керна трещинно-порового типа снижается в большей степени, чем нефтенасыщенных.

**Abstract.** The article is devoted to one of the main problems of oil production industry – high level of watering. Several methods of water control are investigated, but the accent is made on selective methods and materials, that increase filtration resistance in water-saturated part of a layer. Water shutoff agent based on sodium silicate is developed for selective restraining of water inflow in fractured-porous reservoir. Laboratory research of the developed gelling agent helped to establish interdependence of gel strength and period of gellation between agent concentration and temperature. It is revealed, that addition of polyatomic spirit in water shutoff agent leads to the increase of hydrophilicity if related to water-saturated rock and decrease of hydrophilicity if

related to oil-saturated rock. Furthermore, high wettability of the waterproof agent in relation to water-saturated rock in comparison with oil-saturated rock proves the selective characteristic of the developed agent – when the plugging material gets to the water-saturated part it makes firm insulating barrier due to better contact with rock. Besides the change of wettability the addition of polyatomic spirit in water shutoff agent improves operational characteristic of developed plugging material in account of increasing of interionic forces and expands the exploitation temperature range.

The filtration tests proved the effective influence of inorganic gel on core sample of fractured porous reservoir from the eastern part of Orenburg oil-gas-condensate field. Also, permeability of water-saturated core samples decreases better than of oil-saturated ones. This fact proves the selectivity of the developed agent.

**Ключевые слова:** водоизоляционные работы, смачиваемость, селективность, фильтрация.

**Keywords:** water shutoff treatment, wettability, selectivity, filtration.

Значительная часть нефтяных месторождений переходит на заключительную стадию разработки, характеризующуюся снижением темпов отбора нефти и ростом обводненности. В связи с этим все острее становится вопрос сохранения рентабельности добычи нефти. С целью снижения переменных затрат на подъем и утилизацию попутно-добываемой воды, а также для регулирования потоков флюидов в пласте и прискважинной зоне в процессе разработки нефтяных и газовых месторождений проводятся ремонтно-изоляционные работы[1].

Для борьбы с обводнением скважин существует множество технологий и химических реагентов. В зависимости от механизма изоляции и применяемого изоляционного материала все методы подразделяются на селективные и неселективные.

Неселективные методы ограничения водопритока основаны на одновременной или последовательной закачке в пласт нескольких реагентов, способных в результате химического взаимодействия между собой или физико-химических превращений получаемых смесей образовывать осадок, нерастворимый ни в воде, ни в нефти. К примеру, при проведении водоизоляционных работ с помощью смол или цементов технологическому воздействию подвергается вся призабойная зона пласта и происходит снижение проницаемости не только по водной фазе, но и по нефтяной, что отрицательно сказывается на продуктивности скважин.

Селективные методы изоляции – это методы, основанные на применении материалов, увеличивающих в большей степени фильтрационное сопротивление в водонасыщенной части пласта [1,2]. Селективное воздействие химическими реагентами основывается на различии фильтрационных характеристик горной породы и физико-химических свойств пластовых жидкостей (нефти и воды).

Изоляция притока воды достигается за счет следующих механизмов:

- охлаждение прискважинной зоны пласта;
- осаждение перенасыщенных растворов твердых углеводородов;
- гидрофобизация породы и образование эмульсий в ней;
- взаимодействие химических соединений с пластовой водой;
- физико-химическое превращение смеси соединений с пластовой водой (снижение растворимости, коагуляция и т.д.).

Основным преимуществом селективных технологий является то, что нет необходимости проведения дополнительной перфорации в продуктивном интервале. В связи с этим, предпочтение при производстве водоизоляционных работ необходимо отдавать материалам и методам селективного действия [1].

Несмотря на значительное количество селективных методов ограничения водопритока, большинство из них не нашло широкого промышленного применения в связи с различными недостатками.

Например, гидролизованные полимеризованные материалы [3,4], чувствительны к солям поливалентных металлов и при контакте с пластовой водой образуют тампонирующую массу, таким образом, фильтрационное сопротивление повышается только в обводненном интервале пласта – применимость данных реагентов ограничена минерализацией пластовой воды. Обратные гидрофобные водонефтяные эмульсии, стабилизированные различными эмульгаторами [5] не нашли широкого применения при ремонтно-изоляционных работах (РИР) в виду того, что обеспечивают создание прочных водоизоляционных экранов, способных выдержать высокие перепады давления. Эффективность от применения эфиров целлюлозы, разбухающих при закачке в коллектор и образующих высоковязкую гелеобразную массу [6] падает в связи с тем, что целлюлоза подвержена биологической деструкции и с течением времени практически полностью разлагается.

Одним из наиболее перспективных и технологичных методов проведения водоизоляционных работ является применение технологий закачки в пласт составов на основе силиката натрия. Данные композиции устойчивы при высоких давлениях и температурах [7,8] и нетоксичны.

В связи с вышеперечисленными преимуществами для селективного ограничения водопритока в коллекторах трещинно-порового типа разработана водоизоляционная композиция на основе силиката натрия. В качестве инициатора гелеобразования используется неорганическая соль хрома (III), позволяющая получать гели во всем объеме исходной композиции [9]. 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 сшивавшего агента.

Повышение селективности воздействия водоизоляционных композиций возможно за счет изменения смачивающей способности по отношению к нефтенасыщенным и водонасыщенным горным породам.

Оценка смачивающей способности разработанной водоизоляционной композиции осуществлялась путем измерения краевого угла смачивания методом «лежащей капли» на границе раздела фаз водоизоляционной композиции с нефте- и водонасыщенными образцами артинских отложений Восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ВУ ОНГКМ). Для изменения характера смачиваемости к горной породе в водоизоляционную композицию добавлялся многоатомный спирт в различной концентрации. Результаты замеров угла смачивания исследуемой жидкости при различных концентрациях спирта представлены на рисунке 1.

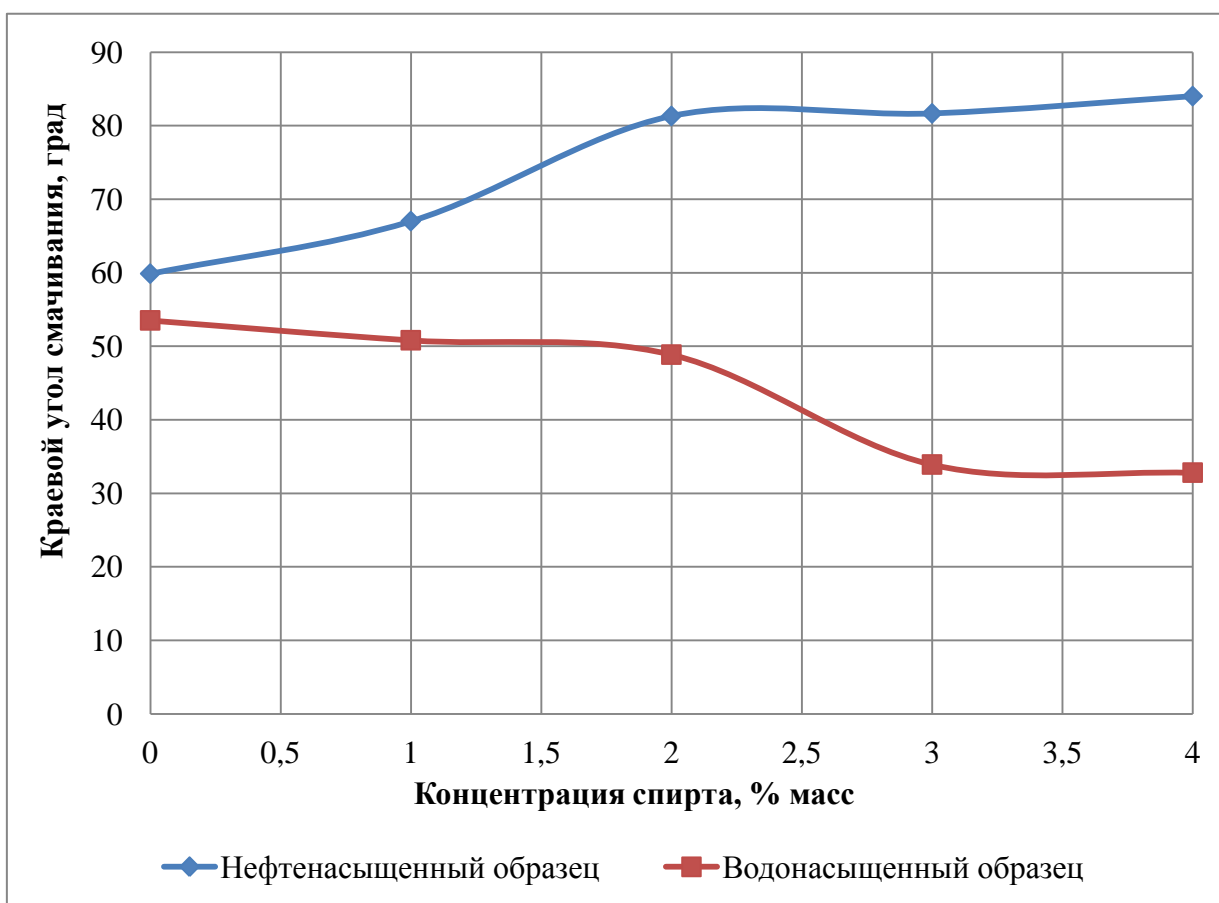


Рисунок 1. Зависимость краевого угла смачивания композиции по отношению к нефте- и водонасыщенной породе от концентрации спирта

Добавление спирта в водоизоляционную композицию приводит к повышению гидрофильности по отношению к водонасыщенной и повышению гидрофобности по отношению к нефтенасыщенной горной породе. Оптимальная концентрация многоатомного спирта– 3% (масс), так как при добавлении большего количества спирта, изменения краевого угла смачивания не наблюдается.

Помимо изменения смачивающей способности введение в состав водоизоляционной композиции многоатомного спирта приводит к улучшению технологических характеристик разработанного тампонажного материала (рисунки 2-3) за счет повышения сил межмолекулярного взаимодействия и расширяет температурный диапазон его применения.

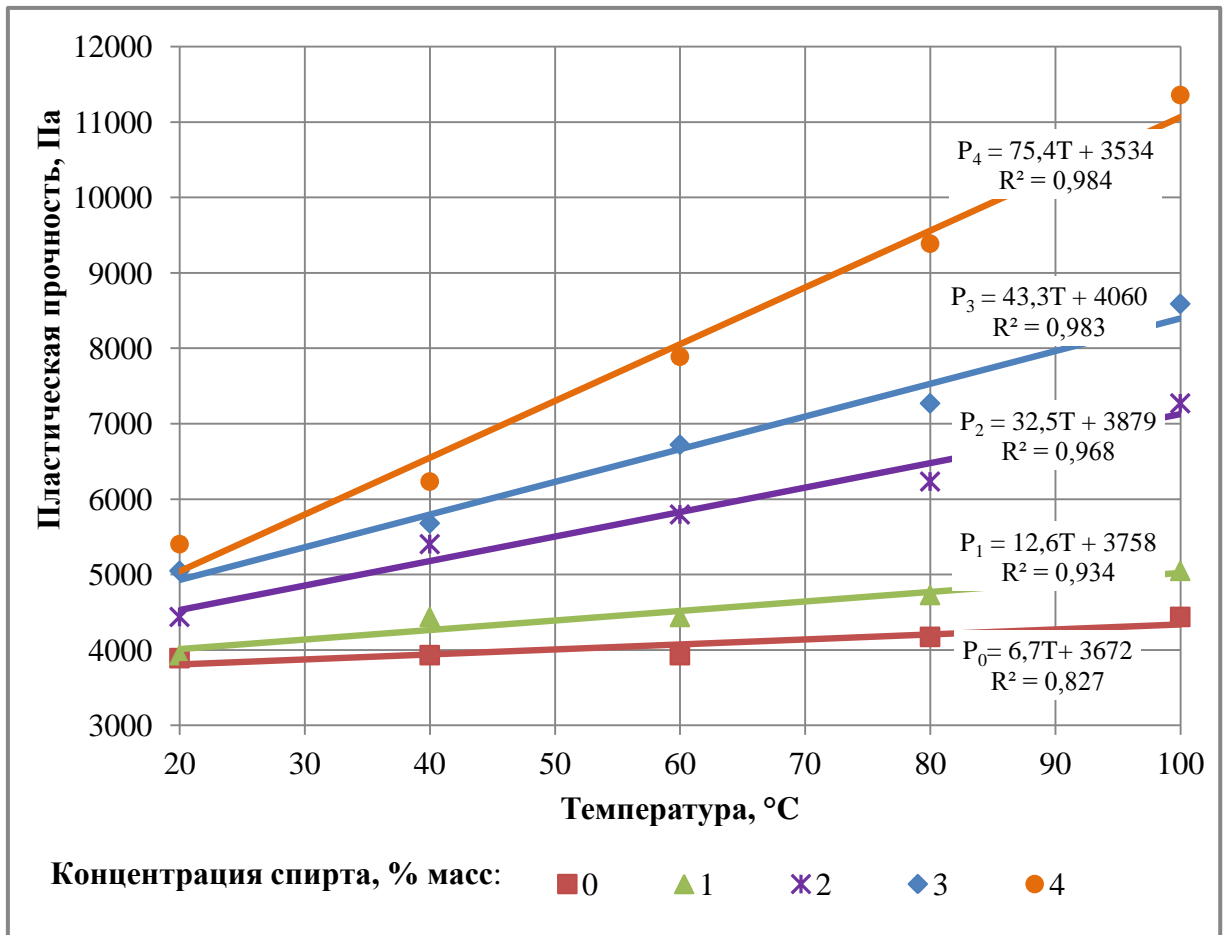


Рисунок 2. Зависимость прочности композиции от концентрации многоатомного спирта и температуры

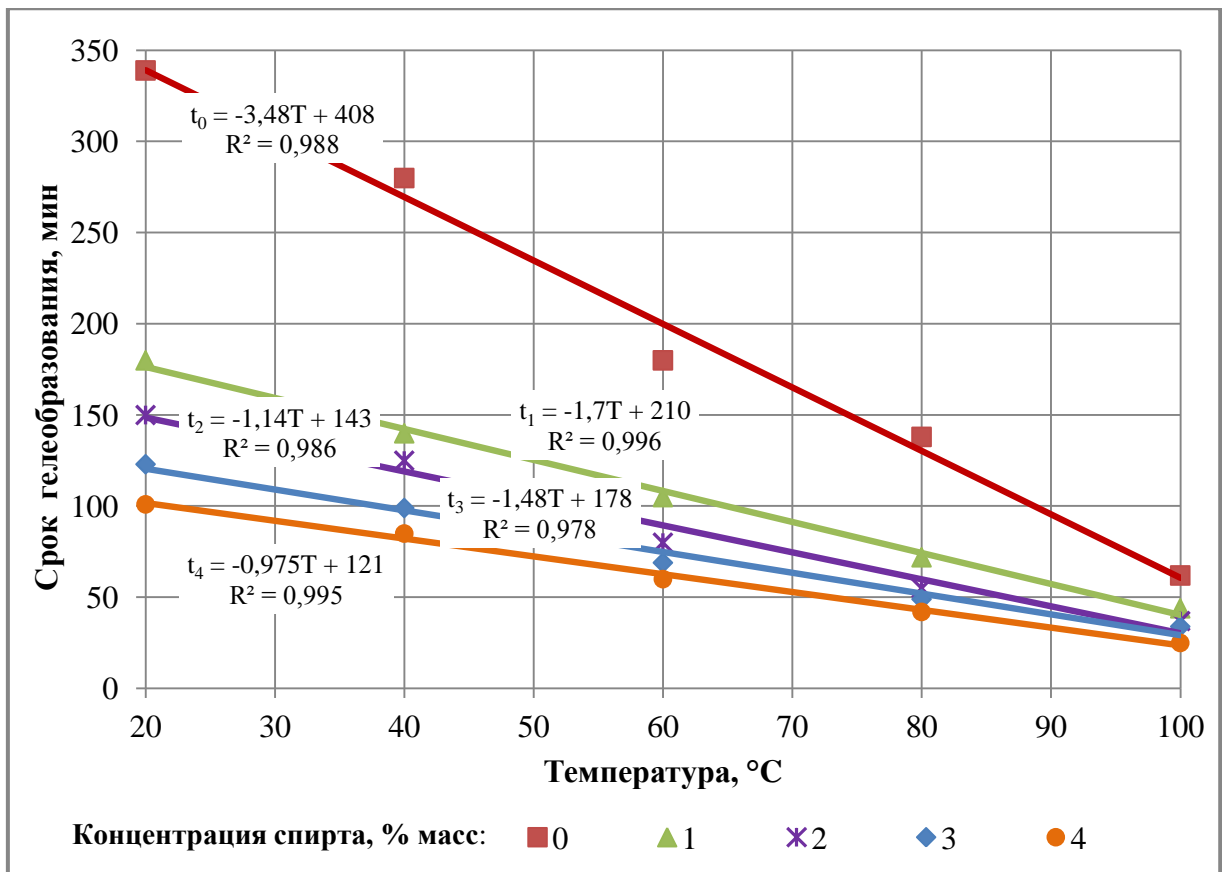


Рисунок 3. Зависимость сроков гелеобразования композиции от концентрации многоатомного спирта и температуры

Повышенная смачивающая способность водоизоляционной композиции к водонасыщенной породе в сравнении с нефтенасыщенной является косвенным признаком селективности разработанной композиции-при попадании в водонасыщенный интервал тампонажный материал образует более прочный изоляционный экран по сравнению с нефтенасыщенным за счет лучшего контакта с горной породой.

Для подтверждения данного предположения был проведен фильтрационный эксперимент по оценке селективности воздействия разработанной композиции. Исследования проводились с помощью специального стенда, состоящего из двух параллельно соединенных кернодержателей и фильтрационной установки [7,9]. В кернодержатели помещались образцы керна ВУ ОНГКМ с заранее созданными трещинами с одинаковой раскрытостью. Один из кернов насыщался нефтью, а другой – водой.



Эксперимент состоял из следующих этапов: определение исходной фазовой проницаемости по нефти и воде; одновременная закачка в образцы керна 5 поровых объемов композиции; выдержка кернов в состоянии покоя в течение 12 часов; повторный замер фазовой проницаемости по нефти и воде; одновременная закачка в образцы керна 5 поровых растворов деструктора (гидроксида натрия) – для восстановления проницаемости нефтенасыщенных интервалов; замер конечной фазовой проницаемости по нефти и воде.

По результатам фильтрационного эксперимента для каждого образца определялись фазовые проницаемости по воде и нефти, оценивалось изменение коэффициента проницаемости, фактора остаточного сопротивления и коэффициента селективности [7].

Результаты исследований представлены на рисунке 4 и в таблице 1.

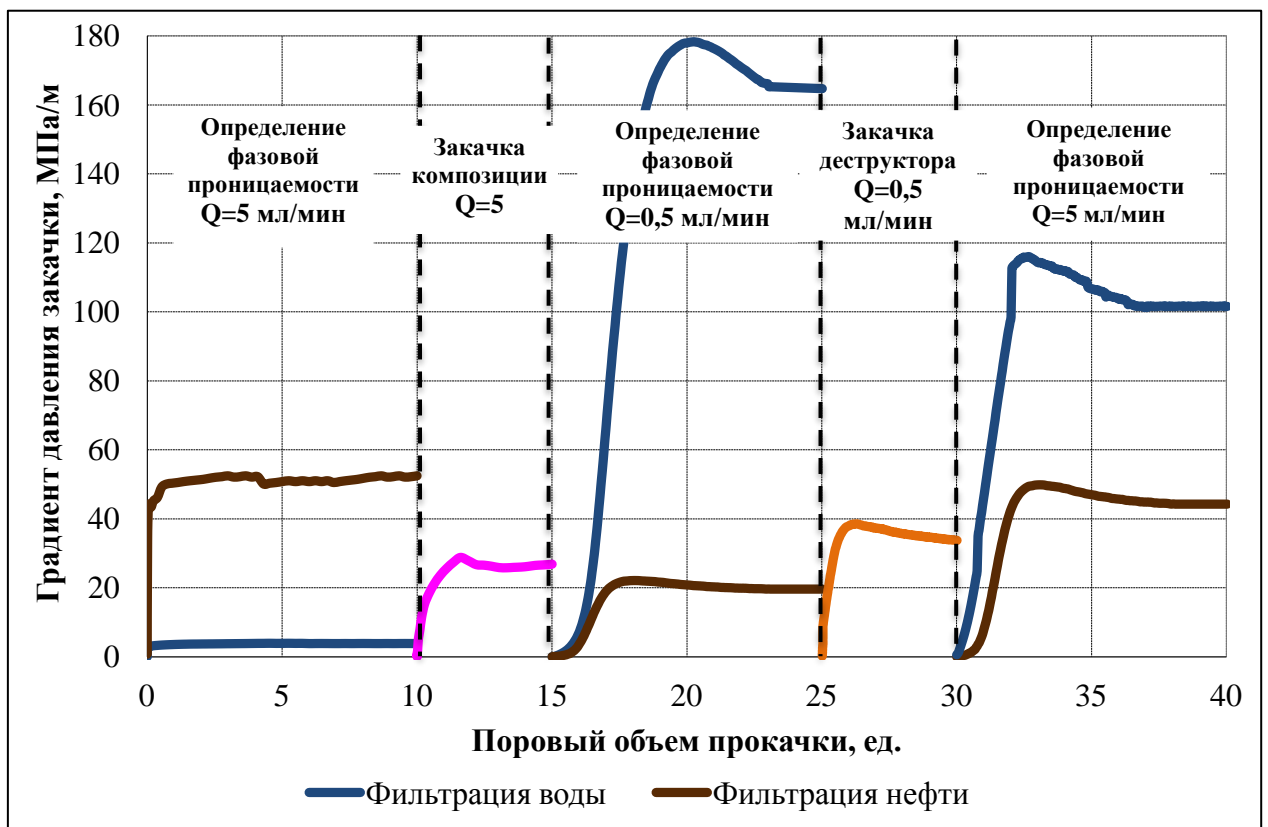


Рисунок 4. Зависимости градиентов давления от поровых объёмов прокачки нефти и воды при проведении эксперимента по оценке селективности

Таблица 1. Результаты фильтрационного эксперимента по оценке селективности воздействия композиции

Параметр	Единица измерения	До закачки состава	После закачки состава	После закачки деструктора
Градиент давления закачки нефти	МПа/м	51,37	19,66	29,89
Градиент давления закачки воды		3,87	164,82	101,60
Проницаемость по нефти	$\times 10^{-3}$ мкм <sup>2</sup>	120,98	22,96	102,00
Проницаемость по воде		234,96	0,80	1,30
Фактор остаточного сопротивления для нефтенасыщенного образца керна	ед.	-	5,27	1,19
Фактор остаточного сопротивления для водонасыщенного образца керна		-	292,71	180,45
Коэффициент селективности		-	55,55	152,14

В результате закачки щелочи проницаемость нефтенасыщенного образца керна восстановилась на 85% и составила  $101,6 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> при первоначальном значении  $120,98 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Проницаемость водонасыщенного образца керна увеличилась незначительно по сравнению с проницаемостью после закачки водоизоляционной композиции и составила  $1,3 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> при первоначальном значении  $234,96 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

Расчет коэффициента селективности показал, что после проведения водоизоляционных работ гидродинамическое сопротивление в водонасыщенном образце стало больше чем в нефтенасыщенном в 55,55 раза. Закачка раствора гидроксида натрия позволила повысить это соотношение до 152,14 ед.

Полученные по результатам проведенных экспериментов данные свидетельствуют о том, что разработанная водоизоляционная композиция способна эффективно снижать проницаемость водонасыщенных образцов керна трещинно-порового типа в большей степени, чем нефтенасыщенных. Кроме того, прокачка раствора щелочи позволяет минимизировать ущерб фильтрационным характеристикам нефтенасыщенного образца, без значительного восстановления проницаемости водонасыщенного трещинного интервала.

## **Выводы**

1. Для ограничения водопритока в условиях коллекторов трещинно-порового типа разработана гелеобразующая композиция на основе силиката натрия, позволяющая получать гели различной прочности и срока отверждения в широком диапазоне температур.

2. Выявлена способность многоатомного спирта влиять на селективность воздействия разработанной водоизоляционной композиции путем повышения гидрофильности по отношению к водонасыщенной и снижению гидрофобности по отношению к нефтенасыщенной горной породе.

3. Подтверждена селективность воздействия разработанной композиции – проницаемость водонасыщенных образцов керна трещинно-порового типа снижается в большей степени, чем нефтенасыщенных.

4. Подтверждена возможность эффективного разрушения тампонажного материала в пластовых условиях путем закачки водного раствора гидроксида натрия. Фильтрационные характеристики нефтенасыщенных интервалов после обработки деструктором восстанавливаются практически полностью, а в водонасыщенных интервалах остаточное сопротивление значительно выше за счет лучшей смачиваемости водонасыщенной породы разработанной композицией.

## **Список используемых источников**

1 Стрижнев К.В. Ремонтно-изоляционные работы в скважинах. СПб.: Недра, 2010. 560 с.

2 Демахин С.А., Демахин А.Г. Селективные методы изоляции водопритока в нефтяные скважины: учеб. пособие. Саратов: Изд-во ГосУНЦ "Колледж", 2003. 167 с.

3 Кондрашев А.О., Рогачев М.К., Кондрашева Н.К. Фильтрационные и микрогеологические исследования водоизоляционных полимерных составов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2012. № 6. С. 273-284. URL: [http://ogbus.ru/authors/KondrashevAO/KondrashevAO\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/KondrashevAO/KondrashevAO_1.pdf).

4 Рогачев М.К., Кондрашев А.О., Кондрашев О.Ф. Водоизоляционный полимерный состав для низкопроницаемых коллекторов// Нефтяное хозяйство. № 4. 2014. С. 63-65.

5 Селективное ограничение водопритоков обратными водонефтяными эмульсиями на основе материала "Полисил-ДФ"/ Захаренко Л.Т. [и др]. // Нефтяное хозяйство. № 5. 2001. С. 68-70.

6 Сучков Б.М. Горизонтальные скважины. М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2006. 424 с.

7 Дурягин В.Н., Стрижнев К.В. Разработка неорганического водоизоляционного состава на основе силиката натрия для низкопроницаемых неоднородных коллекторов // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. № 1. 2014. С. 14-29. URL: [http://ogbus.ru/authors/DuryaginVN/DuryaginVN\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/DuryaginVN/DuryaginVN_1.pdf).

8 Никитин М.Н., Петухов А.В. Гелеобразующий состав на основе силиката натрия для ограничения водопритока в сложнопостроенных трещинных коллекторах// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. № 5. 2011. С. 143-154. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/NikitinMN/NikitinMN\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/NikitinMN/NikitinMN_1.pdf).

9 Дурягин В.Н., Стрижнев К.В. Обоснование применения неорганической водоизоляционной композиции для повышения коэффициента вытеснения нефти водой в коллекторах трещинно-порового типа// Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. № 6. 2014. С. 316-329. URL: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2014/ogbus\\_6\\_2014\\_p316-329\\_DuryaginVN\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p316-329_DuryaginVN_ru.pdf).

## References

- 1 Strizhnev K.V. Remontno-izoljacionnye raboty v skvazhinah. SPb.: Nedra, 2010. 560 s. [in Russian].
- 2 Demahin S.A., Demahin A.G. Selektivnye metody izoljatsii vodopritoka v neftjanye skvazhiny: uchebnoe posobie. Saratov: Izdatel'stvo GosUNC "Kolledzh", 2003. 167 s.[in Russian].
- 3 Kondrashev A.O., Rogachev M.K., Kondrasheva N.K. Fil'tracionnye i mikroreologicheskie issledovanija vodoizoljacionnyh polimernyh sostavov // Neftegazovoe delo: Jelektron. Nauch. Zhurn.2012. №6. S. 273-284. URL: [http://ogbus.ru/authors/KondrashevAO/KondrashevAO\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/KondrashevAO/KondrashevAO_1.pdf). [in Russian].
- 4 Rogachev M.K., Kondrashev A.O., Kondrashev O.F., "Vodoizoljacionnyj polimernyj sostav dlja nizkopronicaemyh kollektorov," // Neftjanoe hozjajstvo, № 4. 2014. S. 63-65. [in Russian].
- 5 Selektivnoe ogranichenie vodopritokov obratnymi vodoneftjanymi jemul'sijami na osnove materiala "Polisil-DF"/ Zaharenko L.T.[I dr.] // Neftjanoe hozjajstvo. № 5. 2001. S. 68-70. [in Russian].
- 6 Suchkov B.M. Gorizontaľnye skvazhiny. M.-Izhevsk: NICReguljarnaja i haoticheskaja dinamika. 2006. 424 s.[in Russian].
- 7 Duryagin V.N., Strizhnev K.V. Razrabotka neorganicheskogo vodoizoljacionnogo sostava na osnove silikata natrija dlja nizkopronicaemyh neodnorodnyh kollektorov // Neftegazovoe delo: Jelektron. Nauch. Zhurn. № 1. 2014. S. 14-29. URL: [http://ogbus.ru/authors/DuryaginVN/DuryaginVN\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/DuryaginVN/DuryaginVN_1.pdf). [in Russian].
- 8 Nikitin M.N., Petuhov A.V. Geleobrazujushhij sostav na osnove silikata natrija dlja ogranichenija vodopritoka v slozhnopostroennyh treshhinnyh kollektorah // Neftegazovoe delo: Jelektron. Nauch. Zhurn. № 5. 2011. S. 143-154. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/NikitinMN/NikitinMN\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/NikitinMN/NikitinMN_1.pdf). [in Russian].

9 Durjagin V.N., Strizhnev K.V. Obosnovanie primeneniya neorganicheskoy vodoizoljacionnoj kompozicii dlja povysheniya kojefficienta vytesneniya nefli vodoj v kollektorah treshhinno-porovogo tipa // Neftegazovoe delo: Jelektron. Nauch. Zhurn. № 6. 2014. S. 316-329. URL: [http://ogbus.ru/issues/6\\_2014/ogbus\\_6\\_2014\\_p316-329\\_DuryaginVN\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p316-329_DuryaginVN_ru.pdf). [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Дурягин В.Н., аспирант кафедры «Разработка и эксплуатация 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](mailto: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

Осадчий Д.Е., студент ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

D.E. Osadchiy, Student of FSBEI HPE “National Mineral Resources University”, Saint-Petersburg, the Russian Federation